

Volume 15 No 3 2011
ISSN 1418-1789

Acta Agraria Kaposváriensis



Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar, Kaposvár

University of Kaposvár, Faculty of Animal Science, Kaposvár



Acta Agraria Kaposváriensis

Az Acta Agraria Kaposváriensis évente több alkalommal megjelenő tudományos folyóirat, amely eredeti tudományos közleményeket, kutatási eredményeket, kritikai összefoglalókat, konferenciákról beszámolókat, könyvismertetéseket és szerkesztőhöz küldött leveleket közöl a mezőgazdaság, elsősorban az állattenyésztés és az állati termék előállítás minden területéről.

Acta Agraria Kaposváriensis is a scientific journal published several times a year, containing original scientific reports, research results, critical résumés, conference reviews, book reviews and letters to the editor related to topics within the field of agricultural science, particularly that of animal breeding science.

Főszerkesztő
Editor in chief

Dr. Csapó János D.Sc......egyetemi tanár

Szerkesztő
Editor

Stanics Judit vegyésztechnikus

Szerkesztőbizottság
Editorial board

Dr. Babinszky László Ph.D......egyetemi tanár
Dr. Csató László C.Sc.egyetemi docens
Dr. Csukás Béla C.Sc.egyetemi docens
Dr. Kalmár Sándor C.Sc.egyetemi tanár
Dr. Kovács Melinda D.Sc......egyetemi tanár
Dr. Lengyel Attila C.Sc......egyetemi tanár
Dr. Stefler József C.Sc.egyetemi tanár
Dr. Sütő Zoltán Ph.D.egyetemi docens
Dr. Szakály Zoltán C.Sc.egyetemi docens
Dr. Szendrő Zsolt D.Sc.egyetemi tanár

Volume 15 No 3 2011
ISSN 1418-1789

Acta Agraria Kaposváriensis



Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar, Kaposvár
Kaposvár University, Faculty of Animal Science, Kaposvár



Szerkesztőség
Editorial office

Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar
Kaposvár University, Faculty of Animal Science

H-7400 Kaposvár, Guba Sándor u. 40.
H-7401 Kaposvár, P.O.Box. 16.
Tel.: 36-82-314-155, Fax: 36-82-320-175
e-mail: csapo.janos@ke.hu

Szerkesztő asszisztens
Editorial assistant
Barna Róbert

Kiadja és terjeszti a
Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar
Published and distributed by
Kaposvár University, Faculty of Animal Science

Responsible for publication
Dr. Holló István C.Sc.
university professor
Dean of Faculty

Kaposvár, 2012



IX. ALKALMAZOTT INFORMATIKA KONFERENCIA

(A kötetben a konferencián elhangzott előadások kibővített, lektorált változatait közöljük)

Szerkesztette: Barna R.

Kaposvári Egyetem
Kaposvár, Guba Sándor u. 40.

2011 február 25. péntek

<http://aik.ke.hu>

A IX. ALKALMAZOTT INFORMATIKA KONFERENCIA VÉDNŐKEI

Szávay Ferenc egyetemi tanár, a Kaposvári Egyetem rektora

Holló István egyetemi tanár, a Kaposvári Egyetem Állattudományi Karának dékánja

Balogh László egyetemi docens, a Kaposvári Egyetem Gazdaságtudományi Karának dékánja

PROGRAMBIZOTTSÁG

elnök: Csukás Béla, egyetemi docens, tanszékvezető, Kaposvári Egyetem, Informatika Tanszék

tagok: Abonyi János, egyetemi docens, Pannon Egyetem, Mérnöki Kar

Bánkuti Gyöngyi, egyetemi docens, Kaposvári Egyetem, Gazdaságtudományi Kar

Benczúr András, egyetemi tanár, ELTE, Informatikai Kar

Cser László, egyetemi tanár, Budapesti Corvinus Egyetem, Gazdálkodástudományi Kar

Cserny László, főiskolai tanár, Dunaújvárosi Főiskola, Informatikai Intézet

Dobay Péter, egyetemi tanár, Pécsi Tudományegyetem, Közgazdaságtudományi Kar

Herdon Miklós, egyetemi docens, a MAGISZ elnöke, Debreceni Egyetem, Agrár- és

Gazdálkodástudományok Centruma, Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Kar

Jereb László, egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Karaffa Levente, egyetemi docens, Debreceni Egyetem, Természettudományi és

Technológiai Kar

Raffai Mária, főiskolai tanár, IFIP főtitkár, Széchenyi István Egyetem, Műszaki

Tudományi Kar

Sitányi László, cégmenedzsment igazgató, Dél-Dunántúli Regionális Fejlesztési

Ügynökség

SZERVEZŐBIZOTTSÁG

elnök: Ulbert Zsolt

tagok: Bálint Jánosné

Klingné Takács Anna

Barna Róbert

Kun József

Szabó György

TÁMOGATÓK, PARTNEREK



NKTH és DDRFÜ REG-DD-09-2-2009-0101 számú Baross Gábor programja

A rendezvény az NKTH és DDRFÜ REG-DD-09-2-2009-0101 számú Baross Gábor programjának támogatásával valósul meg.



MAGISZ



Fornetti Pannon Kft. 7275 Igal, Szántódí u. 1.

A kéziratokat lektorálták:

Abonyi János egyetemi docens
Ábrahám Levente címzetes egyetemi docens
Balogh Sándor tudományos munkatárs
Bánkuti Gyöngyi egyetemi docens
Barna Róbert egyetemi adjunktus
Borbély Csaba egyetemi docens
Csák Máté egyetemi adjunktus
Csótó Mihály vezető kutató
Csukás Béla egyetemi docens
Donkó Tamás tanszéki mérnök
Farkas János egyetemi adjunktus
Haidegger Géza tudományos főmunkatárs
Honfi Vid egyetemi adjunktus
Horváth Balázs SZE egyetemi docens
Kovács Bernadett egyetemi adjunktus
Kövér György egyetemi docens
Meszéna Zsolt, egyetemi docens
Molnár Tamás egyetemi docens
Paál Jenő egyetemi tanár
Palágyi Kálmán Szeged egyetemi docens
Piglerné Lakner Rozália egyetemi docens
Pitlik László egyetemi docens
Raffai Mária főiskolai tanár
Szabó Gergely egyetemi adjunktus
Szatmári Ferenc főiskola adjunktus
Szente Viktória egyetemi docens
Szilágyi Róbert egyetemi adjunktus
Takács László erdészeti politikai menedzser
Ulbert Zsolt egyetemi docens
Várallyai László egyetemi docens
Varga Mónika tudományos munkatárs
Vass József egyetemi docens

TARTALOM

Herdon M., Füzesi I.

Információtechnológiák a húsipari termékpályák minőségmenedzsmentjében 1

Kusper G., Márien Sz.

Élelmiszer adatbázis szűrése mennyiségi megszorítások alapján logaritmikus indexeléssel 13

Cseh A.

Internethasználati szokások a gazdák körében 31

Edelényi M., Pödör Z., Manninger M., Jereb L.

Másodlagos idősorokat származtató módszer kifejlesztése és bemutatása erdészeti adatokon..... 39

Hegedűs G., Horváth Z.

A digitális kép spektrális bizonytalanságának hatása a kép funkcionáljaira 51

Felföldi J., Firtha F., Hermán R., Pedryc A.

Képfeldolgozási módszerek alkalmazása kajszimagok morfológiai tulajdonságainak leírására 67

Ureczky B.

Tájékozódást segítő funkciók okostelefonokon 79

Boros J.

Szűk keresztmetszetek feltárása informatikai rendszerekben 93

Kovács B., Kruszlicz F.

Tájékozás és hasznosság mérése rövid szöveges üzenetekben 103

Szommer K.

Milyen legyen egy adatbányászati szoftver elemzése? 115

Botos Sz.

Regionális IKT index módszertani alapja és alkalmazhatósága..... 127

Kupai B.

IT üzemeltetésű ügyfélszolgálati rendszer kialakítása 137

Benő D.

Régészeti szakértői rendszer adatbázisának fejlesztése a Csörsz-árok példáján 147

Bárkányi Á., Németh S., Lakatos G.B.

A monomer kezdeti cseppméret-eloszlásának hatása a polimer termékek átlagos molekulatömegére..... 155

<i>Borsos Á., Lakatos G.B.</i> Hűtéses kristályosítás dinamikus folyamatainak vizsgálata túszerű kristályok esetén	171
<i>Borsos Á., Lakatos G.B.</i> Méretfüggő kristálynövekedési sebesség modellezése oldatból történő kristályosítás esetén.....	185
<i>Csikós A., Varga I.</i> Komplex forgalmi-emissziós modell forgalomirányítási alkalmazásának vizsgálata autópályán	193
<i>Tettamanti T., Varga I.</i> Közúti forgalomirányító rendszerek fejlesztése és tesztelése VISSIM-MATLAB környezetben	209
<i>Varga T.</i> Kvalitatív elemezésen alapuló reakciómechanizmus meghatározás	221
<i>Egedy A., Varga T., Chován T.</i> Kevert tankreaktor cellás modelljének struktúra identifikációja kvalitatív módszerek alkalmazásával	233
<i>Tóth L.R., Nagy L., Szeifert F.</i> Előre- és visszacsatoló szabályozási struktúrák összehasonlítása egy vízmelegítő berendezésen	245
<i>Balaton M.G., Nagy L., Szeifert F.</i> Szakaszos gyártócella szimulációja	257

CONTENTS

<i>M. Herdon, I Fűzesi</i>	
Information technologies in quality management of meat production chains	1
<i>G. Kusper, Sz. Márien</i>	
Filtering food databases by logarithmic indeces on quantity constraints	13
<i>A. Cseh</i>	
Internet usage among the farmers	31
<i>M. Edelényi, Z. Pödör, M. Manninger, L. Jereb</i>	
Developing of method for transforming time series data and demonstration on forestry data	39
<i>Hegedűs G., Horváth Z.</i>	
The uncertainty of the effect of digital imaging spectral functionals of the image	51
<i>J. Felföldi, R. Hermán, A. Pedryc, F. Firtha</i>	
Characterization of morphological properties of apricot stones by image processing	67
<i>B. Ureczky</i>	
Orienteering techniques on smartphones	79
<i>J. Boros</i>	
Finding bottlenecks in IT systems.....	93
<i>B. Kovács, F. Kruzslicz</i>	
Measuring sentiment orientation and utility in short text messages.....	103
<i>K. Szommer</i>	
What should the analysis of a data mining software be like?.....	115
<i>Sz. Botos</i>	
The methodological basis and applicability of a regional ICT index	127
<i>B. Kupai</i>	
The formation of a service desk based on information technology	137
<i>D. Benő</i>	
Reposing of Archeological expert system based on Csörsz ditch	147
<i>Á. Bárkányi, S. Németh, B.G. Lakatos</i>	
Effect of the initial drop size distribution of monomer on the average molecular weight of polymer products	155

<i>Á. Borsos B.G. Lakatos</i>	
Investigation of dynamic processes in cooling crystallizer in case of needle-shape crystal production.....	171
<i>Á. Borsos, B.G. Lakatos</i>	
Size dependent crystal growth rate in case of colution crystallization	185
<i>A. Csikós, I. Varga</i>	
Analysis of a complex traffic-emission model for motorway control.....	193
<i>T. Tettamanti, I. Varga</i>	
Development and test of road traffic control systems by using VISSIM-MATLAB environment	209
<i>T. Varga.</i>	
Qualitative analysis based reaction mechanism identification	221
<i>A. Egedy, T. Varga, T. Chován</i>	
Compartment model structure identification of stirred reactors based on qualitative method	233
<i>L.R. Tóth, L. Nagy, F. Szeifert</i>	
Comparison of feedback and feed-forward control strategies on a water heater.....	245
<i>M.G. Balaton, L. Nagy, F. Szeifert</i>	
Simulation of a batch unit	257



Információtechnológiák a húsipari termékpályák minőségmenedzsmentjében

Herdon M, Füzesi I.

Debreceni Egyetem, Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar
4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

ÖSSZEFOGLALÁS

A nyersanyagokat különféle termesztési, tenyésztési és termelési forrásokból nyerik, egyre nagyobb számú feldolgozási technológiát használnak és a termékek hatalmas választéka áll a fogyasztók rendelkezésére. Az élelmiszer-biztonsági problémákat a területet érintő szabályozások betartása (betartatása), a modern minőségmenedzsment rendszerek bevezetése, a termékek nyomon követhetősége, illetve a minden kétséget kizáró azonosíthatósága oldhatja meg. Vizsgálataink középpontjában a húsiparban (húsipari termékpályákba a baromfiipart is figyelembe véve) előforduló minőségügyi rendszerek informatikai támogatásának-fejlődésének vizsgálata mellett, a területen jelenleg alkalmazott minőségmenedzsment rendszerek és szabályozások, az élelmiszer nyomon követési rendszerek, az alkalmazott és a jövőben alkalmazható azonosítási és informatikai eszközök, illetve a hazai húsipari vállalkozások felkészültségének vizsgálata állt. (Kulcsszavak: hús, minőségbiztosítás, nyomon követés, informatika, termékklánc)

ABSTRACT

Information technologies in quality management of meat production chains

M. Herdon, I Füzesi

University of Debrecen, Faculty of Applied Economics and Rural Development
H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

The raw materials are obtained from various production and breeding sources. An increasing number of processing technologies are used and the huge range of products available to consumers. The food security problems can be solved with reasonable doubt by the areas of regulatory compliance (enforcement), the introduction of modern quality management systems, product traceability, and product identification. The examinations were focus on meat (poultry meat, taking into account the production chains) occurring in IT systems to support quality management of the development, in addition to the area currently used quality management systems and regulations, monitoring systems for the food. The future technologies which will be used for identification and information tools, and domestic meat business readiness assessment were studied too.

(Keywords: meat, quality management, tracing, informatics, product chain)

BEVEZETÉS

Az élelmiszerek gyártása, elosztása és kiskereskedelmi forgalmazása rendkívül komplex üzleti tevékenységgé vált. Egy évben hozzávetőlegesen húszezer új termék jelenik meg világszerte és az élelmiszer piacokon akár huszonötezer termék közül választhatunk (Lang

és Heasman, 2004). A nyersanyagokat különféle termesztési, tenyésztési és termelési forrásokból nyerik, egyre nagyobb számú feldolgozási technológiát használnak és a termékek hatalmas választéka áll a fogyasztók rendelkezésére. Ez a rendkívüli összetettség átfogó irányítási eljárások kifejlesztését teszi szükségessé, melyek elengedhetetlenek a biztonságos és kiváló minőségű élelmiszerek gyártásának biztosításához. Emellett a fogyasztói elvárások is változnak; a kényelem, a gyorsan elkészíthető ételek és a természetesebb jellemzőkkel bíró termékek iránti igény általában fokozódik (Jabs és Devine, 2006). Ilyen háttér mellett a teljes élelmiszerláncnak biztosítani kell, hogy a legszigorúbb minőségi szabványok és biztonsági előírások érvényre juthassanak. Az élelmiszer-lánc minden fázisában, a nyersanyagok beszerzésétől a gyártáson, elosztáson és értékesítésen keresztül, legyen az kiskereskedelmi bolt vagy ellátási egység, az adott termékekkel, folyamatokkal és kezelési módszerekkel kapcsolatos minőségi elvárásokat teljesíteni kell. Az élelmiszeripar számos sajátossággal rendelkezik, melyek különösen előtérbe helyezik ezeknek az elvárásoknak betartását (Hoogland et al., 1998; Illés, 2007). A régebben alkalmazott, hagyományos rendszerek már nem elegendőek e problémák megoldására. Az utóbbi időben a különböző erőfeszítések eredményeként a korábbiaknál jobban körvonalazódnak az általános minőségügy azon összefüggései is, amelynek célja az élelmiszer-biztonság jelentőségének fokozódása. Ennek folyományaként újabb és újabb törvények, szabályozások és termelési technikák születnek a biztonságot garantáló élelmiszerek előállítására érdekében (Schiefer, 1997).

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az élelmiszer előállítása és feldolgozása időben és térben elválik egymástól. A nagy mennyiségben előállított élelmiszerek a világkereskedelemben gyorsan, nagyszámú fogyasztóhoz juthatnak el. A fogyasztóknak így nincs igazából rálátása az előállítás technológiájára, körülményeire, csak a termék előállítója vetett bizalma segíthet az élelmiszer kiválasztásánál. Az élelmiszer-biztonsági problémákat a területet érintő szabályozások betartása (betartatása), a modern minőségmenedzsment rendszerek bevezetése, a termékek nyomon követhetősége, illetve a minden kétséget kizáró azonosíthatósága oldhatja meg.

Vizsgálataink középpontjában a húsiparban (húsipari termékpályákba a baromfiipart is figyelembe véve) előforduló minőségügyi rendszerek informatikai támogatásának-fejlesztésének vizsgálata mellett, a területen jelenleg alkalmazott minőségmenedzsment rendszerek és szabályozások, az élelmiszer nyomon követési rendszerek, az alkalmazott és a jövőben alkalmazható azonosítási és informatikai eszközök, illetve a hazai húsipari vállalkozások felkészültségének vizsgálata állt. A vizsgálatok fontosabb céljai a következők voltak:

- A húsipari termékláncban alkalmazott előírások és szabványok alkalmazásának vizsgálata;
- A termékpályákban alkalmazható és alkalmazott azonosítási technológiák elemzése;
- A termék nyomon követés követelményeinek, a nyomon követés szintjeinek, problémáinak, gazdasági-szervezési hátterének vizsgálata a termékpálya különböző lépcsőin;
- a húsipari vállalatokban működő információs rendszerek és ezekben megvalósított termék nyomon követés vizsgálata.

A kutatómunka támogatására egy kutatási portál került kifejlesztésre, mely létrehozásának célja a húsipari vállalkozások körében alkalmazott, illetve tervezett korszerű minőségirányítási és nyomon követési rendszerekre vonatkozó felmérés és a témához kapcsolódó tudásbázis publikálásának támogatása volt. A kutatási portál főbb moduljait az 1. ábra mutatja. A portál elérhetősége: <http://nodes.agr.unideb.hu/kutatas/fi/>

1. ábra

A kutatási portál részei

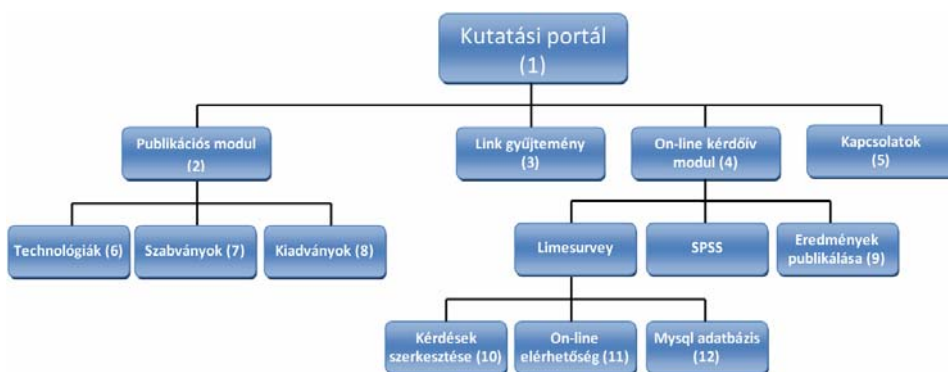


Figure 1: Sketch of the research portal

Research portal(1), Publication module(2), Link collection(3), On-line survey module(4), Contacts(5), Technologies(6), Standards(7), Proceedings(8), Publication of the results(9), Question editing(10), On-line availability(11), Mysql database(12)

A portálon publikálásra kerültek a szakirodalmi feldolgozás fontosabb összefoglaló eredményei, amely a vállalkozások körében végzett felmérést alapozták meg, másrészt segítséget nyújthattak a vállalkozások számára a kérdőív kitöltéséhez, illetve munkájukhoz. A publikált információcsoporthoz a következők:

Technológiák. A menüpont alatt található az azonosítási technikákkal kapcsolatos legfontosabb tudományos cikkek, tájékoztató anyagok, a megoldásokkal foglalkozó vállalkozások, és az azonosítási témakörökben további szakmai portálok gyűjteménye;

Kiadványok. A témával kapcsolatos kiadványok, irodalmak gyűjteménye. Bemutatott könyvek segítségével bárki részletesebb információkat kaphat a minőségmenedzsment, a nyomon követés, az élelmiszer-biztonság, a korszerű azonosítási technikák témakörében. A kiadványok közötti válogatást segíti, hogy az alapvető adatok mellett rövid tartalmi ismertetőt is találhatunk minden irodalomhoz;

Publikációk. Ezen az oldalon található a Debreceni Egyetem Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar oktatóinak és hallgatóinak publikációi, a tudományos diákköri konferenciákra beadott dolgozatok, diplomamunkák;

Szabályozások. Szabványok, rendeletek és szabályozások kollekciónak tartalmazó oldal. Itt találhatóak a húsipart érintő a kötelező, az önkéntes illetve a kereskedelmi szabványok megismeréséhez szükséges linkek, részletes leírást tartalmazó oldalakra való hivatkozások;

Linkek. A hazai illetve nemzetközi hús és élelmiszer-biztonsággal foglalkozó szervezetek, hatóságok elérhetőségeit, internet címeit tartalmazza.

A portálon is elérhető kérdőíves felmérés több kérdéscsoportjának célja volt a következő kérdések megválaszolása, melyből számos további következtetés vonható le.

- Milyen minőségirányítási tanúsítványokkal, szabályozásokkal rendelkeznek a vállalkozások?
- Milyen gyakran történnek minőségi problémákból keletkezett visszahívások?

- Mik az elvárások a bevezetett vagy tervezett minőségügyi rendszerekkel kapcsolatban?
- Milyen szinten rendelkeznek nyomon követhetőségi információkkal (tárolnak információt) a terméklánc egyes lépcsőin?
- A jogszabályok által megkövetelt nyomon követési adatokat milyen mélységben tartják nyilván?
- Milyen termékazonosítási technológiákat használnak?
- Évente, az éves árbevétel hány százalékát fordítják informatikai rendszerük fenntartására, karbantartására?
- Rendelkeznek-e a vállalkozások a gazdasági tevékenységet, nyomon követhetőséget és minőségellenőrzést támogató informatikai rendszerrel?

A vizsgálat célcsoportja az összes magyarországi engedéllyel rendelkező húsipari vállalkozás volt (2. ábra). A cégek tevékenységi köre a következőkre terjed ki: daraboló üzem, hűtőház üzemeltetés, feldolgozó üzem, vágóhíd, darált/szeparált/előkészített húst előállító üzem. A kérdőív 467 vállalkozáshoz kerül ki. A kérdőív kitöltése során nem készült a válaszadók azonosítására alkalmas feljegyzés, alapvetően anonim módon történt, azonban a vállalatok majdnem fele e-mail címének megadásával élt azzal a lehetőséggel, hogy a felmérés eredményét számukra megküldjük.

A kérdőív Internetes változata a Portál rendszerbe integrált Limesurvey szoftverrel készült, amely 50 nyelven kínál teljes értékű, nyílt forráskódú, „php webes” adminisztrációs felülettel rendelkező megoldást, segítségével húsz különböző kérdéstípusban végtelen számú kérdést, illetve válaszlehetőséget hozhatunk létre. A kérdőív és az adatok Mysql adatbázisban kerültek tárolásra, a válaszok konvertálás után az SPSS programcsomaggal kerültek kiértékelésre, az eredmények publikálása, a diagramok elkészítése a Microsoft Office Excel 2007 programmal történt.

2. ábra

Válaszadók ágazati megoszlása

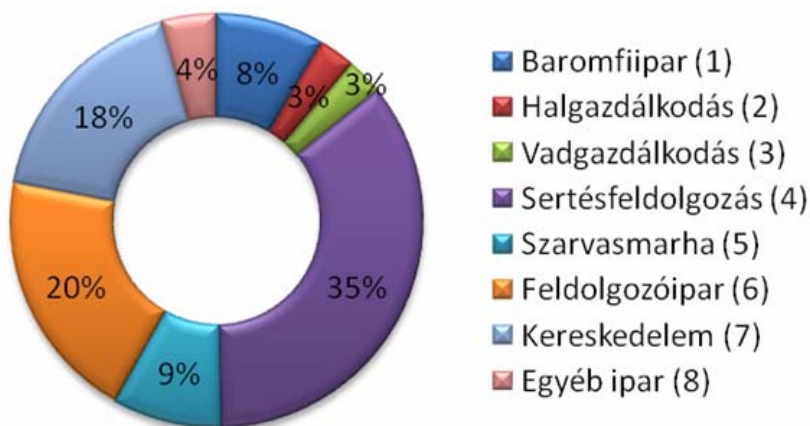


Figure 2: Distribution of responders

Poultry industry(1), Fishery(2), Wildlife management(3), Pork processing(4), Cattle breeding(5), Manufacturing(6), Dealership(7), Others(8)

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

Élelmiszer-biztonság és minőségügyi rendszerek

Az élelmiszer-biztonság és minőségügyi rendszerek kialakításával a szándék az volt, hogy létrejöjjön az élelmiszerek vizsgálati és gyártási folyamatainak minőségmenedzsmentjét elősegítő módszertan és a részletes jogszabályi háttér. A kidolgozott fontosabb rendszerek a következők:

- **GMP: Good Manufacturing Practice** – Jó Gyártási Gyakorlat,
- **HACCP: Hazard Analysis Critical Control Points** – Veszélyelemzés Kritikus Ellenőrzési Pontok/on,
- **GLP: Good Laboratory Practice** – Jó Laboratóriumi Gyakorlat,
- **GALP: Good Automated Laboratory Practice** – Jó Automatizált Laboratóriumi Gyakorlat,
- **GHP: Good Hygiene Practice** – Jó Higiéniai Gyakorlat,
- **GAP: Good Agricultural Practice**: Jó Mezőgazdasági Gyakorlat.

Magyarországon az élelmiszert előállító üzemek számára a HACCP rendszer bevezetése kötelező, szemben az ISO szabványok önkéntes alkalmazásával. Magyarországon az élelmiszertörvény (1995. évi XC. Tv.) végrehajtási rendeletének – 1/1996. (I. 9.) FM-HM-IKIM sz. r.) 10. §-a is előírta a minőségirányítási rendszer meglétének kötelezettségét. A 80/1999. (XII. 28.) GM-EüM-FVM együttes rendelet a HACCP kötelező alkalmazását írja elő 2002. január 1-jétől, nemcsak az élelmiszert termelők, hanem a forgalmazók, vendéglátók számára is. A HACCP nemcsak az élelmiszer kereskedelemre gyakorol nagy hatást, hanem a gyártókat és azok logisztikai szolgáltatásait is érinti. A gyáraknak, a raktáraknak és a szállítójárműveknek is meg kell felelniük a megkívánt higiéniai feltételeknek (Laczay és Reichart, 2008).

Minden élelmiszerral foglalkozó vállalkozás számára ismert, hogy működésük megfelelőségét bizonyítaniuk kell vevőik számára. E követelmények azonban különösen a multinacionális cégek beszállítói számára sok esetben eltérnek egymástól. Ez megnehezíti a vállalkozások feladatát abban a törekvésükben, hogy minden vevőjük számára a lehető legjobb feltételeket biztosítsák termékük minősége és a feldolgozás körülményei tekintetében (Veress, 2002).

Különösen élesen jelentkeznek ezek a nehézségek a kereskedelmi láncok beszállítói felülvizsgálatai során, amikor néha egy időben, egymásnak ellentmondó követelményeket fogalmaztak meg a láncok által megbízott auditorok a beszállító számára. Erre hozták létre többek között az IFS, EFSIS, BRC szabályozásokat, melyek megfelelnek az élelmiszer-biztonság követelményeit előíró 178/2002/EC rendeletnek és a partnerek által megkövetelt beszállítói igényeknek. Az IFS szabványt (International Food Standard) német intézmények és szervezetek alakították ki az EFSIS és BRC, valamint az ISO 9001 szabványok figyelembevételével.

Mára már azt mondhatjuk, hogy a magyarországi élelmiszeripari vállalatok mindegyike bevezette a minőségmenedzsment rendszerét. A rendszerek bevezetésével jobb minőségű árut lehet előállítani, ezen kívül az élelmiszeripari vállalatok felől is erős a nyomás a beszállítókkal kapcsolatban, és nem mellékes követelmény az Unió elvárásoknak, szabályozásoknak való megfelelés (Sembery, 2000). A felmérés adataiból látszik, hogy a megkérdezett vállalkozások közül a húsupari termékpályán minden cég rendelkezik HACCP-val, de ez az eredmény nem meglepő, hiszen alkalmazása 2002-től kötelező. A GXP szabályozások és a kereskedelmi szabványok alkalmazása nagyban függ, hogy a termékánc milyen szintjén található a cég. Általánosságban az is

elmondható, hogy sajnálatos módon a TQM és az ISO 22000-es rendszerek használata igen alacsonynak tekinthető (3. ábra).

3. ábra

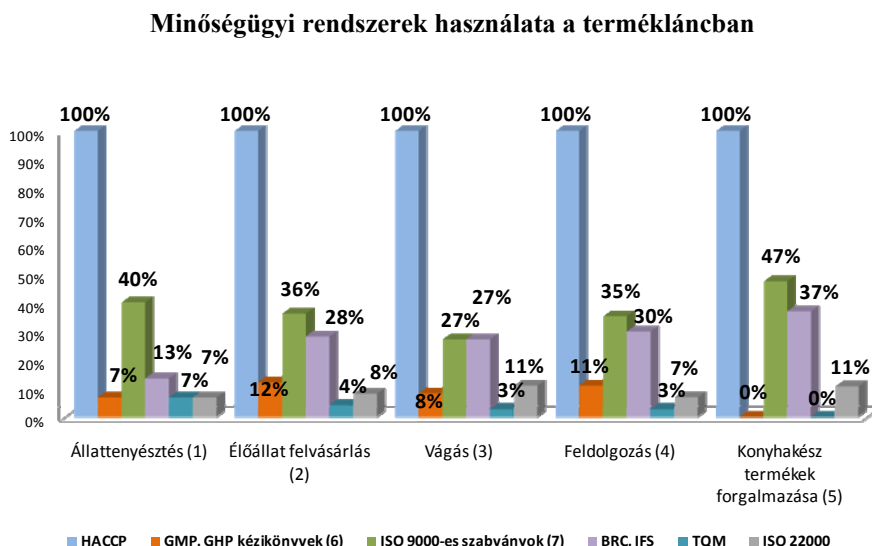


Figure 3: Usage of quality management systems

Stock-raising(1), Livestock buying up(2), Slaughtering(3), Food processing(4), Distributing of oven ready products(5) GMP GHP reference books(6), ISO 9000 standards(7)

Azonosítási technológiák

A termékek azonosítása alapvető és fontos szerepet játszik a teljes termelési láncban, az alapanyag előállításától, a tenyésztésen, feldolgozáson, termék előállításán, kereskedelmi tevékenységen át fogyasztók számára történő értékesítésig. A termékfolyam különböző lépéseiben a technológiák sokasága kerülhet felhasználásra számos tényező függvényében. E technológiák nagy részében az információ technológiának nagy szerepe van. Kutatásunkban a következő technológiák jellemzőit alkalmazhatóságát és alkalmazását vizsgáltuk:

- Vonalkód rendszerek (lineáris, többdimenziós),
- Biológiai azonosítók,
- RFID (Rádiófrekvenciás azonosítás),
- Nyomtatott elektronika,
- Bokode (az információt vizuálisan kódoló technológia).

Az automatikus azonosítás megvalósításához az első lépéseket az Amerikai Egyesült Államokban tették meg. A szupermarketek gigantikus áruözege kényszerítette ki először a pénztárgépek automatizálását. A 60-as évek közepén a vonalkód feltalálása, valamint az elektronika és az optoelektronika területén elért eredmények vezettek ahhoz, hogy a vonalkódra alapozott áruazonosítási rendszerek valósággal előzöllyedtek az USA kereskedelmi hálózatait. A vonalkód rendszerek szabványosítottak, a kereskedelmi területeken az UPC szabvány (Egyesült Államok és Kanada) és az EAN szabvány

(Európa) terjedt el, amelyek kódhosszúsága általában rögzített és numerikus adatokat tartalmaznak.

Biológiai azonosító lehet bármilyen jellemző, amely stabilan és folyamatosan megfigyelhető és nyomon követhető. Ezeket az azonosítókat más néven elsődleges azonosítóknak nevezzük. A biológiai azonosítók használata a legtöbb esetben a leghatékonyabb módja az azonosításnak, leginkább a megcáfolhatatlansága miatt (Raspor, 2004). Általánosságban a biológiai azonosítókat az élelmiszerek nyomon követése és biztonsága miatt alkalmazzák, éppen ezért azt a típust kell kiválasztani, ami a követelmények jellegéből adódóan az élelmiszerlánc minden területén, eltérő feltételek mellett is jól felhasználható (Zolg és Langen, 2004).

A biológiai azonosítók sikeres alkalmazásához magas szintű analitikai lehetőségekkel kell rendelkezni (Norton *et al.*, 2001) és a megfelelő tudásbázissal, ahhoz hogy képesek legyünk a kapott eredményeket értékelni az élelmiszer összetételétől és feldolgozottságától függően. A számítástechnika, a molekuláris biológia, a műszerek, valamint a kiértékelési technikák fejlődésével egyre több azonosító alkalmazható az élelmiszer nyomon követésben (Diemer *et al.*, 2002; Hiroyasu *et al.*, 2002; Sharpless *et al.*, 2004). A biológiai azonosítók közül kiemelt szerepet kap a DNS alapú azonosítási és nyomon követési technológia, mely segítségével minden egyes húskészítmény egyedileg követhető 100%-os biztonsággal. A DNS alapú nyomon követés a farmtól a feldolgozókon át akár a fogyasztóig meglehetősen egyszerűnek tűnik. Egy nagy állategyedekek DNS-eit tartalmazó adatbázis segítségével könnyen meghatározható, hogy a vizsgált állat vagy húskészítmény az-e aminek lennie kell.

A vonalkód rendszerek felváltására a rádió frekvenciás azonosító rendszerek (RFID) kínálják az egyik megoldást. Elemzők szerint az RFID nem fogja leváltani a vonalkódot az elkövetkező 10-20 évben. A vonalkód kiemelkedő abban, hogy alapvető azonosítási lehetőségeket kínál a legalacsonyabb lehetséges áron. Az RFID nagyobb funkcionalitást kínál, de ezt magasabb áron nyújtja. A legvalószínűbb megoldásnak az látszik, hogy az RFID és a vonalkód együtt fog működni, mint kulcs-technológia. A trendek szerint 2010-2011-re várható egy nagyobb ugrás a technológia alkalmazásában, ekkorra a termékek 30%-a fog RFID azonosítóval rendelkezni főleg annak köszönhetően, hogy a nagy multinacionális cégek megkövetelik alkalmazását.

Az első nyomtatott integrált áramköröket a 2005-ös frankfurti vásáron mutatták be. A technológiát a Chemnitz-i Egyetem fejlesztette ki, mely segítségével nyomtatási technológiával (lényegesen alacsonyabb áron) lehet elektronikus áramköröket tömegesen előállítani. Ez megalapozná többek között az RFID rohamos elterjedésének lehetőségét és elmosná a nyomtatott objektumok és a virtuális világ közötti éles határt.

A bokode egy új, az információt vizuálisan kódoló technológia, melyet a Massachusetts Institute of Technology (MIT) kutatói alkottak meg. Egy mindössze három milliméteres átmérőjű mintázat, ami egy ledre feszül, fölötté pedig lencse található. A mintázat megszűri a világító led fényét, a bokode leolvasója pedig e fényt észlelve ismeri fel a mintázatba kódolt információkat. A vonalkóddal szemben nagy előnye, hogy a leolvasó berendezés lehet akár egy mobiltelefon beépített kamerája is és az információ messziről (több méter) is leolvasható, valamint egyszerre akár több termék adatai is olvashatóak lehetőséget adva ezek összehasonlítására. Tárolási kapacitása jóval meghaladja a vonalkódot, akár több ezerszerese is lehet.

A felmérés alapján a Magyarországon alkalmazott termékazonosítási technológiákról elmondható, hogy leggyakrabban valamilyen gyári- vagy tételszámot, illetve vonalkódot használnak. Rádiófrekvenciás azonosítást használó vállalkozás nem

fordult elő a válaszadók között (bár van tudomásom a technológiát használó cégről), amiből jelenleg a technológia alacsony elterjedésére lehet következtetni.

Az új azonosítási technológiák elterjedésének két fontos hátráltató tényezője van:

- Az egyik nyilvánvalóan a magas költségszint. Az RFID és a DNS alapú biológiai azonosítók ára jelentősen csökkent az utóbbi években. Az azonosítók termékekre (esetleg kg-ra) vetített költsége már megengedné alkalmazásukat, azonban az ezekhez kapcsolható a járulékos beruházások még sokszor megfizethetetlenek a húsipari vállalkozások számára;
- Másrészt a korszerű azonosítási technikák akkor nyújtanak jelentős előnyöket a hagyományos megoldásokkal szemben, ha alkalmazásuk végigkíséri a teljes termékáncot. Jelenleg a lánc egyes lépcsőin a legkülönbébb megoldásokat alkalmazzák, melyek legtöbbször nem kompatibilisek egymással, a rendszereket nem, vagy csak nehezen lehet harmonizálni, gyakran új kódolásra is szükség van.

Élelmiszerek nyomon követése

A nyomon követhetőség az ISO 8402:1994 definíciója szerint: egy bizonyos termék életútjának, a rajta végrehajtott műveleteknek és térbeli elhelyezkedésének követési képessége rögzített információk alapján. Az élelmiszer-biztonság a termékánc minden szereplője szempontjából eltérő jelentőséggel bír. Mivel a fogyasztók érdekeltek leginkább az élelmiszer-biztonságban, a nyomon követhetőséget szolgáló rendszerektől elvárják, hogy biztonságérzetet adjanak számukra, és megbízható legyen az élelmiszer, amelyet megvásárolnak (*Lakner et al.*, 2003). Egy jól működő nyomon követési rendszer megvalósításakor három tényezőt kell figyelembe venni (*Golan et al.*, 2004a):

- Szélesség, vagyis a termék mely tulajdonságait vizsgáljuk;
- Mélység. Milyen mélységig és milyen mennyiségben követjük a terméket;
- Precízió. Milyen pontossággal működik a rendszerünk, mekkora hibahatárokat engedünk meg.

Több szempontból is a legjelentősebb a mélység kérdésének meghatározása. A nyomon követés mélységének meghatározásához a vállalatokon belül fontos az úgynevezett Traceable Resource Unit-ot, vagy TRU-t megállapítani. A TRU az a szemléltetési egység, melyet nyomon követünk. A teljes nyomon követhetőség elve szerint a termékek mozgását az előállítási folyamat kezdetétől a fogyasztókig rögzíteni kell. Ez minden olyan inputra és eseményre vonatkozik, ami kapcsolatba hozható az új termék előállításával. Az élelmiszerlánc az élelmiszer-biztonság és annak is a nyomon követhetőségi elvárásainak teljesíthetősége miatt nem tekinthető egyszerűságnak, azaz a termelési lánc egyes elemei (takarmánynövények termesztése, logisztika) nem vagy alig vannak feltárva, miközben bizonyos elemek (termékkfeldolgozás) szinte már túlszabályozottak (*Győri et al.*, 2006)

Ahhoz, hogy egy esetlegesen bekövetkező élelmiszer probléma esetén az érintett terméket ki lehessen vonni a forgalomból megfelelő információkkal kell rendelkezni minden egyes összetevőjével és a gyártási folyamatokkal kapcsolatban. A kérdőíves felmérés során vizsgáltuk, hogy a magyarországi vállalkozások, milyen adatokkal rendelkeznek termékeikről (4. ábra). Az eredmények megmutatják, hogy a visszakövethetőségi láncban a legnagyobb szakadás a takarmányok követhetőségénél van, a megkérdezett vállalkozások 29%-a semmilyen információval nem rendelkezik az élőállatok takarmányozásáról.

A termékvisszahívások gyakorisága a termékánc vége felé növekszik (5. ábra), azonban ez nem meglepő eredmény. Egyrészt az élelmiszerproblémák leggyakrabban a fogyasztónál érzékelhetőek, másrészt minél több összetevővel rendelkezik a termék, minél

több gyártási folyamaton ment keresztül, annál nagyobb a különböző problémák előfordulásának esélye.

4. ábra

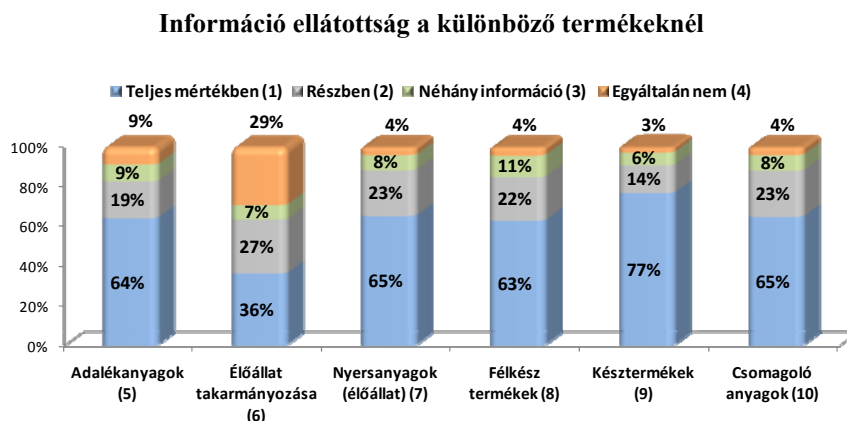


Figure 4: Available information of meat products

All information(1), Fragment information(2), Some information(3), Nothing(4), Additives(5), Livestock forage(6), Livestock(7), Semi-processed products(8), Products(9), Packaging materials(10)

5. ábra

Élelmiszer visszahívások aránya a húsipari terméklánc egyes szintjein

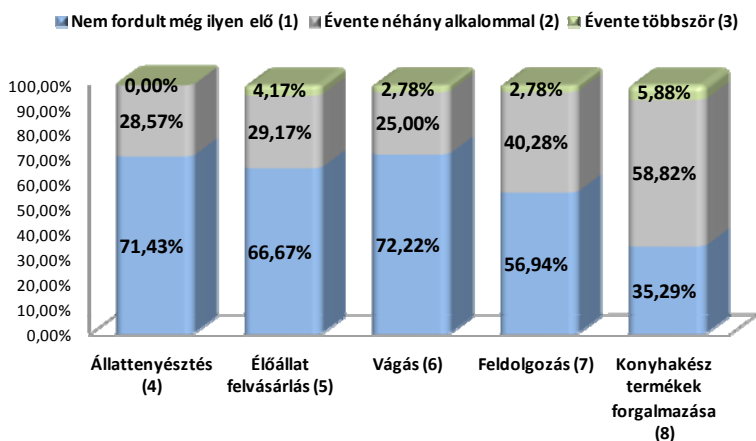


Figure 5: Proportion of food withdrawals at certain levels of a product chain in meat industry

Never(1), Sometimes(2), Several times(3), Stock-raising(4), Livestock buying up(5), Slaughtering(6), Food processing(7), Distributing of oven ready products(8)

Termék nyomon követés a húsipari vállalatok információs rendszereiben

A húsipari termékpályák mentén a társadalmi károk megelőzése érdekében a törvényi szabályozások és előírások egyre szigorodnak, valamint az utóbbi években az emberek aggodalma is rohamosan nőtt e területen. Mindezen problémák lényeges terhet rónak az élelmiszeriparban tevékenykedő vállalatokra, ezzel szemben nőtt a vállalatirányítási információs rendszerek iránti érdeklődés és kereslet. Vállalatirányítási információs rendszereknek azokat a komplex megoldásokat kínáló szoftvereket nevezzük, amelyek leképezik a vállalat fizikai anyag és információáramlását, és az adatokat szűrve, megfelelően rendszerezve a vezetők rendelkezésére bocsátják, elősegítve az erőforrások ésszerűbb felhasználását és a hatékonyabb termelést.

Az élelmiszeripari szektor esetén szükség van szektorspecifikus megoldásokra. A szektor specifikus, kimondottan élelmiszeripari alkalmazásokra, a fejlesztő cégek (CBS-System, SAP, Navision) olyan integrált megoldást kínálnak, mellyel eredményesen megoldható a vázolt probléma. Általánosan elfogadott, hogy csak az anyag-, áru-, és információ gazdálkodás összes folyamatának integrálásával lehet racionalizáló és pontos koncepciót készíteni. A racionalizálás után lehetségessé válik az átlátható nyilvántartás.

Vizsgáltuk, hogy Magyarországon árbevétel szerint hogyan változik az információs rendszerek használata a húsipari cégeknél (6. ábra).

6. ábra

Információs rendszerek alkalmazása árbevétel szerint

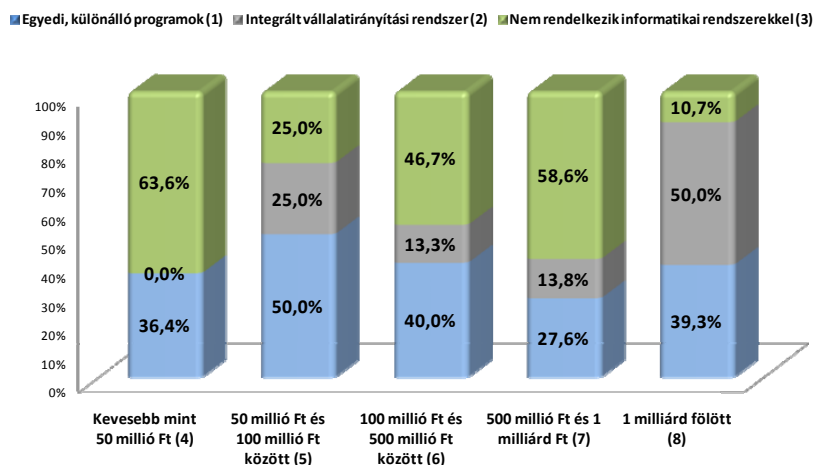


Figure 6: Usage of information systems according to revenues

Nothing(1), ERP systems(2), Individual separated systems(3), Less than 50 million HUF(4), Between 50 and 100 million HUF(5), Between 100 and 500 million HUF(6), Between 500 and 1 billion HUF(7), Above 1 billion(8)

Az eredmények alapján a legkisebb árbevétellel rendelkező kategóriában használnak legkevésbé információs rendszereket, a cégek 63,6% egyáltalán nem is rendelkezik semmilyen rendszerrel. Az 1 milliárd forint árbevétel fölötti cégeknél ez a szám alig haladja meg a 10%-ot, itt már jelentős számban (a válaszadók fele) integrált

vállalatirányítási rendszert használ. A többi csoportban vegyes eredmények születtek, de általánosságban megállapítható, hogy magasnak mondható a vállalatok különböző területein alkalmazott egyedi, szigetmegoldások alkalmazása. Ezeket leginkább a készletgazdálkodás és pénzügyi területeken használják. Az integrált vállalatirányítási rendszerek alkalmazásánál is igen változatos a kép. Leginkább a Navision és a CSB rendszer előfordulása jellemző, néhányan saját fejlesztésű programot működtetnek, más rendszerből pedig egy-egy példával lehet találkozni.

A hazai agrárgazdaságnak égetően szüksége lenne olyan innovációs folyamatokra, az azokat megalapozó, támogató innováció politikára, amelyek a legutóbbi években megtépzott versenypozícióját feljavítanák. A témakör ismételt elővetelét az indokolja, hogy az EU-s időszámítás szerinti 2007–2013 közötti időszak fejlesztéspolitikája döntő lehet a nemzetek, nemzetközösségek közötti verseny hosszabb távú kimenetelét illetően (Husti, 2007).

KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatás eredményeként megállapítható, hogy a vonalkódos technika jelenleg egyeduralgó az ágazatban, bár a modern megoldások számos előnyt nyújtanak, rentábilis alkalmazásuk jelenleg még nehezen megoldható. A portálon publikált eredményeim megfelelő alapot biztosítanak a terméklánc szereplőinek a számukra megfelelő technológia megismeréséhez, kiválasztásához.

A cégek igyekeznek megfelelni az elvárásoknak, de sokszor teljesen eltérő szemlélettel, vásárlóiktól függően akár többféle piaci szempontot is kiszolgálva alkalmaznak különböző megoldásokat. Az élelmiszeriparban felmerülő speciális igényeket igazából teljes körűen csak egy integrált ERP rendszerrel lehet megvalósítani, hiszen fontos, hogy a teljes vertikum minden egyes lépése le legyen fedve, ne legyen lyukak a termelési láncban. Felmérésemből megállapítottam, hogy a vállalkozások kevesebb mint 1%-ot fordítanak bevételeükből informatikai beruházásokra, amely nagyon kevés a fejlesztések és korszerűsítések megvalósítására. Éppen ezért a vállalkozásoknál gyakoriak a szigetmegoldások, alacsony az új technológiák használatának aránya.

IRODALOM

- Diemer J., Quetel CR., Taylor PD. (2002): Contribution to the certification of B, Cd, Cu, Mg and Pb in a synthetic water sample, by use of isotope-dilution ICP-MS. Analytical and bioanalytical chemistry, ISSN 1618-2642 374. 2. 220-225. p.
- Golan E., Krissoff B., Kuchler F., Nelson K., Price G. (2004a): Traceability in the U.S. Food Supply: Economic Theory and Industry Studies. Agricultural Economic Report No. (AER830) March
- Győri Z., Mitlasovszky I., Kerekes B., Sólyom J., Németh Zs. (2006): Farmtól az asztalig a takarmánynövények termesztésére és nyomonkövethetőségére kialakítandó minőségbiztosítás, Magyar Minőség 40. 4. 196-205. p.
- Hiroyasu M., Ozeki M., Miyagawa-H. A., Fujiwara Y., Hiai H., Toyokuni S. (2002): Novel surrogate endpoint biomarker to evaluate agents for use in the chemoprevention of reactive oxygen species-associated cancer. Redox report ISSN 1351-0002 7. 5. 335-338. p.
- Hoogland J.P., Jellema A., Jongen W.M.F. (1998): Quality Assurance Systems, In: Jongen W.M.F., Meulenberg M.T.G. (eds.), Innovation of food production systems. Wageningen Pers, The Netherlands

- Husti I. (2007): Gondolatok az agrárinnováció néhány kritikus területéről. MAG Kutatás, fejlesztés és környezet, 16. 2. 5-11. p.
- Illés B.C.S. (szerk.) (2007): A kft. gyakorlati kézikönyve. Verlag Dashöfer Szakkönyvkiadó kft, Budapest 2007. 3200 p.
- Jabs J., Devine C.M. (2006): Time scarcity and food choices: an overview. Appetite, 47. 196-204. p.
- Laczay P., Reichart O., (2008): Élelmiszer-Higiénia Élelmiszerlánc-Biztonság. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 650 p.
- Lakner Z., Bánáti D., Szabó E., Kasza, Gy. (2003): A magyar fogyasztó és az élelmiszerek biztonsága. A Hús, 13. 1. 49-55. p.
- Lang T., Heasman M., (2004): Food wars: Battle for Mouths, Minds and Market. Earthscan Ltd, London, 365 p.
- Norton S.M., Huyn P., Hastings C.A., Heller J.C. (2001): Data mining of spectroscopic data for biomarker discovery Current Opinion In Drug Discovery And Development 4. 325–331. p.
- Raspor P (2004): Bio-markers as primary identifiers as needed for food safety and traceability of food items. 2nd Central European Congress on Food, April 2004, Budapest, Hungary, 1–11. p.
- Schiefer G. (1997): Quality Management and Process Improvement – The Challenge, In: Schiefer G., Helbing R. (eds.), Quality Management and Process Improvement for Competitive Advantage in Agriculture and Food (Volume I), Dept. of Agricultural Economics, University of Bonn
- Sembry P. (2000): Minőségbiztosítás az agrárgazdaságban. Műszaki Könyvkiadó : Budapest 383 p.
- Sharpless K., Greenberg R., Schantz M., Welch M., Wise S., Ihnat M (2004): Filling the AOAC triangle with food-matrix standard reference materials. Analytical and bioanalytical chemistry 378. 1161–1167. p.
- Veress G. (2002): A minőségügy alapfogalmai. In: Györi Z. (szerk.): Minőségirányítás az élelmiszeriparban. Primom Vállalkozásfejlesztési Alapítvány
- Zolg J.W., Langen H. (2004): How industry is approaching the search for new diagnostic markers and biomarkers. Mol Cell Proteomics 3. 345–354. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Herdon Miklós

Debreceni Egyetem, Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar

4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

University of Debrecen, Faculty of Applied Economics and Rural Development

H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

Tel.: 36-52-486-288/88360, Fax: 36-52-486-255

e-mail: herdon@agr.unideb.hu



Élelmiszer adatbázis szűrése mennyiségi megszorítások alapján logaritmikus indexeléssel

Kusper¹ G., Márten² Sz.

¹Eszterházy Károly Főiskola, 3300 Eger, Eszterházy tér 1.

²Wit-Sys Zrt., 1036 Budapest, Árpád fejedelem útja 79.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben az IMEE (Index Maszkos Ehetem-E) algoritmust ismertetjük. Az algoritmust az eFilter projekt keretében fejlesztettük ki. A projekt célkitűzése egy olyan informatikai rendszer felállítása, amely egészségügyi adatok alapján szűri az élelmiszerek listáját. Az új algoritmus feladata eldönteni, hogy a felhasználó egy adott élelmiszert megehet-e, vagy sem. Ehhez ismerni kell a felhasználó étkezésre vonatkozó egészségügyi profilját. A profil megszorításokat tartalmaz, ezek alapján kell egy potenciálisan nagy élelmiszer adatbázisból szűrni a megehető tételeket. A cikkben közölt első algoritmus a természetes megközelítésből adódik. Ennek gyorsítására egy indexelési módszert írtunk le, amely a bitmap indexelési technika használatát teszi lehetővé. Bitmap indexet akkor érdemes használni, ha sok rekord van és az indexelt tulajdonság csak kevés értéket vehet fel. A javasolt módszer a megszorításokat alakítja át indexé, úgy, hogy csak minden a logaritmikus skálán lévő értéknél kisebb vagy egyenlő összetevő tartalmú étel lesz indexelve. Sajnos így egy megszorításnál csak megengedőbb vagy szigorúbb feltétel vizsgálható. Az általános alakú $N < \text{összetevő tartalom} \leq M$ megszorításhoz tartozó szigorúbb megszorítás $2^{\lceil \log_2(N) \rceil} < \text{összetevő tartalom} \leq 2^{\lceil \log_2(M) \rceil}$ tartozik, amit a legnagyobb tartalmazott megszorításnak nevezünk. Az IMEE algoritmus minden ugyanarra az összetevőre vonatkozó megszorítást összevon egy megszorítássá, majd ezekhez kiszámítja a legnagyobb tartalmazott megszorítást. Végül visszaadja azokat az élelmiszereket, amelyek minden megszorításnak eleget tesznek. (Kulcsszavak: bitmap indexelés, egészségügyi profil, IMEE algoritmus)

ABSTRACT

Filtering Food Databases by Logarithmic Indices on Quantity Constraints

G. Kusper¹, Sz. Márten²

¹Eszterházy Károly College, H-3300 Eger, Eszterházy tér 1.

²Wit-Sys Zrt., H-1036 Budapest, Árpád fejedelem útja 79.

In this article we introduce the IMEE (May I Eat with Index Mask) algorithm, which we developed in the framework of the eFilter project. The goal of this project was to build up an information system, which can filter a food list by health data. The new algorithm has to decide whether the user may or may not eat a given food. To be able to do so we have to know the users health profile on eating. This profile contains constraints. We have to filter the potentially big food database according these constraints. The first algorithm in this article is the straightforward one. To speed up this algorithm we introduce an indexing mechanism, which enables us to use bitmap indexing. Bitmap indexing pays off if we have lots of records and the indexed entity has only a few possible values. The introduced

method can turn a constraint into an index by indexing only those foods which contain less or equal ingredients than a value on the logarithmic scale. Unfortunately, this was we can introduce only a less or more strict condition than the original one. We assign to the generic $N < \text{ingredient content} \leq M$ constraint the more strict one $2^{\lceil \log_2(N) \rceil} < \text{ingredient content} \leq 2^{\lfloor \log_2(M) \rfloor}$, we call this the greatest specific mask. The IMEE algorithm works as follows: it closes up all constraints for each food ingredient, and then computes the greatest specific masks for each such constraint, and then filters those foods from the databases which fulfil all greatest contained constraints.

(Keywords: bitmap indexing, health profile, IMEE algorithm)

BEVEZETÉS

Ebben a cikkben olyan egyszerű, majd egyre kifinomultabb algoritmusokat közlünk, amelyek egy ételről, amelynek ismerjük az összetevőit, egy az összetevőkre vonatkozó megszorítás halmaz alapján eldöntik, hogy megfelelnek-e a megszorításoknak vagy sem, eheter-e az ételt vagy sem.

A cikk fő motivációja az eFilter projekt, amelyet részletesen bemutatunk a következő fejezetben. Az eFilter projekt az EgerFood projekt továbbgondolása. Az EgerFood projektben létrehoztunk egy olyan információs rendszert (Kusper et al, 2007; 2008; Liptai et al, 2007; Radványi et al, 2007, 2008a, 2008b), amelynek segítségével a cégek le tudják tárolni, akár egyedi termékenként, hogy milyen összetevőkből készült az élelmiszer, az összetevőket ki szállította, mikor és hogyan használták azokat fel.

Az eFilter projekt szemszögéből ebből az a fontos, hogy néhány élelmiszerről egészen pontosan tudjuk, mit tartalmaz. Más adatforrást is használtunk az itt közölt algoritmusok vizsgálatához.

Fő forrásunk a <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=20959> linkről letölthető, az United States Department Of Agriculture szervezet által közölt élelmiszer adatbázis.

Az eFilter projekt bemutatása

Az eFilter projekt célja egy olyan informatikai rendszer felállítása, amely egészségügyi adatok alapján szűri az élelmiszerek listáját, amelyet a felhasználók szeretnének elfogyasztani. Itt az élelmiszer lehet egy nagyon egyszerű, pl. liszt, vagy akár egy nagyon összetett, pl. sajtos makaróni, is. Az egészségügyi adatokat egy egészségügyi profilban tároljuk. Ez tartalmazza az ételérzékenységeket, az allergiákat, diétákat és egyéb étkezésnél figyelembe veendő adatokat. Ugyanakkor ezeket az adatokat számszerűsítve tároljuk. Nem azt tároljuk, hogy a felhasználónak mogyoró allergiája van, hanem hogy a megengedett napi mogyoró bevitel 0.0 és 0.0 közt van, tehát megszorításként. Így az egészségügyi profil egy többdimenziós megszorítási mátrix.

Működési modell

Minden használati eset két alapvető működési módra vezethető vissza. A kétféle használati módot foglalja össze az 1. ábra.

A szűrés során a bő lista minden egyes elemére az egészségügyi profilt alkalmazva eldönthető, hogy az adott termék megfelel-e a profilban megadott megszorításoknak vagy sem. Továbbá a fogyasztható termékekhez való hozzájutást segítő információk kérhetők. Az ellenőrzés során egy termékről eldönthető, hogy megfelel-e az egészségügyi profilban megadott megszorításoknak vagy sem. Továbbá a termékkel kapcsolatos információk kérhetők le.

1. ábra

Az eFilter rendszer használati módjai

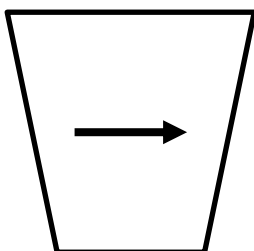
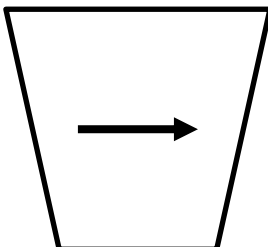
Bő lista (1)	Egészségügyi profil(2)	Szűk lista (3)
- Étkeztető szervezet menü listája - Bolt élelmiszer listája - Ételrendelésnél étlap - Hol kapható a fogyasztható termék?	 SZÜRÉS (4)	- Fogyasztható menük listája - Boltban kapható fogyasztható élelmiszerek listája - Fogyasztható ételek listája - Fogyasztható terméket áruló boltok listája
Kérdés (5)	Egészségügyi profil	Válasz (6)
- Megvásárolt élelmiszer fogyasztható-e? - Vásárlásnál megerősítés, hogy az adott termék fogyasztható-e?	 ELLENŐRZÉS (7)	- Igen / Nem + Megvásárolt élelmiszerről bő információ - Igen/Nem + Megvásárolt élelmiszerről bő információ

Figure 1: Possible usages of the eFilter system

Long list of foods (This is a list of foods. This list can be the list of available foods in a store, or the list of meals of a restaurant)(1), Health record (This record belongs to the user. It describes those constraints which limits what can the user eat)(2), Short list of foods(This is a list of foods. It contains those foods from the long list which match the constraints of the health record)(3), Filter(4), Question (The eFilter system can answer several questions: May I eat this food? Which foods may I eat from the list?)(5), Answer (The eFilter system can answer these questions by answering yes/no and by giving the list of foods the user might eat)(6), Control(7)

Adatmodell

Az egészségügyi profil tulajdonságai:

- Az egészségügyi profil lehet személyes, azaz fogyasztóhoz köthető vagy sablon, amely fogyókúra és egyéb betegségek esetén általános megkötések tételére használható;
- A személyes és a sablon egészségügyi profil is kor-, nem- és súlyfüggőek. Ezek leíró attribútumként az egészségügyi profil entitás részei;
- Az egészségügyi profilok strukturálhatók, azaz a már meglévő profilokból és azok szabályaiból építkezni lehet. A meghatározott egészségügyi profil sablonok felhasználhatók személyes profilok esetén. Például egy előre meghatározott betegséghez kötött egészségügyi profil beköthető egy személyes profilhoz, amelyet az adott beteg egyedi szabályaival tovább lehet finomítani.

Egészségügyi profil szabály:

- Megszorítások, amelyek irányai a következők lehetnek:
 - tiltás,
 - nem javasolt,
 - javasolt,
 - erősen javasolt;
- amelyek megadása mennyiségi korláttal történik. Egy megszorítás esetén, ha a mennyiség nem nulla, akkor csak egy megadott időszakra vonatkozhat, mivel akkor a fogyaszthatósággal kapcsolatos döntés csak az időszakban elfogyasztott mennyiséggel felhasználva születhet meg. (Nincs értelme egy konkrét döntésnél időszak és fogyasztás nélkül olyan szabályt felhasználni, ahol a mennyiség nem nulla, mivel ez felhasználás szempontjából értelmezhetetlen.);
- Betegséghez tartozó egészségügyi profil sablon esetén az adott betegség étkezési megkötései szerepelnek a szabályok között;
- Egy szabály típusai, azaz irányai és prioritása:
 - 0 – Tiltás,
 - 1 – Nem javasolt,
 - 2 – Erősen javasolt,
 - 3 – Javasolt;
- Idő-mennyiség mátrixot is tárolunk az egészségügyi profil szabályaiban, azaz lehessen megadni egy profilnál nem csak azt, hogy milyen terméket ehett a felhasználó, hanem azt is, hogy az adott megkötés milyen időszakra vonatkozik;
- Mennyiség és időszak megadásának csak együtt van értelme. Mennyiség megadása időszak nélkül értelmezhetetlen, hiszen nem adja meg a fogyasztás időtartományát. Időszak mennyiség nélküli megadása szintén értelmetlen, mivel mennyiség megadása nélkül nincs értelme az időszaki fogyasztás követésének;
- Egy szabály vonatkozhat termék kategóriára, termék elemre és termékre.

Biztosítani kell az egészségügyi szabályok integritását, azaz a következő ellenőrzéseket a szabályok deklarációsorok figyelembe kell venni:

- Nem lehet egy termékre két szabály: Ha egy termékre meghatároztunk egy szabályt, ami után egy másik szabályt is szeretnénk megszabni, akkor a két szabály típusának prioritása meghatározza, hogy melyiket van értelme megtartani, a „gyengébbet” el kell hagynunk. Ha például valaki nem javasolt, hogy túróat egyen, és jön egy új szabály, miszerint tilos neki túróat ennie, akkor az erősebb tiltó szabály alkalmazásának van értelme;
- Ha egy szabály egy termék kategóriára / termék összetevőre / termék elemre vonatkozik, akkor csak erősebb szabályt deklarálhatunk az adott kategóriában lévő termékre / terméket tartalmazó termékekre / termék elemet tartalmazó termékre.

Menü:

- Egy ütemezett, konkrét étrend. Annyival több, mint az egészségügyi profil, hogy itt nem csak megszorításokat teszünk egy adott időszakra, hanem konkrét étrend javaslatot teszünk.

AZ EHETEM-E ALGORITMUS

Ebben a fejezetben bevezetjük az EHETEM-E algoritmust, amely az inputként megadott ételről eldönti, hogy az tiltott, nem javasolt, javasolt, vagy nem tiltott az input egészségügyi profil alapján.

Egy konkrét példa egészségügyi profilra:

- Tiltások: dió > 0g,
- Nem javasolt: energiatartalom > 500 kcal, zsír > 20g, só > 2g,
- Erősen javasolt: üres,
- Javaslat: üres.

Ez a profil azt írja le, hogy diót nem szabad enni, olyan ételt, ami nagyon zsíros (zsír > 20g) vagy sós (só > 2g), azt nem javasolt enni. Megjegyzés, hogy ez a vagy a logikában szokásos megengedő vagy (or), nem a mindennapi nyelvben használt kizáró vagy (xor). Az erősen javasolt és a javaslat ételek listája üres. Látható, hogy a lista elemei közt vagy kapcsolat van. A tiltások általában ételérzékenységekből, allergiákból következnek. A nem javasolt ételek megszorításai hosszú távú kockázatok csökkentése miatt írhatja elő az orvos. Nagyon ritkán lehet olyan betegségünk, amikor valamilyen ételt ennünk kell. Ennek két fokozata az erősen javasolt és a javasolt.

A fenti profilt úgy kell értelmezni, hogy a szabályok az étel 100g-jára vonatkoznak. Ha nincs külön kikötve egy szabálynál, akkor az mindig az étel 100g-jára vonatkozik.

Az első szintű szabályellenőrzésnél nincs idő fogalmunk, tehát nem tudjuk azt mondani, hogy napi maximális zsír bevitel nem több 20g-nál, csak azt, hogy minden vizsgált tételnél a zsírtartalom nem több 20g-nál.

Nézzük az első szintű ellenőrzést végző algoritmust, ami egy egyszerű összegzésen alapszik:

Algoritmus: EHETEM-E

- Input: Étél, Egészségügyi profil.
 - Output: Tiltott / nem javasolt / javasolt / nem tiltott.
1. lépés: Minden az egészségügyi profilban szereplő összetevőhöz készítsünk lokális változókat, kezdő értékük nulla. A fenti példát használva:
 $\$dió = 0$, $\$energiatartalom = 0$, $\$zsír = 0$, $\$só = 0$;
 2. lépés: Ha az ételnek megvannak azon adatai, amiket gyűjtünk, akkor hozzáadjuk a változóhoz. Amelyek nincsenek meg a felső szinten, azokat az összetevők alapján számítjuk rekurzívan lefelé haladva, amíg nem találjuk az adott értéket. Ha nincs egyik összetevőben sem a kérdéses érték, akkor feltételezzük, hogy nincs az ételben. A figyelembe vett értéknél mindig 100g-ra kell visszaszámolni.

Pl.: Vegyük a diós kalács (zsír: 10g, fehérje: 1g, szénhidrát: 96g, liszt: 80g, dió: 10g, vaj: 10g) példáját. Ennek felső szinten nincs megadva az energiatartalom és a só, de van dió és zsír. Így a $\$dió = 10$ és a $\$zsír = 10$ számítása készen is van. A többi érték számításához a diós kalács összetevőinél megadott értékeket kell összeadni. Tegyük fel, hogy ezekből áll a diós kalács: liszt (energiatartalom: 1500kJ, zsír: 0g, szénhidrát: 98g, fehérje: 1g), dió (energiatartalom: 800kJ, zsír: 50g, szénhidrát: 0g, fehérje: 50g), vaj (energiatartalom: 2500kJ, zsír: 80g, szénhidrát: 0g, fehérje: 20g). Ebből számítható az energiatartalom:
 $\$energiatartalom = 80/100 * 1500 + 10/100 * 800 + 10/100 * 2500$.

Ez a szám úgy jön ki, hogy 100g diós kalácsban 80g liszt van és 100g lisztben 1500 kJ energia, stb... . Mivel só ezeknél sincs megadva, ezért ezeket a termékeket is rekurzívan tovább kell nézni, de csak a só tartalom után kutatva, hiszen a többi értéket már sikerült meghatározni magasabb szinten.

1. lépés: Ha van olyan feltétel a tiltó listán, amely igaz, akkor az algoritmus válasza „tiltott”, egyébként.
2. lépés: Ha van olyan feltétel a nem javasolt listán, amely igaz, akkor az algoritmus válasza „nem javasolt”, egyébként.

3. lépés: Ha javasolt lista minden feltétele igaz és maga a javasolt lista nem üres, akkor az algoritmus válasza „javasolt”, egyébként a válasz „nem tiltott”.

Vegyük észre, hogy a 3-5 lépés egy if – else if szerkezet ágai, ami meghatározza az algoritmus visszatérési értékét. Ahhoz, hogy az étel „javasolt” legyen, ehhez nem lehetett „tiltott” és „nem javasolt”, illetve a „javasolt” lista minden feltételét is ki kell elégítenie az ételhez tartozó értékeknek.

Könnyen észrevehető az algoritmus első javítása. A példában a második lépésben nem érdemes kiszámolni az étel energia tartalmát, hiszen már korábban tudjuk a dió tartalmát, ami pozitív, így kielégíti a $S_{dió} > 0$ tiltó feltételt. Tehát elegendő addig számolni a változók tartalmát, amíg az első tiltó feltétel igazzá nem válik, illetve a tiltó listán kívüli változókat nem érdemes számolni, ha már valamely nem javasolt feltétel igaz lett. Ugyanakkor a tiltott listás változókat tovább kell számolni, hiszen lehet, hogy végül tiltott lesz az étel. A javított algoritmus:

Algoritmus: EHETEM-E Javított 1.

- Input: Étél, Egészségügyi profil.
- Output: Tiltott / nem javasolt / javasolt / nem tiltott.

1. lépés: Minden az egészségügyi profilban szereplő összetevőhöz készítsünk lokális változókat, kezdő értékük nulla.
2. lépés: A tiltott listán lévő változók értékét számoljuk. Ha az étel felső szintjén adott az érték, akkor azt másoljuk be a változóba, ha nem, akkor rekurzívan felbontjuk az ételt összetevőire és az ott megadott értékeket (visszaszámolva 100g ételre) adjuk hozzá a változóhoz. Minden rekurzív hívás előtt ellenőrizzük, hogy valamely tiltó feltétel igaz-e. Ha igaz, akkor az algoritmus válasza „tiltott”. Egyébként rekurzívan bontjuk az élelmiszert, amíg kell, vagy amíg lehet.
3. lépés: Hasonlóan kiszámítjuk minden nem javasolt listán lévő változó értékét (feltéve, hogy nem számoltuk már ki a tiltottak közt). Ha valamelyik nem javasolt feltétel igazzá válik a folyamat során, akkor az algoritmus válasza „nem javasolt”.
4. lépés: Hasonlóan kiszámítjuk minden javasolt listán lévő változó értékét (persze csak azokat, amiket még nem számoltunk ki). Miután minden változót kiszámoltunk megnézzük, hogy minden javasolt feltétel igaz-e. Ha igen és a javasolt lista nem üres, akkor az algoritmus válasza „javasolt”.
5. lépés: Az algoritmus válasza „nem tiltott”.

Látható, hogy a 3. lépésre csak akkor jutunk el, ha a második lépésben nem találtunk tiltó feltételt. Hasonló állítás fogalmazható meg a következő lépésekről. Tehát ez az algoritmus lusta abban az értelemben, hogy egy étel valamely értékét (pl. energiatartalom), csak akkor számolja ki, ha az szükséges.

Ugyanakkor a feltételeket intenzíven ellenőrzi, hiszen az étel minden felbontása előtt minden tiltó vagy nem javasolt, stb. feltételt ellenőriz (attól függően, melyik lépésben járunk). Ha sok, bonyolult feltétel van, akkor ez a megoldás rossz!

Egy egyszerű kompromisszum, hogy csak a teljesen kiszámolt értékekre épülő feltételeket értékeljük ki. Ekkor előfordulhat, hogy feleslegesen pontosan számítunk ki valamit, de a feltétel ellenőrzések száma nem az étel összetettségével arányos.

Másik megoldás, hogy a feltételek kiértékelésével bánunk lustán. Érdemes az egy összetevőre vonatkozó több feltételt összevonni és megnézni, hogy ellentmondásos-e. Lehet, hogy eleve ellentmondásos a feltétel rendszer, például: Tiltások: $S_{energiatartalom} > 2000\text{kJ}$, $S_{energiatartalom} < 2500\text{kJ}$. Azaz nem ehetünk semmit, amiben 2000kJ -nál több az energia; illetve nem ehetünk semmit, amiben nincs legalább 2500kJ energia. Ez

a feltétel rendszer önellentmondásos, hiszen vagy az egyik vagy a másik feltétel mindig igaz lesz.

SZŰRÉS INDEXELÉSSSEL

Adatbázisok esetén bevett gyakorlat, hogy indexek segítségével gyorsítjuk a lekérdezéseket. Azokra az oszlopokra, amelyekre feltételek vonatkoznak, azokra érdemes indexet tenni, mert ez néha nagyságrendekkel gyorsíthatja a keresést. Ugyanakkor az indexek tárigényesek, illetve karbantartást igényelnek, de ezt a mai adatbázis-kezelők elrejtik előlünk.

Természetes ötlet, hogy az egészségügyi profil alapján végzett élelmiszerszűréshez is használjuk fel az indexeket. Ebben a fejezetben nem feltételezzük adatbázis használatát, de leírtak alapján könnyen létrehozható adatbázis-kezelőkben is a megfelelő indexek.

Az ilyen fajta indexelést a szakirodalom bitmap indexnek nevezi.

Elméleti háttér

Az adatkezelő rendszerek egyik hatékony indexelési technikája a bitmap indexek alkalmazása. A bitmap index struktúrát 1985-ben vezették be (*Spiegler et al*, 1985) az összetett feltételeknek megfelelő rekordok hatékony keresése céljából, néhány javítás után (*Chan et al*, 1998) széles körben elterjedt. Az alap bitmap index egy bittérképet jelent, ahol a kulcs minden értékének megfelel egy sor a mátrixban és minden rekord egy oszlophoz tartozik. A 1-es érték jelenti, hogy a rekord megfelel a sort jelentő feltételnek. A feltétel lehet egyezőség a kulccsal vagy az, hogy nagyobb, mint a kulcs (tartomány bitmap). A bitmap index előnyei:

- kis értéktartomány esetén tömör a tárolás,
- hatékonyság az összetett feltételek kezelése esetén (bitműveletekre visszavezethető feltételek esetén).

Egy K méretű értéktartományú és N rekordot tartalmazó minta esetén a bitmap indexben történő keresés blokk-költsége:

$$O(N/m) \tag{1}$$

ahol m az egy blokk tárolási egységen jegyzett elemek darabszáma. Ha egy klasszikus B-fa indexet veszünk, akkor ott

$$O(\log(kN)) \tag{2}$$

költséget kapunk. Ha m kicsi, pl. 0.001, akkor kb. 20000 rekordnál már a B-fa index hatékonyabban működne, hiszen a bitmap index mérete is lineárisan nő. A méret okozta probléma megoldására több módszer is kidolgozásra került. A legelterjedtebb megoldások:

- a bitmap tömörítése, például a WAH (*Wu et al*, 2006) módszer RLE kódolást használ,
- a kulcstartomány reprezentálás csökkentése (a kulcsérték közvetlen ábrázolása helyett a komponenseit ábrázolják).

Mivel a teljes bitmap mérete és a keresés is függ a kulcsok darabszámától, a bitmap index csak kis értékészletű kulcsoknál célszerű használni. Egy másik szempontból pedig azt is figyelembe kell venni, hogy az indexen keresztüli elérés többlet költséget jelent a közvetlen SCAN művelettel szemben. Ezért kis méreteknél a SCAN eljárás hatékonyabb. A bitmap indexek fő ereje akkor jelenik meg, amikor

- nagy rekordszám, de kevés különböző kulcs,
- egy mezőre több feltétel is megjelenik.

Az Oracle RDBMS rendszerek implementált bitmap index (Oracle Bitmap Index Techniques: http://www.dba-oracle.com/oracle_tips_bitmapped_indexes.htm) is tömörített formában tárolja az index adatokat. A mérési eredmények alapján a keresési költség lineárisan arányos a kulcsok darabszámával. Kis táblaméreteknél a CBO optimalizáló motor a SCAN módszert alkalmazza.

Indexelés

A fejezet alap ötlete az, hogy egy mennyiségi megszorítás ellenőrzését vezessük vissza egyszerű ellenőrzésre, hogy az elfogyasztandó étel indexelt-e vagy sem.

Vegyünk egy egyszerű megszorítást: $1g < \text{fehérje tartalom} \leq 4g$, azaz legalább 1g-nál több fehérjét ennünk kell, de legfeljebb 4g-ot. Tegyük fel, hogy létezik 4 indexünk minden az adatbázisban meglévő élelmiszerhez. Egy élelmiszer indexelt a 0. index által, ha egyáltalán nem tartalmaz fehérjét. Az 1. index a 1g-nál kevesebb, vagy pont 1g fehérjét tartalmazó ételeket indexelje. A 2. index „ $\leq 2g$ ” fehérje tartalomnak megfelelőeket indexeli. A 3. index a „ $\leq 4g$ ” feltétel alapján indexel. Természetesen nem csak a „ $\leq$ ” bináris összehasonlító művelet alapján lehet indexelni, hanem bármilyen bináris összehasonlító művelettel. A különböző indexek megkülönböztetésére az index első helyére a használt összehasonlító műveletet írjuk.

Az az étel, amiben 1.1g fehérje van, az $(\leq, 0, 0, 1, 1)$ index négyessel bír, mert nem igaz, hogy nincs benne fehérje (0. index tehát 0), az se igaz, hogy 1g vagy kevesebb fehérje van benne (1. index tehát 0), de az már igaz, hogy 2g-nál, illetve 4g-nál kevesebb vagy egyenlő fehérje van benne (2. és 3 index tehát 1). Az az étel, amiben 4g fehérje van, az $(\leq, 0, 0, 0, 1)$ index négyessel bír.

Ebből a két megállapításból adódik az összetett feltétel ($1g < \text{fehérje tartalom} \leq 4g$) leírása, 1g-nál nem kevesebb vagy egyenlő, de 4g-nál kevesebb, vagy egyenlő, ami így írható le: $(\leq, x, 0, x, 1)$, ahol x szimbólum azt jelöli, hogy a megszorítás vizsgálata szempontjából az x helyén lévő érték irreleváns. Azaz csak azt kell megnézni, hogy a 1. index 0 értékű-e, illetve a 3. index 1 értékű-e. Látható, hogy a megszorítás ellenőrzést így maximum 2 index vizsgálatra tudjuk redukálni.

A fenti példában bemutatott $(\leq, x, 0, x, 1)$ index n-est a továbbiakban **maszk**nak nevezzük. Nézzük néhány fehérje tartalom maszkját:

- 0 fehérje tartalom maszkja: $(\leq, 1, 1, 1, 1)$;
- 0.5 fehérje tartalom maszkja: $(\leq, 0, 1, 1, 1)$;
- 1 fehérje tartalom maszkja: $(\leq, 0, 1, 1, 1)$;
- 1.5 fehérje tartalom maszkja: $(\leq, 0, 0, 1, 1)$;
- 2 fehérje tartalom maszkja: $(\leq, 0, 0, 1, 1)$;
- 2.5 fehérje tartalom maszkja: $(\leq, 0, 0, 0, 1)$;
- 3 fehérje tartalom maszkja: $(\leq, 0, 0, 0, 1)$;
- 3.5 fehérje tartalom maszkja: $(\leq, 0, 0, 0, 1)$;
- 4 fehérje tartalom maszkja: $(\leq, 0, 0, 0, 1)$;
- 4.5 fehérje tartalom maszkja: $(\leq, 0, 0, 0, 0)$.

A fenti példából jó látszik, hogy balról jobbra nézve az első 1 után már mindig 1 jön, illetve jobbról balra nézve az első 0 után már mindig 0 jön. Így a következő maszkokat lehet megadni (a maszkban az x szimbólum azt jelöli, hogy a helyén lévő érték irreleváns, ha több x is van a maszkban, akkor a helyeiken lévő értékek különbözőek is lehetnek, tehát az x csak helyfoglaló):

- $(\leq, 1, 1, 1, 1) = (\leq, 1, x, x, x)$ – fehérje tartalom $\leq 0g$, azaz, fehérje tartalom = 0g, azaz, nyomokban sem tartalmaz fehérjét;
- $(\leq, x, 1, 1, 1) = (\leq, x, 1, x, x)$ – fehérje tartalom $\leq 1g$;

- $(\leq, x, x, 1, 1) = (\leq, x, x, 1, x)$ – fehérje tartalom $\leq 2g$;
- $(\leq, x, x, x, 1) = (\leq, x, x, x, 1)$ – fehérje tartalom $\leq 4g$;
- $(\leq, 0, x, x, x) = (\leq, 0, x, x, x)$ – fehérje tartalom $> 0g$;
- $(\leq, 0, 0, x, x) = (\leq, x, 0, x, x)$ – fehérje tartalom $> 1g$;
- $(\leq, 0, 0, 0, x) = (\leq, x, x, 0, x)$ – fehérje tartalom $> 2g$;
- $(\leq, 0, 0, 0, 0) = (\leq, x, x, x, 0)$ – fehérje tartalom $> 4g$;
- $(\leq, 0, 1, 1, 1) = (\leq, 0, 1, x, x)$ – $0g < \text{fehérje tartalom} \leq 1g$;
- $(\leq, 0, x, 1, 1) = (\leq, 0, x, 1, x)$ – $0g < \text{fehérje tartalom} \leq 2g$;
- $(\leq, 0, x, x, 1) = (\leq, 0, x, x, 1)$ – $0g < \text{fehérje tartalom} \leq 4g$;
- $(\leq, 0, 0, 1, 1) = (\leq, x, 0, 1, x)$ – $1g < \text{fehérje tartalom} \leq 2g$;
- $(\leq, 0, 0, x, 1) = (\leq, x, 0, x, 1)$ – $1g < \text{fehérje tartalom} \leq 4g$;
- $(\leq, 0, 0, 0, 1) = (\leq, x, x, 0, 1)$ – $2g < \text{fehérje tartalom} \leq 4g$.

Ebben a cikkben **pozitív indexnek** nevezzük a $\leq$ összehasonlítást használó indexeket, és **negatív indexnek** a $>$ összehasonlítást használókat. Könnyen belátható, hogy a $(\leq, 1, 1, 1, 1)$ és a $(>, 0, 0, 0, 0)$ maszk ugyanazt a megszorítást kódolja. Hasonlóan egyszerű belátni általánosan is, hogy a bitek és az összehasonlítás megfordításával a pozitív maszkból azt a negatív maszkot kapjuk, ami ugyanazt a megszorítást kódolja. Ez fordítva is igaz.

Ha egy maszkkal pontosan tudunk leírni egy megszorítást, az inkább véletlen, mert sokkal több olyan eset van, amikor ez nem lehetséges. Pl. a $2.8g \geq \text{fehérje tartalom} > 2.5g$ feltételt csak közelíteni tudjuk a $(\leq, x, x, 0, 1)$ maszkkal, ami a $4g \geq \text{fehérje tartalom} > 2g$ feltételnek felel meg. Ez a megszorítás tartalmazza az eredetit, ezért **tartalmazó megszorításnak** nevezzük.

Ez alapján a **legkisebb tartalmazó maszk (LKTM)** egy olyan maszk, ami tartalmazó megszorítást ír le és nincs olyan maszk, amelyhez nála kisebb intervallumot és tartalmazó megszorítást írna le. Könnyen belátható, hogy minden „ $M \geq$ összetevő tartalom $> N$ ” alakú megszorításhoz, amelynél M (azaz a felső határ) kisebb, mint a legnagyobb indexelt érték, adható legkisebb tartalmazó maszk.

Hasonlóan értelmezhető a **legnagyobb tartalmazott maszk (LNTM)** is, de az csak akkor adható meg, ha az eredeti megszorítás felső határánál létezik kisebb indexelt érték, az alsó határánál pedig nagyobb és a kettő nem ugyan az. Így például a $2.8g \geq \text{fehérje} > 2.5g$ megszorításhoz nem létezik legnagyobb tartalmazott maszk. A következő példánál viszont létezik: A $4.8g \geq \text{fehérje tartalom} > 1.5g$ megszorításhoz tartozó legnagyobb tartalmazott maszk a $(\leq, x, x, 0, 1)$, ami a $4g \geq \text{fehérje tartalom} > 2g$ megszorítást kódolja. Ha a megszorítás „összetevő tartalom $> N$ ” alakú vagy „ $M \geq$ összetevő tartalom” alakú, és M illetve N kisebb, mint a legnagyobb indexelt érték, akkor mindig megadható a legnagyobb tartalmazott maszk.

A legkisebb tartalmazó maszk az eredetinel megengedőbb vagy egyenlő, azaz több vagy ugyanannyi ételre igaz. A legnagyobb tartalmazott maszk az eredetinel szigorúbb vagy egyenlő megszorítást ír le, azaz kevesebb vagy ugyanannyi ételre igaz.

Indexelés logaritmikus index sűrűséggel

Már a fenti példában is logaritmikus indexelést használtunk, habár ez csak egy véletlen választásnak tűnt. A kérdés az, hogyan érdemes megválasztani az index határokat, úgy, hogy az eredeti megszorításnál csak kicsit megengedőbb, vagy csak kicsit szigorúbb megszorításokat tudjunk velük ellenőrizni, ugyanakkor ne legyen túl sok index se.

Jelen cikkben az a javaslatunk, hogy minden kettő hatványra tegyünk indexet. A mértékegység összetevőnként lehet más és más. A fehérjénél ez lehet gramm, de mogyorónál, ahol már kis mennyiség is túlzott reakciót válthat ki, a mértékegység lehet

akár milligramm. Tehát a következő pozitív vagy negatív indexek kerülnek ki minden összetevőre (a mértékegység helyette egység szerepel):

- 0. index: Az élelmiszer indexelt, ha az összetevő tartalma nagyobb, mint 0 egység;
- 1. index: Az élelmiszer indexelt, ha az összetevő tartalma nagyobb, mint 1 egység;
- 2. index: Az élelmiszer indexelt, ha az összetevő tartalma nagyobb, mint 2 egység;
- ...
- n. index: Az élelmiszer indexelt, ha az összetevő tartalma nagyobb, mint $2^{(n-1)}$ egység.

Ha az egység milligramm, akkor a 20. index 0.524288 kg-nál nagyobb összetevő tartalmat indexel. Ennek az indexelésnek az az előnye, hogy milligrammos tartományban nagyon pontosan, ahol ez el is várt, ahol pedig nem szükséges a nagy pontosság, azaz a kg-os kategóriában, ott csak hozzávetőleges. Az indexelés pontosságát az indexelés hibája alfejezetben tárgyaljuk.

Sok összetevőre valószínűleg nem kell 20 index, hiszen, ha pozitív indexelés esetén az index feltételének egy élelmiszer sem felel meg, akkor az az index felesleges. Illetve negatív indexelés esetén, ha minden élelmiszer megfelel neki, akkor is felesleges.

Nézzük néhány szám pozitív és negatív maszkját:

- 0 negatív és pozitív maszkja: $(>,0,0,0,0)$, $(\leq,1,1,1,1)$;
- 1 negatív és pozitív maszkja: $(>,1,0,0,0)$, $(\leq,0,1,1,1)$;
- 2 negatív és pozitív maszkja: $(>,1,1,0,0)$, $(\leq,0,0,1,1)$;
- 3 negatív és pozitív maszkja: $(>,1,1,1,0)$, $(\leq,0,0,0,1)$;
- 4 negatív és pozitív maszkja: $(>,1,1,1,0)$, $(\leq,0,0,0,1)$;
- 5 negatív és pozitív maszkja: $(>,1,1,1,1)$, $(\leq,0,0,0,0)$;
- 6 negatív és pozitív maszkja: $(>,1,1,1,1)$, $(\leq,0,0,0,0)$.

A következő példában a négyzetes lépésközt és negatív indexelést használva adjuk meg a 4 széles maszkok jelentését, feltéve, hogy az index a fehérjetartalmat indexeli:

- $(>,0,0,0,0) = (>,0,x,x,x) = (\leq,1,x,x,x)$ – fehérje tartalom = 0 egység;
- $(>,x,0,0,0) = (>,x,0,x,x) = (\leq,x,1,x,x)$ – fehérje tartalom ≤ 1 egység;
- $(>,x,x,0,0) = (>,x,x,0,x) = (\leq,x,x,1,x)$ – fehérje tartalom ≤ 2 egység;
- $(>,x,x,x,0) = (>,x,x,x,0) = (\leq,x,x,x,1)$ – fehérje tartalom ≤ 4 egység;
- $(>,1,x,x,x) = (>,1,x,x,x) = (\leq,0,x,x,x)$ – fehérje tartalom > 0 egység;
- $(>,1,1,x,x) = (>,x,1,x,x) = (\leq,x,0,x,x)$ – fehérje tartalom > 1 egység;
- $(>,1,1,1,x) = (>,x,x,1,x) = (\leq,x,x,0,x)$ – fehérje tartalom > 2 egység;
- $(>,1,1,1,1) = (>,x,x,x,1) = (\leq,x,x,x,0)$ – fehérje tartalom > 4 egység;
- $(>,1,0,0,0) = (>,1,0,x,x) = (\leq,0,1,x,x)$ – 0 egység $<$ fehérje tartalom ≤ 1 egység;
- $(>,1,x,0,0) = (>,1,x,0,x) = (\leq,0,x,1,x)$ – 0 egység $<$ fehérje tartalom ≤ 2 egység;
- $(>,1,x,x,0) = (>,1,x,x,0) = (\leq,0,x,x,1)$ – 0 egység $<$ fehérje tartalom ≤ 4 egység;
- $(>,1,1,0,0) = (>,x,1,0,x) = (\leq,x,0,1,x)$ – 1 egység $<$ fehérje tartalom ≤ 2 egység;
- $(>,1,1,x,0) = (>,x,1,x,0) = (\leq,x,0,x,1)$ – 1 egység $<$ fehérje tartalom ≤ 4 egység;
- $(>,1,1,1,0) = (>,x,x,1,0) = (\leq,x,x,0,1)$ – 2 egység $<$ fehérje tartalom ≤ 4 egység.

A fenti táblázatban megadtuk mind a negatív, mind a pozitív maszkot, ami leírja a megszorítást. Látható, hogy mindig két értéket kell csak vizsgálni a maszkból. A legelső negatív index maszk azt mutatja meg, hogy mi az x jelentése a második negatív alakban, azaz, a második negatív alakban lévő 1 előtt csak 1 állhat, illetve a 0 után csak 0, a kettő közt állhat 0 és 1 is.

Elképzelhető, hogy technikai megszorítások miatt csak azt tudjuk ellenőrizni, hogy a maszkban van-e 1, azt nem, hogy van-e 0. Ilyen esetben használni kell a negatív és a pozitív indexelést is. Mivel a kettőben a bitek pont átfordított helyzetben vannak, mint a

másikban, ezért például a negatív maszkban lévő 0 meglétét úgy tudom ellenőrizni, hogy megnézem, hogy ugyanazon a helyen a pozitív maszkban 1 van-e. Hasonlóan ellenőrzöm a pozitívban lévő 0 meglétét a negatív index segítségével.

A fenti trükköt kell alkalmaznunk akkor, ha a maszkot egy 32 bites (vagy ahány bites processzorral dolgozunk) bit sorozatként, azaz egy gépi szó típusú számként, tároljuk. Ilyenkor a K.-dik helyen lévő 1 meglétét úgy ellenőrizzük, hogy a szám $\gg 2^{(K+1)-1}$ feltétel igaz-e, feltéve, hogy a számban a bitek sorrendje épp fordított, mint a maszkban, illetve negatív indexelést használunk. A tesztelés során pontosan ezt a megközelítést használtuk, annyi különbséggel, hogy nem fordítottuk meg a bitek sorrendjét, ami így utólag nézve okozott néhány nehézséget, de alapvetően nem befolyásolta a teszt hatékonyságát.

Az LNTM és az LKTM kiszámítása logaritmikus index sűrűség esetén

Már általánosan megadtuk a legnagyobb tartalmazott maszk (LNTM) és a legkisebb tartalmazó maszk (LKTM) definícióját. Ebben a részben azt mutatjuk meg, hogy logaritmikus index sűrűség esetén hogyan kell megadni ezt a két maszkot.

Az 1. táblázat három példát és egy általános példát tartalmaz ezek kiszámítására.

1. táblázat

Példák a legnagyobb tartalmazott maszk (LNTM) és a legkisebb tartalmazó maszk (LKTM) kiszámítására

Megszorítás (1)	LNTM (2)	LKTM (3)
0.5g < fehérje tartalom (4) $\leq$ 3.5g	1g < fehérje tartalom $\leq$ 2g ($\leq$,x,0,1,x)	0g < fehérje tartalom $\leq$ 4g ($\leq$,0,x,x,1)
1.5g < fehérje tartalom $\leq$ 3.5g	2g < fehérje tartalom $\leq$ 2g Nem létezik LNTM (5)	1g < fehérje tartalom $\leq$ 4g ($\leq$,x,0,x,1)
0.5g < fehérje tartalom $\leq$ 0.8g	1g < fehérje tartalom $\leq$ 0g Nem létezik LNTM	0g < fehérje tartalom $\leq$ 1g ($\leq$,0,1,x,x)
N g < fehérje tartalom $\leq$ M g	N-nél nagyobb következő indexelt érték < fehérje tartalom $\leq$ M-nél kisebb indexelt érték (6)	N-nél kisebb következő indexelt érték < fehérje tartalom $\leq$ M-nél nagyobb indexelt érték (7)
N g < fehérje tartalom $\leq$ M g, és N>1 és M>1	$2^{\text{padl}(\log_2(N))}$ g < fehérje tartalom $\leq$ $2^{\text{padl}(\log_2(M))}$ g (8)	$2^{\text{padl}(\log_2(N))}$ g < fehérje tartalom $\leq$ $2^{\text{padl}(\log_2(M))}$ g (9)

Table 1: Examples how to calculate the greatest specific mask (GSM) and the least general mask (LGM)

Constraint(1), GSM(2), LGM(3), Protein content(4), There is no GSM(5), The next largest indexed value of $N < \text{protein content} \leq$ the next smallest indexed value of M (6), The next smallest indexed value of $N < \text{protein content} \leq$ the next largest indexed value of M (7), $2^{\text{ceiling}(\log_2(N))}$ g < protein content $\leq 2^{\text{floor}(\log_2(M))}$ g (8), $2^{\text{floor}(\log_2(N))}$ g < protein content $\leq 2^{\text{ceiling}(\log_2(M))}$ g (9)

Ezek alapján az általános képlet a két maszk kiszámítására logaritmikus indexesűrűség esetén a következő, ahol N és M egy „N egység < összetevő tartalom $\leq$ M egység” alakú megszorítást írnak le:

- $LNTM(N, M) = (\leq, x, \dots, x, 0, x, \dots, x, 1, x, \dots, x)$, ahol a maszkban lévő 0 a $\text{padlás}(\log_2(N))+1$ vagy a 0. helyen van, ha $N=0$, vagy az 1. helyen van, ha $0 < N < 1$, a maszkban lévő 1 pedig a $\text{padló}(\log_2(M))+1$ vagy a 0. helyen van, ha $0 \leq M < 1$. Ha a 0 és az 1 azonos helyre esne, vagy az 1 megelőzi a 0-t, akkor nem létezik megoldás;
- $LKTM(N, M) = (\leq, x, \dots, x, 0, x, \dots, x, 1, x, \dots, x)$, ahol a maszkban lévő 0 a $\text{padló}(\log_2(N))+1$ vagy a 0. helyen van, ha $0 \leq N < 1$, a maszkban lévő 1 pedig a $\text{padlás}(\log_2(M))+1$ vagy a 0. helyen van, ha $M=0$, vagy az 1. helyen van, ha $0 < M < 1$. Ha a 0 és az 1 azonos helyre esne, vagy az 1 megelőzi a 0-t, akkor nem létezik megoldás.

Ahol a $\text{padlás}(x)$ függvény felfelé kerekít, a $\text{padló}(x)$ pedig lefelé.

Algoritmus: Index Maszkos EHETEM-E (IMEE)

A fentieket figyelembe véve a következő algoritmus adható, amely már feltételezi, hogy a kettő hatványaira elhelyeztük a pozitív indexeket. Illetve az egészségügyi profilban lévő megszorítás mértékegységei megegyezik az indexelt érték mértékegységével minden összetevő esetén. Illetve minden megszorítás felső korlátja kisebb, mint a legnagyobb indexelt érték.

- Input: Egészségügyi profil, Élelmiszerek adatbázisa minden összetevő kettő hatványára indexelve.
 - Output: Tiltott élelmiszerek listája.
1. lépés: Az egészségügyi profil tiltó megszorításait összetevőnként összevonom „N egység < összetevő tartalom $\leq$ M egység” alakú megszorítássá. Ez feltételezi, hogy minden megszorítás „X egység < összetevő tartalom”, „összetevő tartalom $\leq$ Y egység” vagy „X egység < összetevő tartalom $\leq$ Y egység” alakú. Ez a feltevés az eFilter projektben elfogadott.
 2. lépés: Az ilyen fajta megszorítást pozitív maszkkal könnyen leírhatjuk. Ehhez először határozzuk meg az L és a H értéket. Mint látni fogjuk az L a 0, a H az 1 helyét határozza meg a „N egység < összetevő tartalom $\leq$ M egység” megszorításhoz tartozó maszkban.
 - a. Ha $N = 0$, akkor $L = 0$, ha $0 < N < 1$, akkor $L = 1$, egyébként $L = \text{padlás}(\log_2(N))+1$, ahol $\text{padlás}(x)$ felfelé kerekít. Ha N nem létezik, azaz az összevont megszorítás „összetevő tartalom $\leq$ M egység” alakú, akkor L se létezik.
 - b. Ha $M \leq 1$, akkor $H = 0$, egyébként $H = \text{padló}(\log_2(M))+1$, ahol $\text{padló}(x)$ lefelé kerekít. Ha M nem létezik, azaz az összevont megszorítás „N egység < összetevő tartalom” alakú, akkor H se létezik.
 3. lépés: Minden összetevőre kiszámolom az L és a H értéket az összevont feltétel alapján. Az így kapott L és H értékre szűkítem az adatbázist, úgy hogy csak azok az ételeket maradjanak, ahol az összetevő maszkja $(\leq, x, \dots, x, 0, x, \dots, x, 1, x, \dots, x)$, ahol
 - a. a 0 az L-dik indexen áll, illetve nincs 0 a maszkban, ha L nem létezik.
 - b. az 1 a H-dik indexen áll, illetve nincs 1 a maszkban, ha H nem létezik.Megjegyzés: A maszkban 0-tól kezdődik az indexelés.
 4. lépés: Vegyük észre, hogy ez az összevont feltétel legnagyobb tartalmazott maszkja (LNTM). Ha $L \geq H$, akkor nem létezik a legnagyobb tartalmazott maszk. Ebben az esetben az algoritmus üres listát ad vissza.
 5. lépés: A megmaradt ételek az összes összevont feltételnek megfelelnek, ezeket visszaadom.

A fenti algoritmust röviden IMEE algoritmusnak neveztük el. A legnagyobb gond vele, hogy nem mindig létezik a legnagyobb tartalmazott maszk. Szerencsére a gyakorlatban a tiltó megszorítások majdnem mindig „összetevő tartalom > X egység” alakúak. Ilyenkor mindig van legnagyobb tartalmazott maszk is, feltéve, hogy elég nagy a legnagyobb indexelt érték.

Az IMEE algoritmus elviekben más, mint a korábbiak, hiszen nem egy ételre kérdez rá, hogy az tiltott vagy sem, hanem étel listát ad vissza. A fenti verziójában a tiltott ételek listáját. Az IMEE algoritmussal nem csak a tiltott, hanem a tiltott, a nem javasolt, erősen javasolt, illetve a javasolt élelmiszerek listája is visszaadható. A nem tiltott élelmiszerek listája megkapható a tiltott élelmiszerek összes élelmiszerből történő kivonásával, vagy ha negáljuk a tiltó feltételeket és az alapján szűrünk.

Nézzünk egy példát az IMEE algoritmus futására. Tegyük fel, hogy a tiltásaink a következők:

- zsír > 3dkg, zsír > 2dkg,
- fehérje > 1.5dkg, fehérje > 8 dkg,
- dió > 0g.

Ezek az összevonások után így néznek ki:

- zsír > 2dkg,
- fehérje > 1.5dkg,
- dió > 0g.

Az ezekhez tartozó legnagyobb tartalmazott maszkok:

- ($\leq, x, x, 0, x$) – zsír tartalom > 2 dkg,
- ($\leq, x, x, 0, x$) – fehérje tartalom > 2 dkg,
- ($\leq, 0, x, x, x$) – dió tartalom > 0 g.

Végül az algoritmus azokat az ételeket adja vissza, amelyek mind a három maszknak megfelelnek. Az első és a harmadik maszk pontosan írja le a megszorítást, a második egy erősebb megszorításnak felel meg, mint az eredeti. Így nem minden nem tiltott ételmszert ad vissza, de amit visszaad, az biztosan nem tiltott.

Az IMEE algoritmus természetesen más indexeléssel is működőképes. Más indexelés esetén úgy kell számolni a H és az L értékét, hogy a 3. lépésben a legnagyobb tartalmazott maszkot kapjuk. Az indexek számításához annak a függvénynek az inverzét kell használni, amivel kijelöltük az indexelés érték határait. Mivel a példában erre a hatvány függvényt használtuk, ezért az indexek értékét a kettesalapú logaritmussal kellett számolni, ami a hatvány függvény inverze.

Az IMEE algoritmus úgy is átirható, hogy a legkisebb tartalmazó maszkot használjuk mindig. Ehhez a 2. lépést úgy kell átírni, hogy L számításánál lefelé, H számításánál felfelé kell kerekíteni. Ilyenkor az algoritmus visszaadhat tiltott ételeket is. Ilyenkor valamelyik korábbi EHETEM-E algoritmussal tovább szűrhetünk. Vagy az indexelést úgy kell beállítanom, hogy egy bizonyos hibahatáron belül adjon csak tiltott ételt vissza az algoritmus.

Az indexelés hibája

Az **indexelés hibája** az indexelt érték és a megszorításban lévő tényleges érték különbségének abszolút értékének és a tényleges érték hányadosa, amit százalékosan fejezünk ki. Példa:

Legyen a megszorítás a következő: fehérje tartalom > 1.5g. Az IMEE algoritmus ehhez az $L = 2$ értéket rendeli. Ez a $2^{(L-1)} = 2$ index határnak felel meg. Így az indexelés hibája: $ABS(2 - 1.5) / 1.5 = 33.33\%$.

Az **indexelés hibájának maximuma** akkor adódik, amikor a tényleges érték a legkisebb, amire még az IMEE algoritmus ugyanazt az index értéket adja. Ezek szerint a cikkben kifejtett indexelés maximális hibája 100%, mert minden L értékre

$$\lim_{N \rightarrow 2^{(L-2)}} ((2^{(L-1)} - N) / N) = 100\%, \quad (3)$$

ahol $2^{(L-1)}$ a legkisebb tartalmazó maszk által leírt megszorítás alsó határa, a $2^{(L-2)}$ pedig az előző indexelhető érték.

Fokozatosan finomított lista

Az IMEE algoritmus legérdekesebb alkalmazása, amikor fokozatos finomításra használjuk az algoritmust. Itt az algoritmusnak azt a tulajdonságát használjuk ki, hogy nem a pontos listát, hanem egy attól szűkebbet ad vissza, ugyanakkor ezt a szűk listát nagyon gyorsan.

Az internet világában gyakori feladat, hogy egy nagy információs halmaz közelítését nagyon gyorsan le lehessen tölteni. Hasonló eredményt érhetünk el a következő algoritmus vázzal:

- Egy szűk halmazt gyorsan lekérdezni (LNTM);
- Ezt a szűk halmazt gyorsan eljuttatni a felhasználóhoz;
- Ha a felhasználó elidőzik a listán, akkor a lista finomítása:
 - LKTM – LNTM halmaz meghatározása;
 - Ezen halmazból leválogatni az eredeti feltételeknek megfelelő elemeket;
 - Leválogatás közben az új elemek folyamatos eljuttatása a felhasználóhoz.

Programozás technikailag ezt úgy érhetjük el, hogy a lista finomítását egy külön szál végzi a szerveren. Ezt a szálát csak akkor indítjuk, ha a felhasználó elidőz a listán. Ha a szál talál egy újabb elemet LKTM – LNTM halmazban, ami megfelel a megszorításoknak, akkor a szerver elküldi azt a felhasználó által használt klienshez.

Ez egyes elemek vizsgálatához felhasználhatom valamelyik EHETEM-E algoritmust.

TESZT EREDMÉNYEK

A tesztelés során az Oracle 11g adatbázis kezelő rendszert használtuk. Ezen belül tárolt eljárásokat, hiszen ezek gyorsabb adathozzáférést biztosítanak. Erre látunk példát ebben a cikkben (*Radványi, 2004*).

A teszt adatbázist <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=20959> linkről töltöttük le. A következő tárolt eljárással készítettük el az indexeket.

```
create or replace
FUNCTION GET_INDEX(ORG_VALUE IN NUMBER, COLNUM IN
NUMBER) RETURN NUMBER AS
vIND1 NUMBER; ...; vIND17 NUMBER;
BEGIN
-- bemásoljuk az ABBREV_IND táblából az egyes tartományok értékeit
SELECT IND1, ..., vIND17 FROM ABBREV_IND WHERE COL_NUM =
COLNUM;
-- if segítségével az index megállapítása
IF ORG_VALUE <= 0 THEN RETURN 262143; -- = 1111 1111 1111 1111 11
ELSIF ORG_VALUE <= vIND1 THEN RETURN 131071; -- = 0111 1111 1111
1111 11
...
```

```
ELSIF ORG_VALUE <= vIND17 THEN RETURN 1; -- = 0000 0000 0000 0000 01
ELSE RETURN 0;
END IF;
END GET_INDEX;
```

A GET_INDEX egy beérkező érték (ORG_VALUE) és oszlopszám (COLNUM) alapján egy indexet ad vissza. Egy segéd táblát használ, az ABBREV_IND táblát. Ez tartalmazza az index határokat. Itt az 1. index úgy lett meghatározva, hogy minden összetevőnél megkerestük a legkisebb értéket. A következő index mindig az előző kétszerese. Mivel a legnagyobb és a legkisebb érték aránya egyik összetevőnél sem volt nagyobb 2^{17} -nél, ezért 17 index értéket használtunk.

```
create or replace
PROCEDURE INDEX_LOOP AS
    var ABBREV%ROWTYPE; -- ABBREV típusú változó
    CURSOR curso IS SELECT * FROM ABBREV ORDER BY NDB_NO; --
kurzor
BEGIN
    FOR var IN curso LOOP -- végigmegy a tábla összes során
        var.WATER_IND:= GET_INDEX(var.Water,1); -- index lekérése
        UPDATE ABBREV SET WATER_IND = var.WATER_IND WHERE
NDB_NO = var.NDB_NO; -- az aktuálisan vizsgált sor első eleméhez tartozó index
frissítése
        var.Energ_Kcal_IND:= GET_INDEX(var.Energ_Kcal,2);
        UPDATE ABBREV SET Energ_Kcal_IND = var.Energ_Kcal_IND WHERE
NDB_NO = var.NDB_NO;
        ...
    END LOOP;
END INDEX_LOOP;
```

Az INDEX_LOOP eljárás végigmegy az ABBREV tábla összes során, és frissíti a GET_INDEX függvény alapján az indexeiket. Itt csak az első két összetevő frissítését mutattuk meg. A többi összetevő frissítését töröltük, mert mindegyik nagyon hasonló, így könnyen megírhatóak a kihagyott sorok is.

Ezek után az egyes x_IND oszlopokra egy bitmap indexet helyeztünk el.

Ettől függetlenül a WATER és minden egyéb összetevő oszlopra is elhelyeztünk indexet. Nyilván ezekre felesleges lett volna bitmap indexet tenni, mert nagyon sok különböző érték van bennük.

A tesztelt SELECT utasítások közül közöljük a legbonyolultabbakat:

```
SELECT * FROM ABBREV WHERE WATER_IND >= POWER(2,9)-1 AND
ENERG_KCAL_IND >= POWER(2,9)-1 AND PROTEIN_IND >= POWER(2,9)-
1;
SELECT * FROM ABBREV WHERE WATER <= (SELECT IND9 FROM
ABBREV_IND WHERE COL_NUM = 1) AND ENERG_KCAL <= (SELECT
IND9 FROM ABBREV_IND WHERE COL_NUM = 2) AND PROTEIN <=
(SELECT IND9 FROM ABBREV_IND WHERE COL_NUM = 3);
```

Az első SELECT bitmap indexet használ, a másik sima megszorítást. A második SELECT utasításban lévő belső SELECT visszaadja azt az értéket, ami az első SELECT utasításban használt feltételnek megfelel. Így a két SELECT teljesen ugyanazt adja vissza.

A tesztek során a 2. ábrán látható eredményre jutottunk.

2. ábra

A javasolt indexelési technika által hozott százalékos javulás az indexelést nem használó megoldással szemben

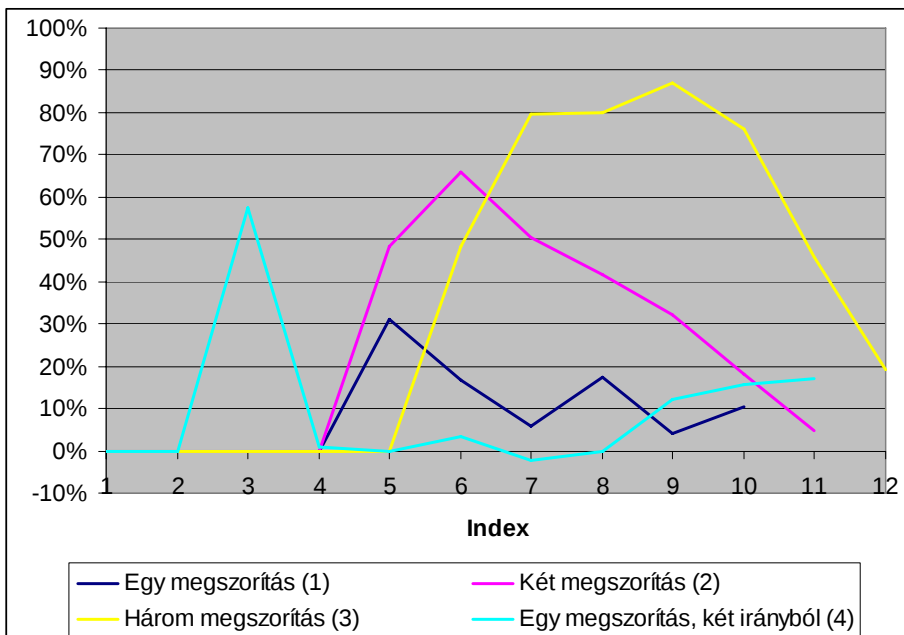


Figure 2: The improvements gained by the proposed indexing technique against the solution without indexing (given in percent)

The running time of the proposed solution in case of one constraint(1), One corresponds to the case with two constraints(2). One corresponds to the case with three constraints(3), One corresponds to the case with only one constraint, but this constraint also gives a lower and an upper bound(4)

Az X tengelyen értéke a $\text{POWER}(2, X) - 1$ képletbe lett behelyettesítve az első SELECT utasításban.

A 0% a második SELECT futási ideje. Ehhez viszonyítottuk az első SELECT futási idejét relative. A pozitív érték jelentése, hogy gyorsabb az első SELECT, a negatív tartomány jelentése, hogy lassabb. Az egyes összehasonlítások abban különböznek, hogy a SELECT utasítás WHERE záradékában hány megszorítás van.

Látható, hogy $X = 9$ és 3 megszorítás használatának esetében a bitmap indexet használó SELECT közel 10-szer gyorsabb, mint az eredeti megszorítást használó „sima” SELECT. Nagyon érdekes, hogy ez a különbség a bitmap index javára csak sok százezer rekordot tartalmazó adatbázis esetén volt megfigyelhető. Néhány ezer rekordból álló adatbázisnál a bitmap indexelés nem gyorsabb (de legalább nem is lassabb), mint a nem bitmap indexet használó lekérdezés.

Hogy nagyobb X értékre miért jobb a bitmap index? Erre az lehet a magyarázat, hogy nagyobb X értékre több sort ad vissza a teszt során használt SELECT utasítás.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben nagyon alaposan átnéztük az EHETEM-E algoritmus legkülönbözőbb változatait. Ezek közül néhányat a Wit-Sys Zrt. munkatársai meg is valósítanak az eFilter pályázat keretében. Bizonyosan lehet még csiszolni ezeket az eljárásokat, miután a gyakorlatban megfigyeltük, milyen lekérdezések gyakoriak.

A bitmap indexelés ilyen fajta használata más élelmiszerekkel foglalkozó alkalmazásokban is hasznosíthatók, főleg, ha mennyiségi megszorításokat kell figyelni. Ilyen alkalmazás lehet az árulistába történő keresés, ahol egy adott összegnél olcsóbb árukat keresünk. Ezt például egy ár összehasonlító oldal keretében kitűnően lehetne hasznosítani.

A cikkben ismertetett fokozatos finomítás egyelőre nincs implementálva. Erre valószínűleg csak egy következő projekt keretében kerül sor.

IRODALOMJEGYZÉK

- Chan, C.-Y., Ioannidis, Y.E. (1998): Bitmap index design and evaluation. Proceedings of the SIGMOD '98 International Conference on Management of Data, 355-366. p.
- Kusper G., Radványi T. (2007): Az EGERFOOD élelmiszerbiztonsági tudásközpont projekt információs rendszerének kialakítása. Networkshop 2007 konferencia, Eger, 8 p.
- Kusper G., Radványi T. (2008): Az EGERFOOD élelmiszerbiztonsági nyomkövető rendszer – Hogyan modellezzük a cégek munkafolyamatait. Networkshop 2008 konferencia, Dunaújváros, 8 p.
- Liptai K., Kusper G., Radványi T. (2007): Cryptographycal protocols in the Egerfood Information System. Annales Mathematicae et Informaticae 34, ISSN 1787-5021, 61-70. p.
- Radványi T. (2004): Examination of the MSSQL server from the user's point view considering data insertion. Acta Academiae Pedagogicae Agriensis, 69-77. p.
- Radványi T., Kusper G. (2007): Requirement analysis and a database model for the project EGERFOOD Food Safety Knowledge Center. Invited talk. Proceedings of ICAI-2007, 1. 15-23. p.
- Radványi T., Kusper G., Kovács E. (2008a): Adatforgalom és mobilkommunikáció az Egerfood rendszerben. AgriaMédia 2008 konferencia, Kötet I. 100-107. p.
- Radványi T., Kusper G., Kovács E. (2008b): Kommunikáció az EGERFOOD élelmiszerbiztonsági projekt információs rendszerében. IF2008 konferencia, CD-kiadvány, ISBN 978-963-473-129-0, 10 p.
- Spiegler, I., Maayan, R. (1985): Storage and retrieval considerations of binary data bases. Information Processing and Management: an International Journal 21. 3. 233-254. p.
- Wu, K., Otoo, E. J., Shoshani, A. (2006): Optimizing bitmap indices with efficient compression. ACM Transactions on Database Systems, 31. 1. 1-38. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Kusper Gábor

Eszterházy Károly Főiskola, Számítástudományi Tanszék

3300 Eger, Eszterházy tér 1.

Eszterházy Károly College, Department of Computer Science

H-3300 Eger, Eszterházy tér 1.

Tel.: 36-36-520-486

gkusper@aries.ektf.hu



Internethasználati szokások a gazdák körében

Cseh A.

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar,
Gazdaságelemzés-módszertani és Alkalmazott Informatikai Intézet, 4032 Debrecen, Böszörményi út. 138.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az információs társadalom korszakában az információ, mint új termelési tényező jelent meg a gazdaságban. A megfelelő információnak a megfelelő időben való megléte a gazdálkodás eredményességét jelentősen meghatározza. Jobb döntést hozhatunk például arról, hogy milyen terméket termeljünk és a termeléshez szükséges anyagokat mikor és kitől szerezzük be. A mezőgazdasági termelők a felvásárlókhöz képest sokkal gyengébb alkupozícióban vannak, ráadásul a termények ára napok alatt jelentősen megváltozhat. Nehéz eldönteni, hogy a betakarítás után azonnal értékesítsék a terméket vagy későbbi kedvezőbb értékesítési lehetőségekre várjanak. Fontos a megfelelő és hiteles információ csatorna megválasztása, ugyanis nemcsak az információ hiány, de a túlzott információ áradat is káros, mert akár döntésképtelen helyzetet is okozhat. Napjainkban az interneten keresztül juthatunk leggyorsabban információhoz. Igaz ez az agrárgazdaságban működő vállalkozásokra is. Cikkemben többek közt egy kérdőíves felmérés alapján vizsgálom, hogy a gazdák milyen főbb információs forrásokat látogatnak és használnak. Vizsgálatom alapján betekintést nyújtok a külföldi farmerek internet használati szokásaira is. (Kulcsszavak: információ források, internet használat, e-közigazgatás)

ABSTRACT

Internet usage among the farmers

A. Cseh

University of Debrecen, Faculty of Applied Economics and Rural Development Institute of Economic Analytical Methodology
and Applied Informatics H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

In the information society information became new factor of production in the economy. The efficiency of farming depends on whether we can possess the suitable information in the suitable time or can't. We can make better decision that what kind of product we should produce and when and where we have to buy the necessary materials. The agricultural producers are in a much weaker bargain position compared to the traders in addition the price of the products may change quickly within a few days. It is hard to decide that the product should be sold promptly after the harvest or later waiting for a favorable sales opportunity. It is important to select the suitable and authentic information channel, not only the information deficiency, but the excessive information dangerous, because this may cause indecisive situation. Nowadays we get information most quickly through the internet. This is true for the enterprises, who working in the agricultural sector. In my article I examine what main information sources are visited by farmers based on a questionnaire survey,. I give a brief overview based on my study the what the farmers habit are in utilizing of internet services in foreign countries. (Keywords: information sources, internet usage, e-government.)

BEVEZETÉS

Kutatási célterületeim fontos része a mezőgazdasági termelők külső információ forrásainak a megismerése és felhasználási szempontú elemzése. A külső információ források nagyon fontosak a termelők számára, mert a megfelelő információnak a megfelelő időben való megléte a gazdálkodás eredményességét jelentősen meghatározza. Jobb döntést hozhatnak, hogy milyen terméket termeljenek és a termeléshez szükséges anyagokat mikor és kitől szerezzék be. Napjainkban az egyik leggyorsabb információs csatorna az internet, mely egyre több háztartásban van jelen (*Várallyai és Herdon*, 2010). Az egyéni gazdálkodók többsége a gazdálkodását az otthonából irányítja, így a háztartásban már meglevő számítógépet és internetet használja. Az EU és a magyar kormányzat is felismerte, hogy az internet fontos szerepet tölthet be a vidéki térségekben működő mezőgazdasági vállalkozások számára (*Herdon és Hausman*, 2007), jelentős segítséget nyújthat például a termékek értékesítésben vagy új piacok megtalálásában. Ezen lehetőségek az e-Agrárium célkitűzései a Magyar Információs Társadalom Stratégia-ban már régen megfogalmazásra kerültek (*IHM*, 2003).

Több külföldi tanulmány is kimutatta, hogy a gazdaságok miért vásárolnak számítógépet és egyéb informatikai eszközöket. A legfőbb említett okok a következők voltak (*Nuthall*, 2004):

- magasabb jövedelem elérése a költséghatékonyabb input anyagok kiválasztásán és felhasználásán keresztül;
- időmegtakarítás a gyorsabb és könnyebb adatszolgáltatás az állami és szakigazgatási szervek felé;
- vezetői feladatok megkönnyítése a gyorsabb döntések, hatékonyabb tervezési, kivitelezési és ellenőrzési folyamatot biztosításával;
- egyszerűbb kapcsolattartás a piaci szereplőkkel és az állami szervekkel;
- bővebb oktatási tananyagok, hatékonyabb szakmai fejlődés;
- versenyben maradni a többi gazdával, akik már használják a számítógépet.

Franciaországban 2010-ben felmérés készült a francia gazdálkodók internet használati szokásairól, a felmérés elektronikus formában készült. Az előzetes eredmények az EFITA hírlevelében olvashatók (*1. táblázat*).

1. táblázat

Az internet használat célja a francia farmerek körében, n=1200, év=2010

Internet használat célja (1)	Használat mértéke (2)
Időjárás információk (3)	97%
e-banki szolgáltatások (4)	96%
Szakmai információk (5)	96%
Adminisztrációs tevékenység (KAP nélkül) (6)	92%
Piaci információk (7)	92%
Vásárlás (8)	~90%

Forrás (*Source*): EFITA Newsletter No 497 (2011)

Table 1: The goal of internet usage, among the French farmers, N=1200, Year 2010

Goal of internet usage(1), Usage rate(2), Weather information(3), e-Banking(4), Technical information(5), Administrative activities (without CAP)(6), Market information(7), Buying(8)

Ezen felmérés szerint a francia farmerek átlagosan heti 8 órát töltenek az internet előtt és ebből ~4,5 üzleti jellegű ügyeket intéznek. Az adatokból kitűnik, hogy magasabb arányban használják az internetet a gazdálkodásukhoz, mint a magyar egyéni gazdák, ami visszavezethető a jobb internet ellátottságra és a nagyobb rutinra a PC használat terén.

Az internet napjainkra az egyik leggyorsabb és legfontosabb információs csatornává vált, ezért kérdőíves felmérésem alapján bemutatom a gazdák internet használatának fontosabb jellemzőit, valamint a gazdálkodók néhány állami és szakigazgatási információszolgáltató portálra vonatkozó látogatásainak gyakoriságát.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A cikkemben a saját kérdőíves felmérésemből előzetesen levonható következtetéseket mutatom be. A kérdőívet a LimeSurvey programmal, elektronikus formában készítettem el. Az elektronikus kérdőív egyik legfőbb előnye, hogy a megfelelő kérdésfajták kiválasztásával a kitöltés sokkal szabályozottabb módon zajlik és kevesebb logikai ellentmondást tartalmaz így a kérdőívek kiértékelhetősége is javul. Ezenkívül költségtakarékosabb megoldás. A kérdőívet saját maguk a gazdálkodók vagy a falugazdászok a gazdák válaszai alapján töltötték ki. A kérdőív kitöltése teljesen önkéntes. A kérdőívem célcsoportja a hajdu-bihar megyei egyéni gazdálkodók. A felmérés még nem zárult le a cikkemben 2011 februárjáig beérkezett 38 darab kérdőív eredményét mutatom be, ami ilyen kevés válasszal nem tekinthető reprezentatívnak. A kérdőíves felmérést tovább folytatom és terveim szerint a 2011-es év első felében elérem a 150 fős mintanagyságot. Az adatokat leíró statisztika segítségével vizsgálom.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

Modelleztem egy átlagos mezőgazdasági termelő főbb információs kapcsolatait, ami az *1. ábrán* látható. A döntést általában sok tényező alakítja ki, a gazdaság működése során sok belső információt kell figyelembe venni: a meglévő adottságaink alapján mit tudunk termelni, honnan szerezzük be a szükséges input anyagokat, kinek értékesítsük a terményünket stb.

Külső információforrásnak tekinthető minden olyan adat, mely nem a gazdaság belső folyamatai során keletkezett, a vállalkozás környezetét írja és jelentéssel bír a döntéshozatal szempontjából (*Pető, 2004*). A piaci szektor szereplőivel az adatszere főként ajánlatkéréssel, rendeléssel, szállítási dokumentációval, piaci igényfelméréssel, reklámanyagokkal kapcsolatban folyik. Kormányzati szektornál -a fontossága miatt- külön kell megemlíteni a törvényi és támogatási szabályokat, ugyanis a mezőgazdasági termelés egészét tekintve, a támogatások nélkül nem lenne jövedelmező a termelés. A támogatást különböző támogatási kérelmek benyújtása után kaphatja meg a gazdálkodó, ezenkívül eltérő időközökkel többféle adminisztratív jelentési kötelezettséget kell teljesíteni a kormányzati szervek felé. Végeredményben a mezőgazdasági termelőt a külső környezetéből jelentős mennyiségű adat áraszthatja el, ami egy bizonyos mennyiség után nehezítheti a munkáját, így a túl sok adat miatt akár döntésképtelen helyzetbe is kerülhet. A gazdálkodó helyzetét az információ forgalom szempontjából csak a kormányzati szektorral kapcsolatban vizsgálom, mert a termelőnek ezen szektor szereplőinek többségével kötelező kapcsolatban lenni.

A kormányzati szektor minden szereplőjénél működik valamilyen információs rendszer, ezen rendszerekre jellemző, hogy összegyűjtik, feldolgozzák, tárolják,

visszakeresik, továbbítják a gazdaság szereplőinek működésével kapcsolatos adatokat, információt állítanak elő mely által segítik a állami döntéshozatalt (Heteyi, 2002). Számos közigazgatási tényvizsgálat kimutatta, hogy az ügyfélkapcsolatok területe elsődleges prioritást élvez az elektronizálandó területek között. A szolgáltató jelleg megköveteli, hogy a hivatal az ügyfeleknek a hozzájuk legközelebb álló és egyben legpraktikusabb utakon biztosítson kommunikációs felületet.

1. ábra

A gazdálkodó információs kapcsolatai

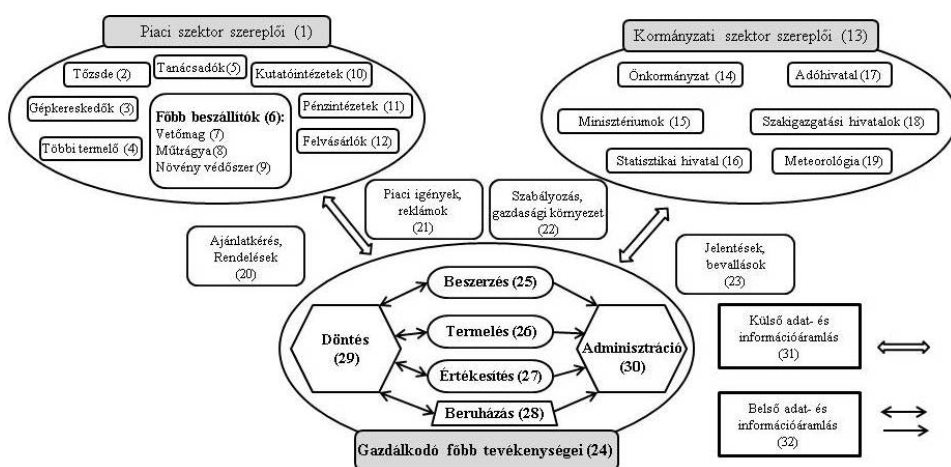


Figure 1: The farmers's information connections

Market sector(1), Exchange(2), Machinery traders(3), Farmers(4), Adviser(5), Main suppliers(6), Seeds(7), Fertilizer(8), Agrochemicals(9), Research Institute(10), Banks(11), Buyers(12), Government sector(13), Municipality(14), Ministry(15), Statistical Office(16), Tax Office(17), Public administration(18), Wether forecast(19), Orders(20), Market demands. advertisement(21), Regulation and economic environment(22), Reports, tax returns(23), Farmer's main activities(24), Supply(25), Production(26), Sales(27), Investment(28), Decision(29), Administration(30), External data and information flow(31), Internal data and information flow(32)

Sok szakember állítja, hogy a közigazgatás (szakigazgatás) működésében az informatika alkalmazása alapvető változást hozhat, mert kialakulhat az elektronikus ügyintézés. Napjainkban az e-demokrácia lehetőségeinek a megítélése nem tisztázott, mert vannak, akik minden probléma megoldásának tekintik, míg mások csak egy „távolsági álomnak” tartják ezen lehetőséget. Az ellenzők legfőbb érve, hogy az e-közigazgatás, mely mind költséges eszközrendszer (PC), mind pedig a viszonylag magas tudásigénye (PC és Internet használat) okán úgynevezett digitális szakadékot hoz létre a társadalomban (Buday és Tózsza, 2007). Az elektronikus kormányzati szolgáltatások esetén a kommunikáció az interneten keresztül zajlik, fontos megvizsgálni, hogy az egyéni gazdálkodók mikortól rendelkeznek saját internet hozzáféréssel. A 2. ábra mutatja a saját internet hozzáférés elterjedésének az ütemét, az egyéni gazdálkodók között.

2. ábra

**Az otthoni internet hozzáférés első évének megoszlása
az egyéni gazdálkodók körében n=31 év=2010**

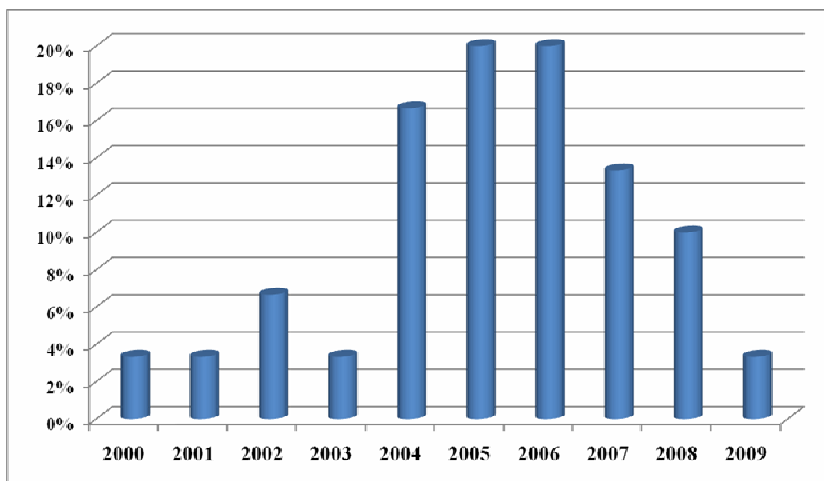


Figure 2: The distribution of the first year of the home internet access among the individual farmers. N=31, Year 2010

A legnagyobb mértékben a 2004-2006 közötti időszakban növekedett a saját internet hozzáférések száma. Ezt a növekedést főleg az időszakot megelőző Sulinet program keretein belül történt számítógép vásárlások segíthették.

Fontosnak tartom annak megismerését, hogy az egyes internet szolgáltatásokat az egyéni gazdák milyen mértékben használják.

A 3. ábrán látható hogy a saját internet hozzáféréssel rendelkező egyéni gazdálkodók mindegyike használja a web böngészést, több mint 80% az elektronikus levelezést is a gazdálkodás során. Az elektronikus levelezés során a levél szövege mellett, kisebb méretű fájlok is átvihetők ezért is lehet alacsonyabb az FTP használata. A levelező listák alacsony használatának az indoka az lehet, hogy fel sem iratkoznak a listára, mert nem töltenek annyi idő a gép előtt, hogy az összes levelet elolvassák.

A 4. ábrán megfigyelhetjük hogy az egyéni gazdálkodók, akik rendelkeznek saját internet hozzáféréssel milyen céllal veszik igénybe a web böngészést. A böngészés során szinte mindenki keres információt és legalább 50%-k a különböző e-kormányzati szolgáltatásokkal, piacfigyeléssel vagy banki szolgáltatásokkal kapcsolatban használja.

A saját kérdőíves felméréséből kiderül, hogy az egyéni gazdálkodók milyen mértékben látogatják egyes kormányzati és szakigazgatási szervek oldalait (5. ábra). A Vidékfejlesztési Minisztérium, MVH és MGSZH weboldalát főleg az aktuális jogszabályokért, rendeletekért látogatják. Ezenkívül az MVH oldalán még különböző oktatási segédletek is megtalálhatók az elektronikus kérelem benyújtással kapcsolatban.

A Piaci Árinformációs Rendszer alacsonyabb látogatottsága azzal magyarázható, hogy a válaszadók főleg a szántóföldi növénytermesztők közül kerültek ki. Azonban akik könnyen romló és friss fogyasztású élelmiszereket állítanak elő (zöldség, gyümölcs, tej, tojás, hús stb.) nekik ez rendszer sokkal fontosabb, hasznosabb ezért körükben jóval magasabb a látogatás mértéke.

3. ábra

Az egyes internet szolgáltatások használatának a mértéke a saját internet hozzáféréssel rendelkező egyéni gazdálkodók között, n=31 év=2010

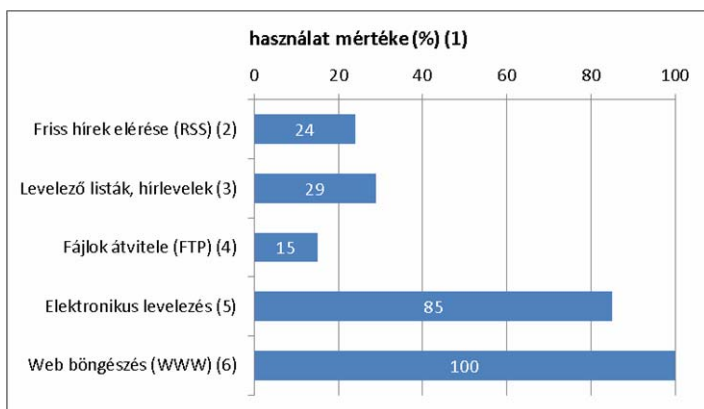


Figure 3: The measure of the usage of the Internet services among the individual farmers who has own internet access. N=31, Year 2010

The measure of the usage(%) (1), RSS News(2), Mailing List/Newsletter(3), File transfer(4), e-Mail(5), Web browsing (WWW)(6)

4. ábra

A web böngészés célja a saját internet hozzáféréssel rendelkező egyéni gazdálkodók között, n=31 év=2010

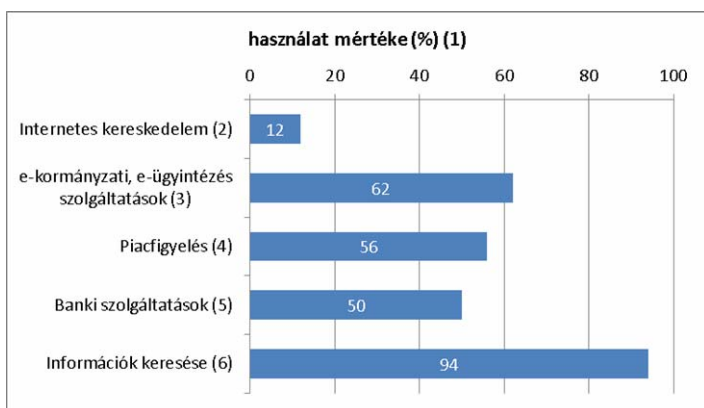


Figure 4: The goal of web browsing, among the individual farmers who has own internet access

The measure of the usage(%) (1), e-Commerce(2), e-Government services(3), Market monitoring(4), Online banking(5), Information searching(6)

5. ábra

**Az egyes kormányzati és szakigazgatási szervek oldalainak a látogatottsága
az egyéni gazdálkodók körében, n=35 év=2010**

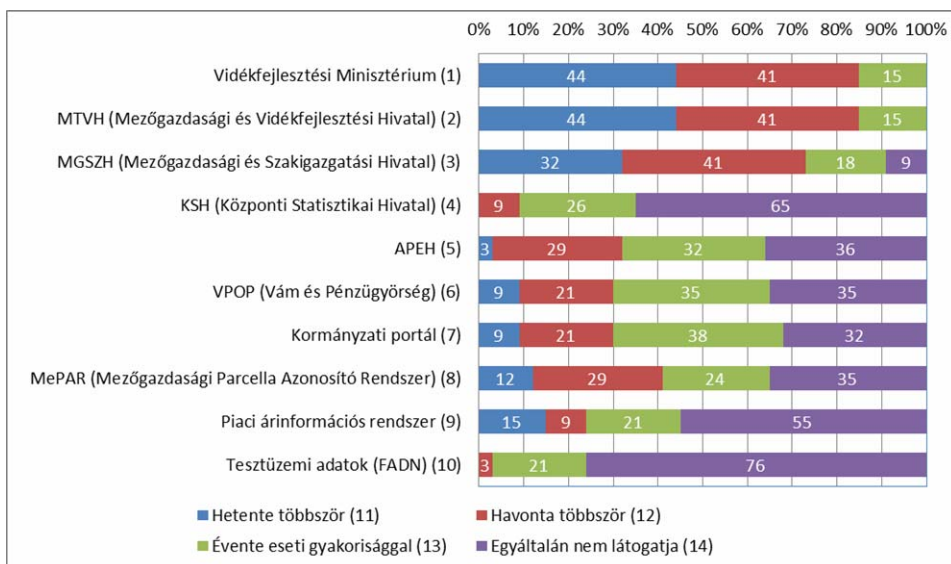


Figure 5: Visiting of the government's and agri specialized administration's web pages among the individual farmers. N=35, Year 2010

Ministry of Rural Development(1), Agricultural and Rural Development Agency(2), Central Agricultural Office(3), KSH (Hungarian Central Statistical Office)(4), APEH (Tax and Financial Control Administration)(5), VPOP (Customs and Excise Customs and Finance Guard)(6), Government portal(7), MEPAR (Land Parcel Identification System)(8), Market Price Information Systems(9), Farm Accountancy Data Network (FADN)(10); Several times a week(11), Several times a month(12), Annual ad hoc frequency(13), Not visiting(14)

A Kormányzati portálon található az Ügyfélkapu, mely az azonosítást igénylő közigazgatási, hatósági ügyek intézését, és az ezekhez kapcsolódó szolgáltatások elérését biztosítja az állampolgárok számára. Az ügyfélkapun keresztül az internetes felhasználók regisztráció után egyetlen belépéssel használhatják a kormányzati elektronikus szolgáltatásokat.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkemben bemutattam, hogy az internet hozzáférés milyen mértékben terjedt el az egyéni gazdálkodók körében Hajdu-Bihar megyében. A gazdálkodóknak milyen célokra használják az internet és a különböző agrár ágazathoz kötődő weboldalakat milyen gyakorisággal látogatják. Az internet használat elterjedése a termelők között több okból is hasznos egyrészt javul az információ ellátottságuk így jobb döntéseket hozhatnak ezáltal növekedhet a jövedelmük. Másrészt a különböző kormányzati e-szolgáltatá-

sokat akár az otthonukból is igénybe tudják venni, ami időmegtakarítást is jelent számukra. A külföldi gazdákkal összehasonlítva a magyar gazdák internethasználat gyakorisága még jóval alacsonyabb, ez főként a gyengébb szintű informatikai ismeretekkel magyarázható. Hosszabb távon mindenképpen javítani kellene a magyar gazdák számítástechnikai ismereteit, hogy ki tudják használni az internet adta lehetőségeket.

IRODALOM

- Buday B. B., Tózsá I. (2007): E közigazgatás. DE-AMTC AVK : Debrecen 177 p. ISBN 978-963-9732-68-1
- EFITA Newsletter No. 497 (2010): [Online]
<<http://www.efita.net/apps/accueil/autodefaut.asp?d=6834>>
- Herdon M, Houseman J (2007): ICT and Innovation in Rural Areas. In: Nábrádi A, Lazányi J, Herdon M (szerk.) Agrárgazdaság, Vidékfejlesztés, Agrárinformatika. Konferencia kiadvány. Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma, Agrár-gazdasági és Vidékfejlesztési Kar, 1-11. p. ISBN:978-963-87118-7-8
- Hetyei J. (2002): Pénzüntézetek és állami Intézmények Információs Rendszerei Magyarországon. Computerbooks : Budapest 386 p.
- Informatikai és Hírközlési Minisztérium (2003): Magyar Információs Társadalom Stratégia: eAgrárium programfüzet 20 p.
- Nuthall P. L. (2004): Case studies of the interactions between farm profitability and the use of a farm computer. In: Computers and Electronics in Agriculture, 42. 1. 19-30. p.
- Pető I. (2004): Mezőgazdasági külső információs rendszerek fejlesztése [Online]
<http://odin.agr.unideb.hu/magisz/rendezveny/E-agrarium2004/konferencia/Publikacio/A22_doc.pdf>
- Várallyai L, Herdon M (2010) Digital Europe – Chance for Job in Hungary. AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics II:(1) pp. 49-56. Faculty of Economics and Management CULS Prague ISSN 1804-1930 [Online] <http://online.agris.cz/files/2010/agris_on-line_2010_1_varallyai_herdon.pdf>

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Cseh András

Debreceni Egyetem, Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar
4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

*University of Debrecen, Faculty of Applied Economics and Rural Development
H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.*

Tel.: 36-20-367-1261

e-mail: bandi_sb@freemail.hu



Másodlagos idősorokat származtató módszer kifejlesztése és bemutatása erdészeti adatokon

Edelényi¹ M., Pödör² Z., Manninger³ M., Jereb¹ L.

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar Sopron, 9400 Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

² Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar Sopron, 9400 Ady Endre út 5.

³ Erdészeti Tudományos Intézet, Ökológiai és Erdőművelési Osztály Budapest, 1027 Frankel L. u. 1.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az általunk kifejlesztett, korrelációelemzésen alapuló módszer tartalmazza az olyan szokásosnak tekinthető eljárásokat, mint az autokorreláció, vagy a keresztkorreláció. Ezeken túlmenően, az eljárás az aktuálisan vizsgált adatsorok szélességének, valamint az időbeni eltolások mértékének változtatásával lehetővé teszi különböző hosszúságú időszakok hatásának elemzését, így sokkal mélyebb összefüggések, késleltetett hatások is felfedezhetők. A módszert az Erdészeti Tudományos Intézet által 1999-2010 között a Mátrában gyűjtött növekedési, valamint csapadék és hőmérsékleti adatokon mutatjuk be. A módszer alkalmazásával a paraméterek közötti kapcsolatokat három irányban vizsgáljuk: az éves növekedés (i), a havi növekedési adatok (ii), valamint a főnövekedési időszak növekedésének (iii) és a módszer által előállított másodlagos adatsoroknak az összefüggései.
(Kulcsszavak: idősorok vizsgálata, korreláció-elemzés, fák növekedése)

ABSTRACT

Developing of method for transforming time series data and demonstration on forestry data

M. Edelényi¹, Z. Pödör², M. Manninger³, L. Jereb¹

¹University of West Hungary, Faculty of Wood Sciences Sopron, H-9400 Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

²University of West Hungary, Faculty of Forestry Sopron, H-9400 Ady Endre út 5.

³Forest Research Institute, Department of Ecology and Silviculture Budapest, H-1027 Frankel L. u. 1.

The method developed by us is based on correlation analysis and includes common procedures like autocorrelation or cross-correlation. In addition, the procedure allows the analysis of time series by introducing different length periods and temporal shifting. Accordingly, previously unknown relationships and delayed impacts can be discovered. The method is presented on growth, precipitation and air temperature data collected by Forest Research Institute between 1999 and 2010 in Mátra Mountain. We analyse the relationship between these parameters by three approaches: relationships of derived data with the annual (i), the monthly girth increment (ii) and with the increment of the main growing season (iii).

(Keywords: time series examination, correlation-analysis, growth of trees)

BEVEZETÉS

Számos tudományterületre – többek között az erdészetre és faiparra is – jellemző, hogy a kutatási célokra használt adathalmazokban az adatok időbelisége is releváns tényező.

Cikkünkben egy olyan korrelációelemzésen alapuló vizsgálati módszert írunk le, mely az idősorok elemzését az eddigieknél teljesebb módon teszi lehetővé.

A primer adatsorokon végzett összefüggés vizsgálatok nem minden esetben képesek az összes lényeges reláció feltárására, a teljes kapcsolatrendszer feltérképezésére. Nem tudjuk például közvetlenül azt vizsgálni, hogy az egyik adatsor időben eltolt bizonyos elemeinek összege milyen kapcsolatot mutat a másik adatsor elemeivel. Eljárásunkban a primer adatsor elemeinek felhasználásával képzünk egy olyan szekunder/aggregált adatsort, amely a kiindulópontból képest magában foglalja az összes lehetséges és értelmes időbeni eltolást és szélességet. A módszer széleskörűen használható minden olyan területen, ahol megfelelő hosszúságú és minőségű adatsorok állnak rendelkezésre, és amelyek esetén a cél összetett függőségi kapcsolatok felismerése.

Jelen cikk alapvető célja az általunk kidolgozott új módszertani megközelítés leírása és a módszer működésének bemutatása erdészeti adatokon. Az elemzések hosszú távú célja a fák növekedése és a környezeti paraméterek (hőmérséklet, csapadék) közötti kapcsolatok feltérképezése, mivel a klímaváltozás növekedést befolyásoló hatásainak vizsgálatához szükséges a hatótényezők közötti mélyebb összefüggések feltárása.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az idősorok elemzésének egyik leggyakrabban használt eszköze a korrelációanalízis, amely két adatsor kapcsolatának erősségét vizsgálja. Ez lehet paraméteres (lineáris, nemlineáris), vagy nemparaméteres, azaz rangkorreláció. Az elemzésben – a bevezetőben említett erdészeti publikációkhoz hasonlóan – lineáris korrelációt alkalmaztunk.

A számított korrelációs érték azt mutatja meg, hogy a két változó vonatkozásában felírt regressziós egyenesre mennyire jól illeszkednek az adatsorok pontpárjai. Ahhoz, hogy a kapott eredmény szignifikanciáját ellenőrizzük, vizsgálatot kell végezni egy $n-2$ szabadságfokú t -statisztika felhasználásával, ahol n az adatok számát jelöli.

Sok esetben fontos, hogy két adatsor közötti késleltetett hatásokat is elemezzük. Erre egy lehetőség, ha az egyik adatsor elemeit időben eltoljuk a másikhoz képest és így keressük a köztük fennálló kapcsolatot (keresztkorreláció). A másik lehetőség, hogy egy adott adatsor és ugyanazon adatsor időbeni eltoltja közti kapcsolatot vizsgáljuk (autókorreláció), aminek segítségével például meghatározható a periodicitás.

Az említett esetek mindegyikében a primer adatok között keresünk kapcsolatot, amely azonban nem minden helyzetben nyújt teljes körű megoldást. Tekintsük az 1. ábrát.

Az ábrán két, időbélyeggel ellátott adatsorunk van: a havi szintű csapadékösszeg és az éves kerületnövekedési értékek. Ha a két primer vektor között keresünk kapcsolatot, akkor nem tudjuk azt vizsgálni, hogy milyen összefüggés van az éves növekedés és a különböző hosszúságú időszakok csapadékösszegei között. A késleltetett és/vagy a különböző időszaki hatások vizsgálatához szükségünk van egy aggregáló, másodlagos idősorokat származtató eljárásra. Ez a művelet a feladattól függően lehet minimum, maximum, átlag, összeg, szorzat, sőt akár más, még komplexebb függvény is.

Lineáris korreláció-elemzés alkalmazására a meteorológiai paraméterek fák növekedésére gyakorolt hatásának vizsgálatában az európai erdészeti szakirodalomban több példát is találunk. Ilyen elemzéseket végeztek dendrométerrel mért növekedési adatokra Magyarországon *Manninger* (2004; 2008), Franciaországban *Bouriaud és mtsai.* (2005), illetve Spanyolországban *Gutiérrez és mtsai.* (2011) is. Törzskorongok vagy növedécsapok felhasználásával folytatott vizsgálatokat *Szabados* (2002; 2008), *Mäkinen és mtsai.* (2003), *Feliksik és Wilczynski* (2009), *Novák és mtsai.* (2010), *Maxime és Hendrik* (2011).

1. ábra

Származtatott adatsorok előállítása

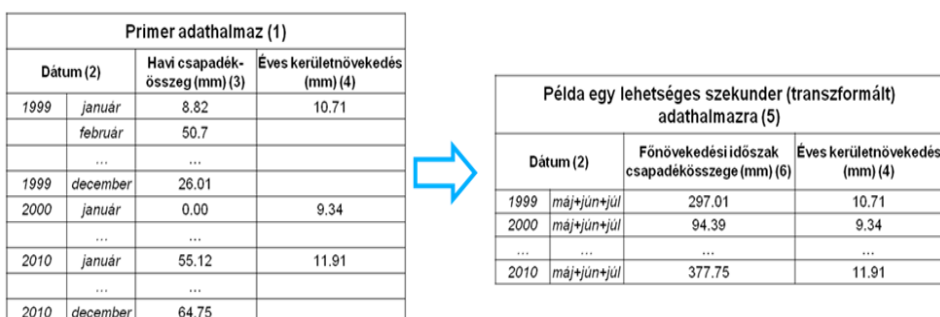


Figure 1: Preparation of derived time series

Primary dataset(1), Date(2), Monthly precipitation sum (mm)(3), Annual girth increment (mm)(4), An example for a possible secondary (transformed) dataset(5), Precipitation sum of main growth period(6)

Az erdészeti kutatásokban a késleltetett hatások vizsgálatára alkalmazzák az evolúciós módszert és a mozgó intervallumokat (*Büntgen és mtsai.*, 2006; *Oberhuber és mtsai.*, 2008; *Wilczynski és Podlaski*, 2007). Az evolúciós technika lépésenként az adatsor időben első vagy utolsó elemétől lépkedve képez ablakokat, míg a mozgó intervallumok technikája egy rögzített szélességű ablakot mozgat az adatsoron. Az eljárások egyes lépéseiben kiszámíthatók a korrelációs együtthatók, így az eljárás végére korrelációs együtthatók sora áll rendelkezésre, azaz a vizsgált változók közti kapcsolatok időbeli változása vizsgálhatóvá válik. Az elemzések feltétele, hogy kellően hosszú adatsorok álljanak rendelkezésre (*Biondi*, 1997).

Az erdészeti kutatásokban meghatározott időszakok vizsgálatára is találunk példákat. Ilyenek a *Novák és mtsai.* (2010) munkájában ismertetett időszaki csapadék- és hőmérséklet indexek és a *Gutiérrez és mtsai.* (2011) növekedésmérések előtti 5, 10, 15 és 30 napra vonatkoztatott időszaki meteorológiai jellemzői is.

Az ablakmozgatás és az ablakszélesség növelésének együttes alkalmazására kidolgozott és a következő fejezetben ismertetett új módszer a fentieknél bővebb lehetőséget kínál a késleltetett hatások, valamint az egyes időszakok vizsgálatára.

Transzformált idősorok

Tegyük fel, hogy kiindulásként adott két azonos hosszúságú, időbélyeggel ellátott vektor:

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \text{ és } \bar{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

A komponensek számozását az első időbélyegtől tekintjük. Azaz 1 értékkel jelöljük az időben első elem, n -el az időben utolsó elem indexét. Feltesszük, hogy az adatoknak van egy természetes periodicitása. Jelölje C a periódus hosszát (pl. havi adatok esetén $C = 12$).

Az egyszerűsítés kedvéért azzal a feltételezéssel élünk, hogy az adatsor a választott ciklus első elemével kezdődik és az utolsó elemével ér véget. (Éves ciklus és havi bontás esetén ez január és december). Amennyiben ez az eredeti adatokra nem teljesül, akkor lerövidítjük az adatsort, és csak azt a maximális számú n adatot hagyjuk meg, amely megfelel a kritériumnak. Ez legfeljebb $2C-2$ komponensnyi veszteséget jelenthet, és ekkor teljesül, hogy a vektor dimenziója osztható a ciklusok elemszámával. Azaz a ciklusok száma a teljes vizsgált adatsorokban $M = \frac{n}{C}$.

Célunk az $\bar{x}$ és $\bar{y}$ adatsorok közötti kapcsolatok feltérképezése. Ehhez bevezetünk két, indexeket tartalmazó vektort $\overline{index_k}$ és $\overline{index_v}$, amelyek használatával az $\bar{x}$ adatsor elé emelünk egy ablakot. A két vektor tartalmazza az alkalmazott ablakban látható eredeti $\bar{x}$ értékek kezdeti és végponti indexeit. Azzal a feltételezéssel élünk, hogy az ablak egy adott C ciklusból nem lép ki, ezért nem okoz ciklusvesztést. A kezdőpont az ablak időben korábbi végpontja, míg a végpont az ablak időben későbbi végpontját jelöli.

Ebben az esetben az $\overline{index_k}$, illetve $\overline{index_v}$ vektorok első elemét az adatsor első ciklusának kívánt, k , illetve v indexű elemére állítjuk, míg az m ($1 \leq m \leq M$) indexű elemek az eredeti adatsor $(k + (m-1) \cdot C)$, illetve $(v + (m-1) \cdot C)$ indexű elemei lesznek. Az $\bar{x}_{tr,k,v}$ transzformált vektor m . elemét ekkor az $\bar{x}$ vektor megfelelő kezdő- és végindexű elemei által behatárolt ablakának komponenseiből származtatjuk egy G transzformáló függvény alkalmazásával:

$$\bar{x}_{tr,k,v} = \begin{pmatrix} G(x_k; x_v) \\ G(x_{k+C}; x_{v+C}) \\ \vdots \\ G(x_{k+(M-1)C}; x_{v+(M-1)C}) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Módszerünk másik elemeként az $\bar{y}$ vektort transzformáljuk, amelyhez vezessük be az i és j egész számokat, illetve az α valós számot, amely a korrelációs számításához szükséges szignifikanciaszintet jelöli. Az i szám az időbeli eltolás mértékét adja oly módon, hogy meghatározza mennyit lépünk vissza az időben az aktuális időponthoz képest. Ennek megfelelően i a 0 értéktől értelmezhető, maximális értéke (I) pedig a konkrét feladattól függ, illetve úgy kell megválasztani, hogy a korrelációs számítás elvégezhető legyen. A j paraméter az ablak aktuális szélességét adja ($1 \leq j \leq J$), értéke n és i függvénye. l jelöli azt az aktuális időpontot, melyhez képest az eltolást végezzük.

Az $\bar{y}_{tr,l,i,j}$ transzformált vektor m . elemét ekkor az $\bar{y}$ vektor megfelelő kezdő- és végindexű elemei által behatárolt ablak komponenseiből származtatjuk egy H transzformáló függvény alkalmazásával:

$$\bar{y}_{tr,l,i,j} = \begin{pmatrix} H(y_{l-i-j+I}; y_{l-i}) \\ H(y_{l-i-j+I+C}; y_{l-i+C}) \\ \vdots \\ H(y_{l-i-j+I+(m-1)C}; y_{l-i+(m-1)C}) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

A fenti jelölések használatával széleskörű vizsgálat végezhető közvetve az $\bar{x}$ és $\bar{y}$, illetve közvetlenül az $\bar{x}_{tr,k,v}$ és az $\bar{y}_{tr,l,i,j}$ vektorok vonatkozásában. Az egyes

paramétereket illetően – feladattól függően – a $1 \leq k \leq v \leq C$, illetve a $k \leq l \leq v$ választások lehetségesek, míg az $0 \leq i \leq I$, illetve a $1 \leq j \leq J$ feltételek esetén az I maximális eltolás és a J maximális ablakszélesség C -nél nagyobb választása cikluson átnyúló hatások felismerésére is alkalmas. Ez utóbbi esetekben a ciklushatárt átlépő ablakok miatt kezelni kell a transzformált adatsorokban fellépő ciklusvesztést, illetve biztosítani kell az aktuális $\bar{x}_{tr,k,v}$ és $\bar{y}_{tr,l,i,j}$ transzformált vektorok komponensszámainak megfelelő egyezését a korrelációs számítás elvégezhetősége érdekében.

A módszer eredményeként az összes lehetséges i és j értékek esetén kiszámítjuk a korreláltság mértékét, amely értékeket mátrixban tárolunk. Mivel nemcsak a korrelációt, hanem a korreláció szignifikanciáját is vizsgáljuk, így az eljárás kimenete egy $(I+1)*J$ méretű mátrixpár:

$$R = \begin{pmatrix} r_{0,1} & r_{0,2} & \cdots & r_{0,J} \\ r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{I,1} & r_{I,2} & \cdots & r_{I,J} \end{pmatrix} \text{ és } S = \begin{pmatrix} S_{0,1} & S_{0,2} & \cdots & S_{0,J} \\ S_{1,1} & S_{1,2} & \cdots & S_{1,J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{I,1} & S_{I,2} & \cdots & S_{I,J} \end{pmatrix} \quad (4)$$

A mátrixpárok közül az R értékei megfelelnek az adott eltolással (i) és ablakszélességgel (j) képzett $\bar{x}_{tr,k,v}$ és $\bar{y}_{tr,l,i,j}$ vektorokra kapott korrelációs értékeknek. Az S egy logikai mátrix, ami az α paramétertől függő szignifikancia vizsgálat eredményét tartalmazza.

VIZSGÁLATI FELTÉTELEK

A vizsgált adathalmaz

A cikkben az Erdészeti Tudományos Intézet által 1999-2010 között mért adatokat (csapadék, hőmérséklet, illetve 11 fa kerületnövekedési értékei) használjuk fel.

Az adatok a nemzetközi erdővédelmi hálózat (ICP Forests) intenzív monitoring szintjéhez tartozó mátrai mintaterületéről származnak, melynek bükkös állománya az erdőterv szerint 100 éves. Fatermési szempontból az állomány a jó növekedésű (II. fatermési osztályú) bükkösök közé tartozik: átlagos magassága 32,5 m, átmérője 37,2 cm, törzsszáma 420 db/ha (2010). Az erdőszeti klímabesorolás szerint a mintaterület a bükkös klímában található, hidrológiai viszonyaira a szivárgó vízhatás jellemző. Az alapkőzet riolit, riolituffa, a mintaterület genetikai talajtípusa a ranker.

Az adatok felbontása

A csapadék esetében az adott mintaterületen eseménytől függő észlelés van, tehát a csapadékhullást egy-két napon belül követi annak szabad területen, illetve állomány alatt történő leérése. A feldolgozásban az állomány alatti csapadékkal dolgoztunk, mert ez közelebb áll az állomány számára ténylegesen felhasználható csapadék mennyiségéhez, és feltételezzük, hogy ezen keresztül az oksági összefüggések jobban kimutathatók.

A hőmérsékleti adatok szabad területi és állomány alatti automata mérőállomásokról származnak, melyeknek adattárolása tízperces, illetve órás.

A kézi dendrométer szalagon végzett növekedési mérések gyakorisága márciustól novemberig heti, a nyugalmi időszakban kétheti. Ez elvben lehetővé teszi a heti felbontást, de a mérésekhez alkalmazott eszközök az ilyen rövid idő alatt bekövetkező változások megbízható mérésére nem igazán alkalmasak. A kézi mérőszalagokat alapvetően az éves növekedés mértékének meghatározásához, illetve annak szakaszokra bontásához fejlesztették ki.

Az eredmények értékelésekor figyelembe kell venni, hogy míg a csapadék és hőmérsékleti adatok területre (állományra) vonatkoznak, addig a növekedési adatok faegyedekre. A fák kiválasztása az állományfelvételi összesítő (átlagos átmérő, magasság és törzsszám magassági osztályonként) alapján történt, ezért lehetőség van arra, hogy ezekből állományra, magassági osztályra jellemző értéket kapjunk. A kiválasztott fák között a törzsszámarányának megfelelően alászorult egyed is van, amelynek nincs számottevő növekedése.

Adatok előkészítése

Az idősorok elemzése során lényeges az időbeliség, a mérések eredményeként adódó idősorok hosszának egyezése és teljessége, ezért kezelnünk és egységesítenünk kellett a különböző gyakoriságú mérési adatokat. A feldolgozás során havi adatokat állítottunk elő, illetve használtunk fel, mert a módszer kiterjeszthetősége miatt figyelembe vettük, hogy országos léptékben leginkább ilyen felbontású adatok állnak rendelkezésre.

A növekedési adatok esetében a hónapok közötti átmeneteknél az egymást követő mérések különbségét a napok arányában osztottuk fel a két hónap között.

A csapadék esetében a hónapok közötti átmeneteknél a csapadékhullás felvételi jegyzőkönyvben rögzített időpontja, illetve a szabad területi automata mérések szerint osztottuk fel a mérések eredményét.

A hőmérsékletnél napi szintű adataink vannak, így egyszerűen képezhetők a havi felbontású adatsorok.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

Az idősorokra kidolgozott eljárás segítségével a fent leírt adatsoron széleskörű statisztikai elemzést valósítottunk meg. A vizsgálatok során az $\bar{x}$ vektor tartalmazza egy-egy fa (vagy egy-egy magassági osztály átlagos) havi szintű kerületnövekedési adatait, míg $\bar{y}$ az ehhez köthető havi csapadékösszeget, vagy havi középhőmérsékletet. Az éves periódus feltételezésével C értéke 12.

Elemzéseinkben két tényező (csapadék-növekedés, hőmérséklet-növekedés) egymásra gyakorolt hatását három különböző szempontból néztük meg.

Első vizsgálati irány: az éves növekedés és a származtatott környezeti paraméterek összefüggéseinek vizsgálata

A 2 ábrán azt szemléltetjük, hogy az egyes fák éves kerületnövekedési adatainak és a teljes előző év, valamint az adott év júliusig tartó időszakának (összesen 19 hónap) havi csapadékösszegeire milyen korrelációs értékek adódnak. Az ábrán a kék színű felület-részek negatív, míg a sárga színűek pozitív korreláltságot mutatnak.

A kapott eredményekből leszűrhető, hogy a megelőző év szignifikáns csapadék-ablakai jellemzően negatív korreláltságban állnak az adott év növekedésével. Szignifikáns összefüggések akkor adódnak, ha a csapadéklablakokban az előző év júniusa és augusztusa egyidejűleg benne van, azonban ezek a szignifikáns időszakok sosem nyúlnak át az adott évbe. Pozitív korreláltságot tapasztaltunk az előző év őszéig visszanyúló időszakok esetén, amennyiben azok az adott év márciusával zárultak. Ezek azok az időszakok, amik még a leginkább magyarázhatóak, amelyek a legközelebb állnak ahhoz, amit nyugalmi vagy tárolási időszaknak hívunk. A növekedés évében csak akkor jelenik meg szignifikáns pozitív összefüggés, ha az időablakban benne van a január. Az általunk legfontosabbnak vélt május-július hónapok (fő növekedési vagy fő

vízfelhasználási időszak) semmilyen ablaknál nem hoznak szignifikáns összefüggést. Néhány hónap (pl. az adott év januárja) erősen rányomja bélyegét az összefüggésekre. Ezeket logikai magyarázatokkal nehéz vagy nem lehet alátámasztani.

2. ábra

A havi csapadék és az éves kerületnövekedés kapcsolata

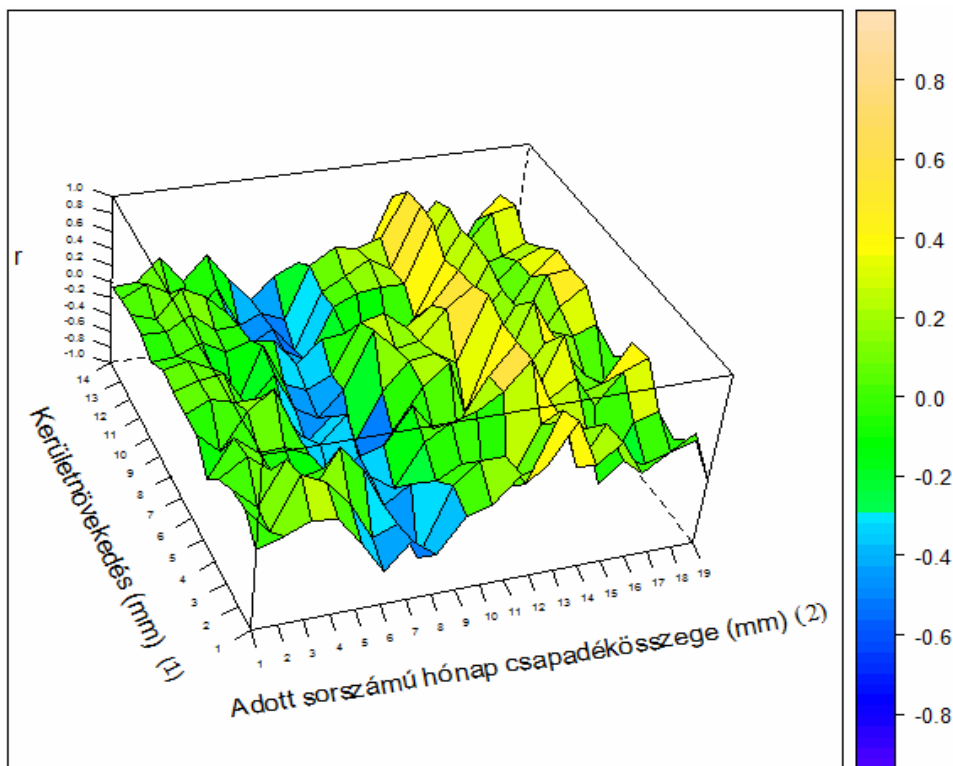


Figure 2: The connection between the annual girth increment and the monthly precipitation

Annual girth increment (mm)(1), Precipitation of given month (mm)(2)

A havi átlaghőmérséklet mellett a szélsőértékeket (napi minimumok, illetve maximumok havi átlagai) is bevontuk az elemzésbe. Ha az átlaghőmérsékleteket vesszük, akkor erősebb, a fák nagyobb részére vonatkozó összefüggés csak az adott évi júniusnál jelenik meg. Ez is negatív, tehát a magasabb átlaghőmérséklet kisebb növekedéssel jár. Ennek igazolhatósága elsősorban a júniusi csapadékviszonyoktól függ, amit esetleg a két paraméter együttes vizsgálata mutat majd ki. A szignifikáns értékek többsége negatív, tehát az átlaghőmérséklet növekedése inkább jár a növekedés csökkenésével, mint annak fokozódásával. A szélesebb időablakok között, az előző év augusztusától kezdődően bármely hónapnak az adott év januárjáig tartó időszaka (szeptember kivételével, 2-6 hónap változó ablakszélességgel) azzal jellemezhető, hogy magasabb átlaghőmérséklet esetén nagyobb a következő év növekedése. A június csak önmagában ad szignifikáns eredményt,

ha további hónapokat teszünk mellé, akkor elveszítjük ezt az összefüggést. A minimum hőmérsékleteket vizsgálva az átlaghoz hasonlóan kevés szignifikáns összefüggés kerül elő, s azok is elszórtabban, kevésbé általánosan (egyidejűleg kevesebb fánál) jelennek meg. A változó szélességű ablakok az átlagos napi minimum hőmérséklet és a növekedés kapcsolatát nem finomítják.

Az átlaghoz és a minimumhoz képest valamivel több szignifikáns összefüggés jelenik meg a maximum hőmérsékletnél. Ez arra utalhat, hogy a maximum hőmérsékletnek nagyobb hatása van a növekedésre, mint az átlagnak vagy a minimumnak. A maximum hőmérséklet vizsgálatakor megerősödött az előző év őszének, elsősorban a novembernek a pozitív hatása, ami logikailag nehezen magyarázható. Ugyancsak szélesebb körben jelentkezett az adott évi június negatív hatása. Az ablakos vizsgálat szerint a május-június, illetve a június maximum hőmérsékletének emelkedése az éves növekedés csökkenésével jár.

Második vizsgálati irány: a havi növekedési adatok és a származtatott adatsorok összefüggéseinek vizsgálata

A növekedésmenet ismeretében tényleges növekedés május elejétől augusztus végéig várható, ezért csak ezen hónapok növekedési adatait vizsgáltuk. Az eredménymátrixokat minden fára és minden számításba vehető hónapra előállítottuk.

A vizsgálat eredmény-mátrixpárjaira mutat egy példát a 3. ábra, amelyen egy adott fa júliusi növekedési adata és a csapadék adatok közötti kapcsolat látható. A sárga háttérszínnel jelölt korrelációs értékek mutatják a szignifikáns eredményeket, így a mátrixpár egyidejűleg ábrázolható. A jobbról balra tartó irány a csapadékhónapok szélességét, míg a fentről lefelé tartó irány a hónapok közötti eltolást jelzi. Pl. a (0,1)-es cella (-0,34) a júliusi növekedés és a júliusi csapadék adat közötti lineáris kapcsolat erősségét mutatja. Míg a (4,7)-es elem a júliusi növekmény és az azt megelőző év augusztusa és az adott év február hónapja között lehullott csapadékösszeg közötti korrelációs értéket jelöli (0,77).

3. ábra

Az R (és S) eredmény mátrix illusztrálása

Július (1)		Szélesség (2)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Eltolás (3)	0	-0.34	-0.61	-0.48	-0.61	-0.53	-0.59	-0.49	0.61	0.68	0.86	0.77	0.50
	1	-0.32	-0.17	-0.30	-0.20	-0.23	-0.15	0.58	0.65	0.79	0.79	0.54	0.51
	2	0.08	-0.19	-0.02	-0.09	0.04	0.66	0.75	0.88	0.88	0.53	0.44	0.11
	3	-0.39	-0.09	-0.20	-0.01	0.66	0.70	0.82	0.83	0.54	0.43	0.06	-0.02
	4	0.21	0.09	0.22	0.59	0.64	0.81	0.77	0.46	0.37	-0.03	-0.10	-0.18
	5	-0.20	0.13	0.64	0.69	0.71	0.68	0.38	0.27	-0.11	-0.18	-0.26	-0.45
	6	0.30	0.70	0.73	0.77	0.70	0.40	0.29	-0.12	-0.19	-0.28	-0.47	-0.38
	7	0.47	0.52	0.56	0.53	0.23	0.15	-0.23	-0.28	-0.37	-0.54	-0.46	-0.54
	8	0.22	0.32	0.38	0.12	0.06	-0.34	-0.37	-0.47	-0.65	-0.56	-0.64	-0.69
	9	0.32	0.38	0.08	0.02	-0.36	-0.39	-0.50	-0.66	-0.58	-0.65	-0.69	-0.62
	10	0.22	-0.08	-0.10	-0.46	-0.50	-0.61	-0.74	-0.67	-0.75	-0.76	-0.68	-0.49
	11	-0.18	0.16	0.51	-0.54	-0.63	-0.77	-0.69	-0.77	-0.78	-0.71	-0.54	-0.50

Figure 3: Illustrating of R (and S) result matrices

July(1), Width(2), Time shifting(3)

Az eredményekről általánosan elmondható, hogy a nagy eltolású és széles időablakok ellentétes hatást mutatnak, míg a kis eltolású és széles, vagy nagy eltolású, de keskeny időablakoknál az összefüggés pozitív. Az előbbi azt jelenti, hogy a 9-11 hónappal korábbi 6-11 hónapos időszak csapadéka a júliusi növedékre negatív hatással van, míg az utóbbi annak felel meg, hogy a júliusi növekedést pozitívan befolyásolja a megelőző 7-11 hónap csapadéka. Ez az összefüggés ismételt az adott évi januári, illetve a megelőző év augusztusi csapadéknak meghatározó voltát mutatja.

A havi növekedési adatok és a hőmérséklet közötti összefüggések kevésbé egységesek. Faegyedtől függően a májusi és júliusi eredményeket tartalmazó mátrixban olykor ellentétes irányú összefüggések is megjelennek. A fák júliusi-augusztusi növedékének elemzésekor a keskeny, átlós szignifikancia-sáv azt mutatja, hogy szűk az az időablak, ami jó összefüggést mutat, mégpedig negatív előjelűt. Ezeknek a hónapoknak a növekedését a május-június magasabb hőmérséklete visszaveti.

Harmadik vizsgálati irány: a főnövekedési időszak (május-július) növekedési adatainak kapcsolata a származtatott adatsorokkal

A három hónap adatából vettük a növekedés maximumát, s ennek a hónapja szolgáltatja az alapot a környezeti paraméterekből képzett eltoláshoz. A logikailag alátámasztható eljárás nem hozott értékelhető eredményt.

A vizsgálatnak az a hátránya, hogy a viszonyítási hónap évről-évre változhat, s ezért a szignifikáns összefüggések esetében sem lehet egyértelműen megmondani, hogy melyek azok a hónapok, amelyek a hatást kiváltják. A relatív skála egyik származtatott adatsor esetében sem kapott igazolást, ezért az adatokból általánosítható relatív összefüggést – pl. hogy a legnagyobb növekedést hozó hónap előtti két hónap a meghatározó a növekedésben – jelenleg nem lehet leszűrni.

KÖVETKEZTETÉSEK

A kidolgozott eljárás – megfelelő minőségű és hosszúságú adatsorok esetén – az eddigieknél szélesebb körű elemzésre ad lehetőséget. A módszer a transzformált idősorokon képes bármilyen típusú korrelációelemzést megvalósítani feladattól függően.

Módszerünknek köszönhetően vizsgálható az egyes hónapok, illetve a különböző hosszúságú időszakok csapadék- és hőmérsékletviszonyainak kapcsolata a havi, valamint az éves növekedéssel.

Az eljárás erdészeti adatokon való eddigi alkalmazása kimutatott olyan összefüggéseket, melyek logikailag igazolhatóak, de olyanokat is, melyek ismereteinkkel nem magyarázhatóak. Ez a tapasztalat arra hívja fel a figyelmet, hogy a növekedés és a környezeti paraméterek összefüggéseinek feltárásához önmagukban nem elegendők a széles körben alkalmazott havi csapadék, illetve hőmérsékleti adatok.

Az erdészeti alkalmazás során végzett munka egy olyan értékelés kezdete, amelyben még számos további elemzési lehetőséget látunk. Ilyen lehetőség lehet a vizsgálatba bevont adatok körének bővítése, a bemeneti adatok felbontásának változtatása, a havi adatoktól való eltérés, valamint a hasznosuló csapadék pontosabb meghatározásával – a talaj vízkapacitásának figyelembevételével – a bemeneti adatok finomítása. Tervezzük, hogy az eljárással teszteljük az erdészetben és ahhoz kapcsolódó szakmákban alkalmazott szakmai indexeket, mint például a Pálfa-féle aszályossági indexet (PAI) vagy az erdészeti aszályossági indexet (FAI) is. Az eddigi egytényezős vizsgálatok helyett többváltozós hatások vizsgálatát is tervbe vettük.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott módszer a TÁMOP-4.2.2-08/1-2008-0020 számú „Erdő- és mezőgazdálkodás, valamint a megújuló energiaforrás technológiák és a klímaváltozás” című projekt támogatásával jött létre.

IRODALOM

- Biondi, F. (1997): Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology. *Dendrochronologia*, 15. 139-150. p.
- Bouriaud, O., Leban, J.M., Bert, D., Deleuze, C. (2005): Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree Physiology*, 25. 651-660. p.
- Büntgen, U., Frank C.D., Schmidhalter, M., Neuwirth, B., Seifert, M., Esper, J. (2006): Growth/climate response shift in a long subalpine spruce chronology. *Trees* 20. 99-110. p.
- Feliksik, E., Wilczynski, S. (2009): The effect of climate on tree-ring chronologies of native and non-native tree species growing under homogenous site conditions. *Geochronometria*, 33. 49-57. p.
- Gutiérrez, E., Campelo, F., Camarero, J. J., Ribas, M., Muntán, E., Nabais, C., Freitas, H. (2011): Climate controls act at different scales on the seasonal pattern of *Quercus ilex* L. stem radial increments in NE Spain. *Trees*, 25. 4. 637-646. p.
- Mäkinen, H., Nöjd, P., Kahle, H. P., Neumann, U., Tveite, B., Mielikäinen, K., Röhle, H., Spiecker, H. (2003): Large-scale climatic variability and radial increment variation of *Picea abies* (L.) Karst. in central and northern Europe. *Trees*, 17. 173-184. p.
- Manninger M. (2004): Erdei fák éves és korszaki növekedésmenete és kapcsolódása egyes ökológiai tényezőkhöz. In: Mátyás Cs., Vig P. (ed.): Erdő és Klíma IV., Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 151-162. p.
- Manninger M. (2008): A növekedés és a csapadék összefüggései az alföldi mérések alapján, In: Szulcsán G. (ed.) Kutatói nap, tudományos eredmények a gyakorlatban, Alföldi Erdőért Egyesület kiadványa, Szeged, 50-53. p.
- Maxime, C., Hendrik, D. (2011): Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient. *Trees*, 25. 265-276. p.
- Novák, J., Slodicák, M., Kacálek, D., Dusek, D. (2010): The effect of different stand density on diameter growth response in Scots pine stands in relation to climate situations. *Journal of Forest Science*, 56. 10. 461-473. p.
- Oberhuber, W., Kofler, W., Pfeifer, K., Seeber, A., Gruber, A., Wieser, G. (2008): Long-term changes in tree-ring-climate relationships at Mt. Patscherkofel (Tyrol, Austria) since the mid-1980s. *Trees* 22: 31-40. p.
- Szabados I. (2002): Az évgyűrűszélesség és egyes termőhelyi tényezők kapcsolata. PhD értekezés (NYME-EMK).
- Szabados I. (2007): Időjárási fluktuáció hatása a produkcióra dendrokronológiai kutatások alapján. In: Mátyás Cs., Vig P. (ed.): Erdő és Klíma V., Nyugat-magyarországi Egyetem : Sopron, 297-306. p.
- Wilczynski, S., Podlaski, R. (2007): The effect of climate on radial growth of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in the Swietokrzyski National Park in central Poland. *Journal of Forest Research*, 12. 24-33. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Edelényi Márton

Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar,
Informatikai és Gazdasági Intézet

9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

University of West Hungary, Faculty of Wood Sciences

Institute of Informatics and Economics

H-9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

Tel.: 36-99-518-486 Fax: 36-99-518-367

e-mail: edelenyim@inf.nyme.hu



A digitális kép spektrális bizonytalanságának hatása a kép funkcionáljaira

Hegedűs G., Horváth¹ Z.

Pannon Egyetem, Georgikon Kar, 8360 Keszthely, Deák Ferenc út 16.

¹Pécsi Tudományegyetem, TTK, Matematika és Informatikai tanszék, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.

ÖSSZEFOGLALÁS

Objektumok – mezőgazdaságban többnyire növények – digitális képeikhez különböző definíciókkal rendelhetők számértékek. Egyes vizsgálatok törekvése arra irányul, hogy megfelelő definíciók kiválasztásával mód nyíljon az alany beazonosítására, illetve tulajdonságának jellemzésére. A dolgozatban a következő funkcionálokat elemezzük: Spektrális Fraktáldimenzió (SFD), Spektrális Színkocka Tehetlenség (STN), Redukált Spektrális Kovex Burok Mérték (RSKBM), majd ezeket összevetjük egy vektorértékű függvény jellemzővel, amely eltéréseit kettes norma szerint vizsgáljuk (ST2). Megvizsgáljuk, hogy a felvételezés (képkészítés) körülményei, hogyan befolyásolják az egyes funkcionál értékeket, az eredmény milyen eloszlást mutat, milyen hibával rendelkezik a mérésnek nevezett eljárás. Továbbá kimutatjuk, hogy az egyes eljárások milyen számolásiigénnyel járnak effektíve és az etalonnak választott vektorértéket szolgáltató hisztogramhoz meghatározásához képest. Bemutatjuk (véletlenszerűen kiválasztott két fajta példáján), hogy a mérési eredmények mennyire lehetnek alkalmasak növényfajták elkülönítésére. Megvizsgáljuk azt a kérdést, hogy érdemes-e skalárig lecsupaszítani a képi információt sokszor a gyakorlati használhatóságot megkérdőjelező számításigénnyel, mintsem hatékonyan kinyerhető komplex struktúrákkal jellemezni a vizsgálat tárgyát. (Kulcsszavak: SFD, STN, RSKBM, ST², fraktál dimenzió, értékelések, Burgonya)

ABSTRACT

The uncertainty of the effect of digital imaging spectral functionals of the image

G. Hegedűs, Z. Horváth¹

Pannon University, Faculty of Georgikon, H-8360, Keszthely, Deák Ferenc út 16.

¹University of Pécs, TTK, Department of Mathematics and Informatics, H-7624 Pécs, Ifjúság útja 6.

Objects - these are in the agriculture mostly plants - are numbers being available to their digital images with different definitions. Some examinations are converging to identification subjects with selection appropriate definitions, or characterization of its properties. In this text we analyze the following functionals: Spectral fractal dimension (SFD), Spectral moment of inertia (STN), Spectral convex hull Reduced Rate (RSKBM), and then compares these vector value a service function, the two-spectral-norm distance (ST2). We will inspect that how are influencing the conditions of image acquisition the values of certain functions, the results are showing what kind of distribution, and the measurement disposes what kind of error. Furthermore it will be manifested numeracy needs of some processes. I will be demonstrated (with random two examples) the extent of the measurement results can be used to separate plants. We examine the question of

whether it is worth to strip the visual information to a scalar if often its numeracy needs are questionable their practical usability, rather than it is available results including complex more informations with much less counting.

(Keywords: SFD, STN, RSKBM, ST2, fractal dimension, ratings, potato)

BEVEZETÉS

Berke *et al.* (2005) meghatározta a spektrális fraktáldimenzió fogalmát, majd mérési módszerekre és alkalmazhatóságra tett javaslatot (Berke *et al.*, 2006, 2007). Hegedűs *et al.* (2007) vizsgálja a fogalom matematikai tulajdonságait, és a médium geometriai transzformációja szerinti invarianciáját, Csák *et al.* (2008) kísérletet tesz a burgonyafajta-minősítésben való felhasználásra. Jelen cikk további funkcionálok vizsgálatával megkérdőjelezi a fajtaelkülönítésre szánt képfunkcionálok létjogosultságát a komplexebb, de könnyebben számítható képjellemzőkkel szemben. A méréssel nyert, anyagjellemzőnek szánt funkcionálok használhatósága veszteséges tömörítésű és tömörítetlen képformátumok alkalmazása esetén is értékelésre kerül.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az alkalmazott Spektrális Fraktáldimenzió (SFD) fogalma

A fogalmat Berke (2005, 2006, 2007) munkái alapján tekintjük ebben cikkben.

Az RGB truecolor képek színterét a 3-dimenziós euklideszi tér első nyolcadának $256 \times 256 \times 256$ méretű kockája reprezentálja, ahol a kocka egész koordinátájú rácpontjai mint egységkocka-középpontok felelnek meg az intenzitásoknak, színeknek. A kocka $(0,0,0)$ pontját/egységkockáját rendeljük a fekete színhez, a $(255,255,255)$ pont/egységkocka pedig a fehérnek felel meg (1. ábra).

1. ábra

Egy képen előforduló színértékek ábrázolása a színtér kockájában

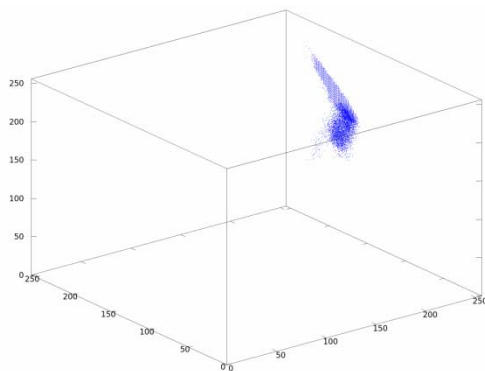


Figure 1: Occurring color values in an image representation of the color space in the cube

Az i -edik iterációs lépésnél ezt a kockát osszuk fel 2^{7-i} élhosszúságú diszjunkt részkockákra. Az m_i jelentsse az i -edik iterációban jelentkező részkockák számát, n_i pedig ezek közül azok darabszámát, melyek tartalmaznak szint a vizsgált képből. Ekkor a

vizsgált digitális képhez rendelt spektrális fraktáldimenzió (SFD) értékét az (1) kifejezés határozza meg.

$$\frac{3}{8} \sum_{i=0}^7 \frac{\ln n_i}{\ln m_i} \quad (1)$$

Ez a funkcionál érzéketlen valamely szín többszöri előfordulására.

Az alkalmazott Spektrális Tehetetlenségi Nyomaték (STN) fogalom

Az STN jelen munkában bevezetett új fogalom.

Az SFD-nél leírt színekocka tengelye legyen a $(0,0,0)$ és a $(255,255,255)$ pontokra illeszkedő egyenes. Az RGB-kocka i -edik egységkocka-középpontjának a tengelytől vett euklideszi távolságát jelölje r_i , a hozzá tartozó színű képpontok száma a vizsgált képen pedig legyen m_i . Ekkor a vizsgált digitális képhez rendelt spektrális tehetetlenségi nyomaték értékét a (2) kifejezés határozza meg.

$$\sum_i r_i m_i^2 \quad (2)$$

Ettől a funkcionáltól azt várjuk, hogy világosítás-sötétítés invarianciát mutasson.

Az alkalmazott Redukált Spektrális Konvex Burok Mérték (RSKBM)

Az RSKBM jelen munkában bevezetett új fogalom.

A vizsgált kép képpontjainak halmazából elhagyom azokat, melyeknek multiplicitása kisebb, mint 4. Tehetjük ezt abból a feltevésből, hogy a későbbiekben vizsgált 2×2 cm-es képek minden cm^2 -én elő kell fordulni minden jellemző színnek. Ezt követően a maradék pontok feszítette konvex burok által határolt tér térfogatát számítjuk.

Ettől a funkcionáltól azt várjuk, hogy egyfajta szín-kiterjedés korlátot reprezentáljon.

A 2. ábra egy képpont halmaz konvex burkának éleit szemlélteti a színekockában.

2. ábra

Egy képpont halmaz konvex burka

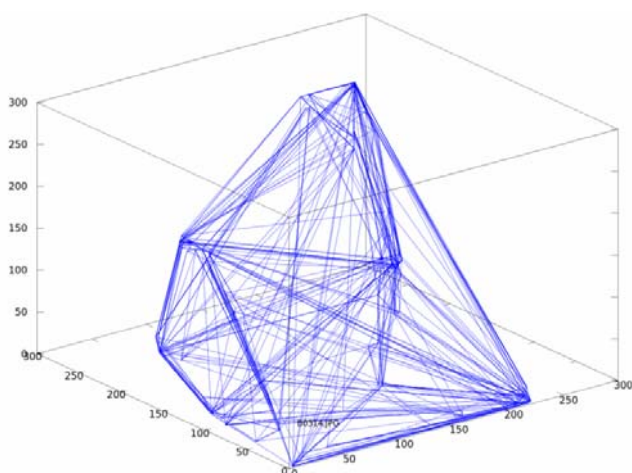


Figure 2: Convex hull of a set of pixels

Az alkalmazott Spektrális Távolság (ST2) fogalma

Az ST2 jelen munkában bevezetett új fogalom.

Tekintsünk két képet. A színek minden (i -edik) pontjához meghatározott az egyik, ill. a másik kép megfelelő színének a multiplicitása, nevezetesen, hogy hányszor szerepel a szín az illető képben. Legyenek ezek: n_i és m_i . Ekkor a két kép spektrális távolságát a kettes norma szerint a (3) összefüggés adja.

$$\sqrt{\sum_i (n_i - m_i)^2} \quad (3)$$

Valamely vizsgálandó (m_i értékekkel rendelkező) objektum esetén az ST2 szerinti mérést egy (n_i értékekkel rendelkező) referencia képhez viszonyítva végezzük.

Mérési körülmények

Eszközök

- Canon EOS 30 D digitális fényképezőgép,
- Canon EF-S 18-55 mm optikai lencse,
- Sigma EM-140 DG körvaku.

Paraméterek

- felbontás: MR: 2544×1696, 300×300 pixel.

Szoftverek

- MS Visual Studio.NET,
- MatLab.

Mintavételezés

- rögzített állványról történő fényképezés,
- 0,35m tárgytávolság,
- kivágott minták tárgymérete: 0,02m×0,02m,
- természetes fény kizárása.

Vizsgált burgonyafajták

- Katica (Kt),
- White Lady (WL).

A természetes megvilágítás melletti felvételezés digitális képei a fényerősség, valamint a napállástól, a légkör változó szóró és szűrő hatásából származó erős függést mutattak. Ennek kiküszöbölésére ajánlott Csák *et al.* (2010) természetes megvilágítású „standard” felvételezési környezetet, az ebben a vizsgálatban is alkalmazott „Mérési körülmények” pont szerint. Mint hogy a korábbi vizsgálatok a burgonyafajták SFD értékei szerinti elkülöníthetőségét célozták, ezért ebben a cikkben is a felvételezés tárgya burgonya, méghozzá szabad szemmel is könnyen megkülönböztethető a 3. és 4. ábra szerinti két fajta.

Csák *et al* (2010) kimutatta, hogy a minta felületének szögétől függ a digitális kép színösszetétele, ezért a fényképezés irányára közel merőleges rész kivágását alkalmaztuk, ezt érzékelteti az 5. és 6. ábra.

EREDMÉNYEK

Mérési bizonytalanság

Egy db Kt gumó 50-szer történő lefényképezésével nyert BMP és JPG képeinek SFD eloszlásait mutatja a 7. ábra.

3. ábra

Katica fajta



Figure 3: Katica

4. ábra

White Lady fajta



Figure 4: White Lady

5. ábra

Teljes gumó



Figure 5: Full tuber

6. ábra

A gumóból kivágott minta



Figure 6: The tubers cut sample

7. ábra

Egy Kt gumó 50 mért SFD értékének eloszlása

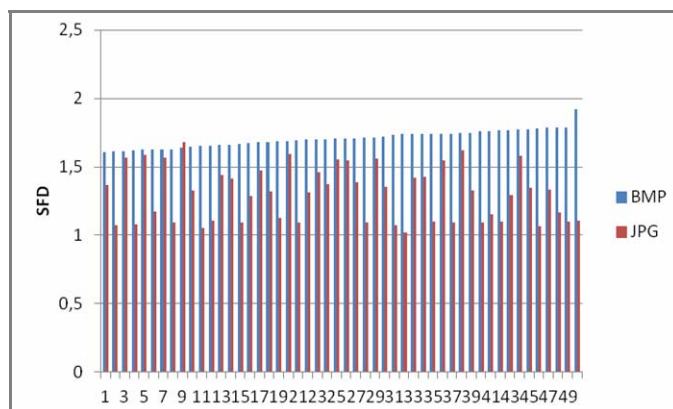


Figure 7: Measured at 50 K in a bulb SFD value distribution

Egy db Kt gumó 50-szer történő lefényképezésével nyert BMP és JPG képeinek STN eloszlásait mutatja a 8. ábra.

8. ábra

Egy Kt gumó 50 mért STN értékének eloszlása

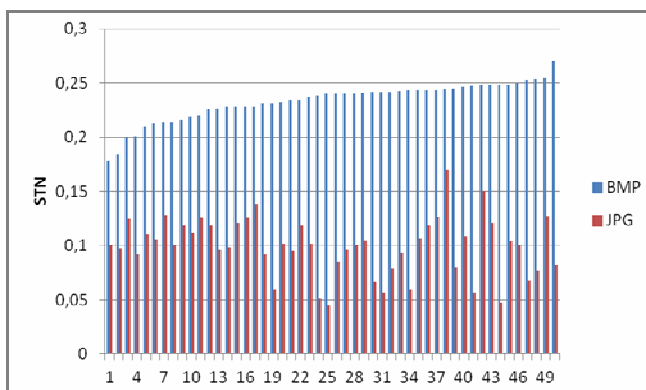


Figure 8: STN is a value measured at 50 K bulb distribution

A két grafikonból látható, hogy miközben a BMP képekhez rendelt funkcionálértékek viszonylag stabilak, eközben a rendre a velük párba állított JPG képek értékei hektikus viselkedést mutatnak, jóval nagyobb szórással.

Azonban egy tárgy ismételt felvételezésénél a BMP esetén is nagyobb pontosságot várnánk. Megvizsgálva a 7. ábra szerinti méréssorozat képeinek színszámát, az eredményt a 9. ábra szemlélteti.

9. ábra

Egy Kt gumó 50 mérésénél kapott színszámok eloszlása

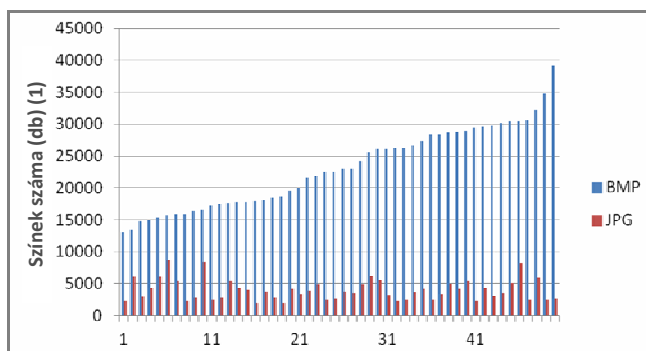


Figure 9: A tuber 50 K colors obtained when measuring the distribution of numbers

Number of Colors(1)

Vettük a 9. ábra szerinti méréssorozat BMP képei színszámának várható értékét, majd tekintettük az ehhez legközelebb álló két egymás melletti értéket produkáló két kép színeinek számát és viszonyát, ekkor a 10. ábra szerinti eredményt kaptuk.

10. ábra

Egyazon Kt gumó két BMP képek színszámai és viszonyuk



Figure 10: For a BMP image with two Kt tuber color numbers and their relationship

Only in the other image(1), Only in one of them(2), Common colors(3)

Az ugyanazon tárgyról készített két kép durva eltérése az jelenti, hogy mégsem jól standardizált a felvételezési környezet, szemben Csák *et al.* (2010) állításával. Feltételezhetően a legfőbb különbséget épp reprodukciót biztosítani hivatott körvaku okozza.

Funkcionálértékek eloszlása

A továbbiakban azt vizsgáljuk, hogy ez a mérési bizonytalanság hogyan hat a különböző alanyokra meghatározott funkcionálokra.

Az elemzés folyamatából emeljük ki három észrevételt:

A JPG képekhez rendelt funkcionálértékek a vizsgált három funkcionálnál jóval kisebbek, mint ugyanazon mintahalmazhoz tartozó BMP képek értékei (11. ábra), következésképp csak egyező formátumú képállományok összevetése lehet értelmes.

A különböző fajták funkcionál-értékei eloszlásának jellege markánsan eltérő lehet, amely meghatározóbb fajtajellemzőként funkcionálhat, mint pl. a várható érték (12. ábra).

A pontosabbnak gondolt BMP tárolás, és a még oly eltérő képpont-felhővel rendelkező két fajta esetén sem bízhatunk föltétlen a funkcionál-érték megkülönböztető jegyében (13. ábra).

11. ábra

50 elemes minta SFD érték gyakorisága

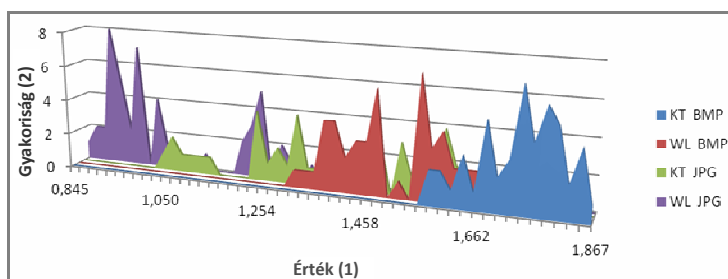


Figure 11: 50 SFD-element model is frequency

Value(1), Frequency(2)

12. ábra

50 elemes JPG minta RSKBM érték gyakorisága

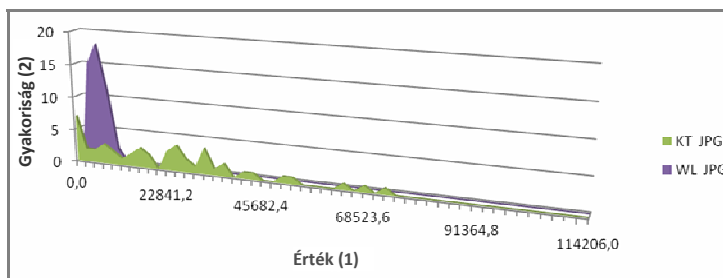


Figure 12: JPG 50-element sample frequency is RSKBM

Value(1), Frequency(2)

13. ábra

50 elemes BMP minta STN érték gyakorisága

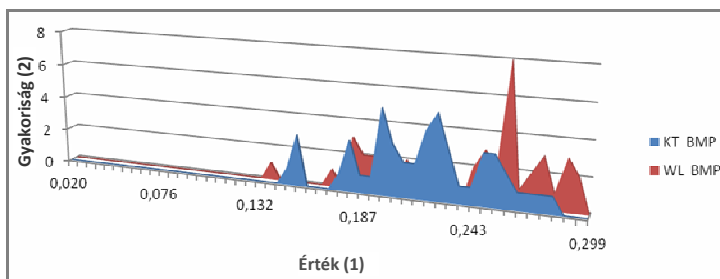


Figure 13: 50 BMP-element model is frequency STN

Value(1), Frequency(2)

Szeperáló érték keresése funkcionáloknál

Mint hogy - az előző pontban látott módon - az eloszlások átfedik egymást, nem lehet olyan értéket találni, melyhez viszonyítva egyértelműen eldönthető, hogy a mért minta melyik fajta-hoz tartozik. Azonban azt bármely értékhez meghatározhatjuk, hogy mekkora valószínűséggel határolja egyik oldalról az egyik fajta-t.

Ennek érdekében legyenek f és g olyan függvények, melyek a két mintasor vizsgált funkcionáljának várható értékei közötti tartományon vannak értelmezve a következők szerint: $f(x)$ értéke jelentse a kisebb várható értékhez tartozó minta x -nél kisebb funkcionálérték előfordulási valószínűségét; $g(x)$ értéke pedig jelentse a nagyobb várható értékhez tartozó minta x -nél nagyobb funkcionál-érték előfordulási valószínűségét.

Az SFD, STN, RSKBM mérésnél kapott f és g függvények grafikonjait a 14., 15., 16., 17., 18. és a 19. ábrák szemléltetik.

14. ábra

50 elemes BMP minta SFD szerinti f és g függvényei



Figure 14: 50 SFD pattern as BMP-element functions f and g

Probability(1)

15. ábra

50 elemes JPG minta SFD szerinti f és g függvényei

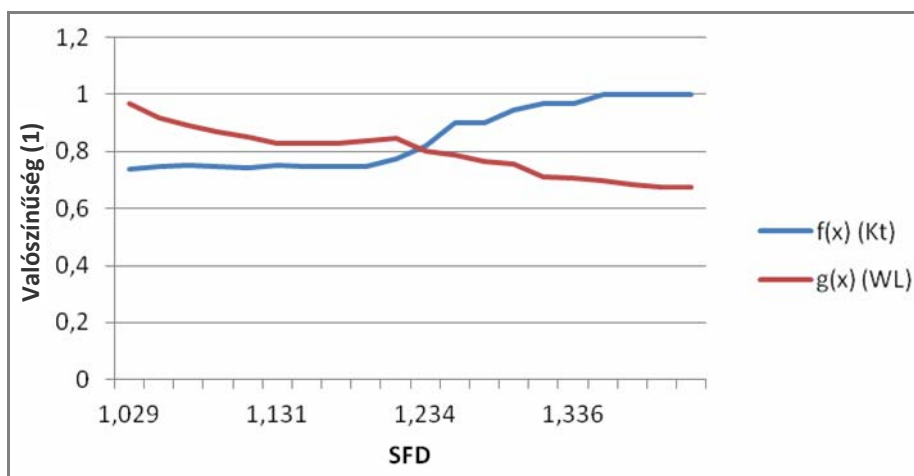


Figure 15: JPG 50-element model as SFD functions f and g

Probability(1)

16. ábra

50 elemes BMP minta STN szerinti f és g függvényei

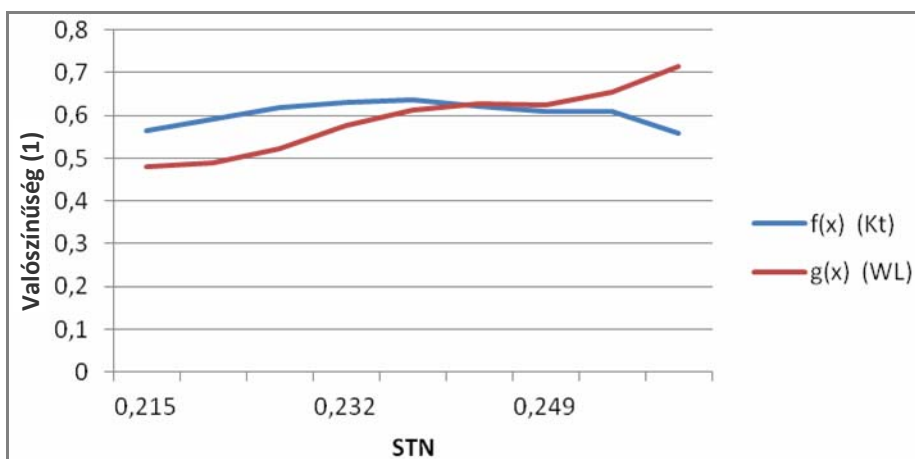


Figure 16: 50 BMP-element model according to STN functions f and g
 $Probability(1)$

17. ábra

50 elemes JPG minta STN szerinti f és g függvényei

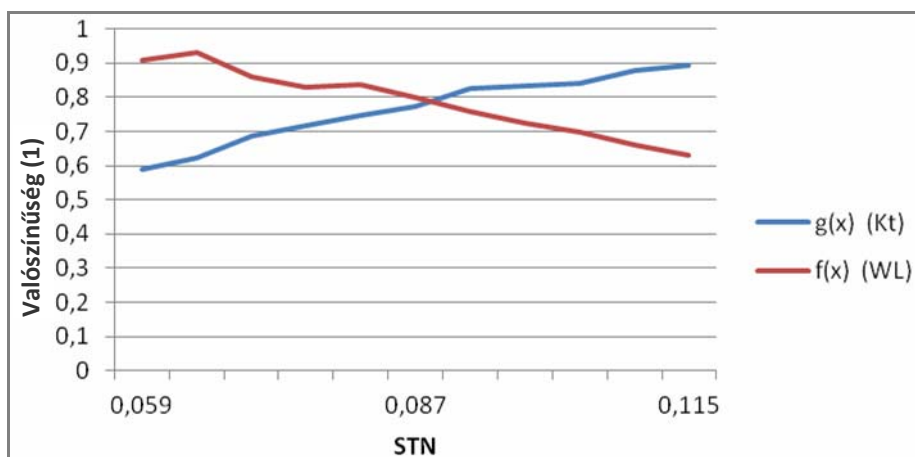


Figure 17: JPG 50-element model according to STN functions f and g
 $Probability(1)$

Meglepőnek tűnhet, hogy a JPG tároláshoz tartozó STN valószínűségek nagyobbak, mint a BMP formátumnál.

18. ábra

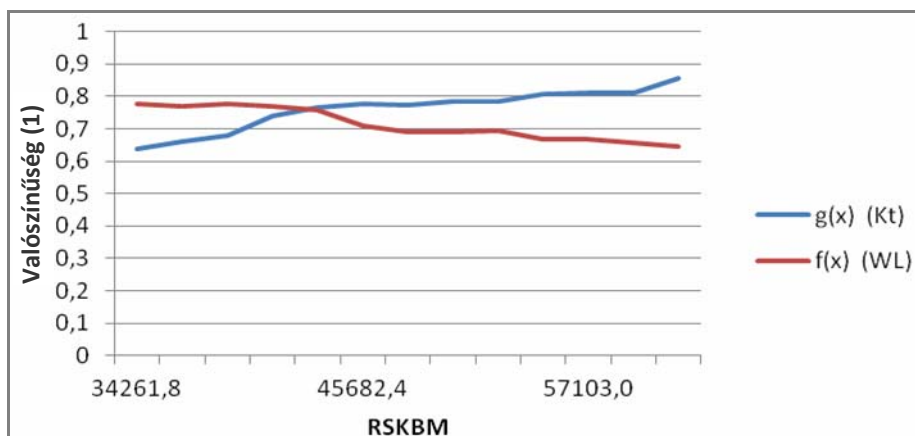
50 elemes BMP minta RSKBM szerinti f és g függvényei

Figure 18: 50 BMP-element model RSKBM the functions f and g
Probability(1)

19. ábra

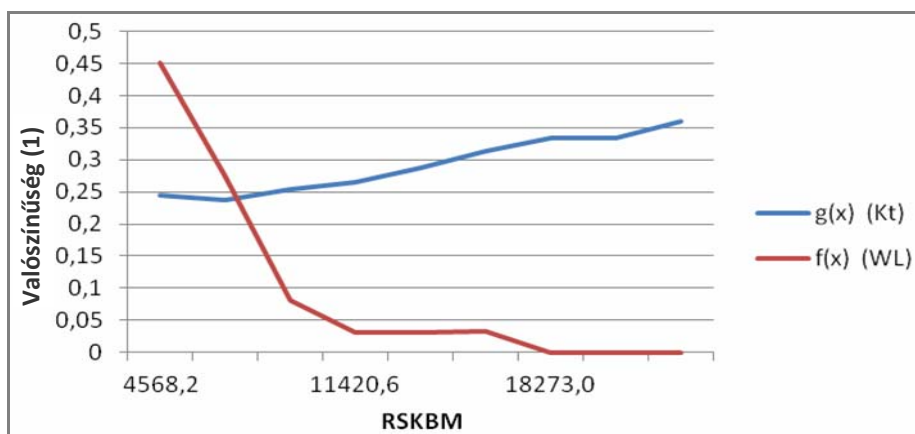
50 elemes JPG minta RSKBM szerinti f és g függvényei

Figure 19: JPG 50-element sample RSKBM the functions f and g
Probability(1)

Látható, hogy a JPG tárolás melletti RSKBM gyakorlatilag használhatatlan valószínűségi mutatókat produkál.

Az $f(x)$ és $g(x)$ függvények pontonkénti szorzata olyan függvényt eredményez, mely minden x változó értékhez megadja azt a valószínűséget, ami szerint az x -nél kisebb mért értékű egyed a kisebb várható értékű mintacsoportba tartozik és az x -nél

nagyobb mért értékű pedig a másikhoz. Az SFD, STN, RSKBM méréshez rendelt szeparáló függvényeket ábrázolják a 20., 21., 22. ábrák.

20. ábra

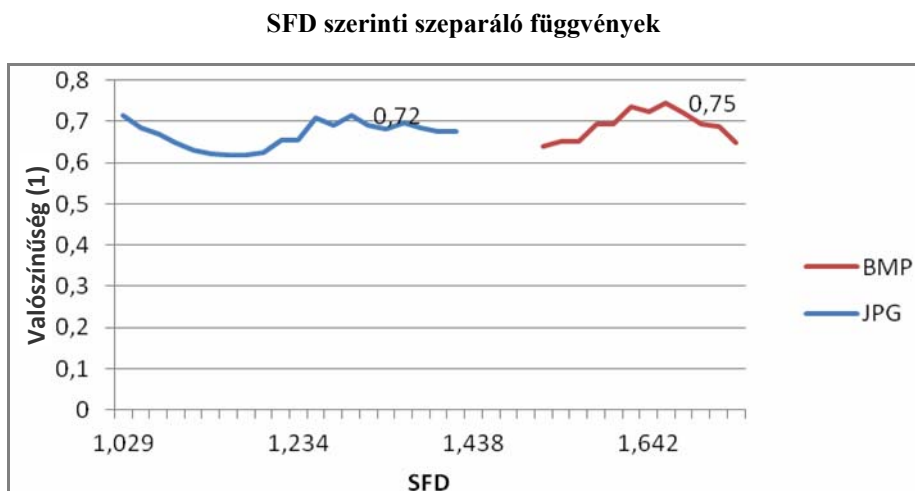


Figure 20: SFD by separating functions

Probability(1)

21. ábra

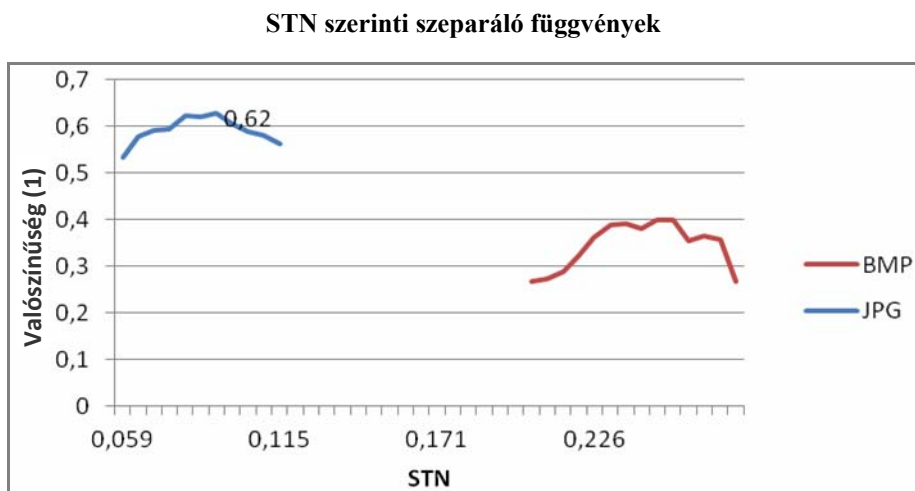


Figure 21: STN separating the functions

Probability(1)

Érdekes, hogy a JPG formátum jóval eredményesebb szeparációt biztosít STN esetén, mint a BMP.

22. ábra

RSKBM szerinti szeparáló függvények

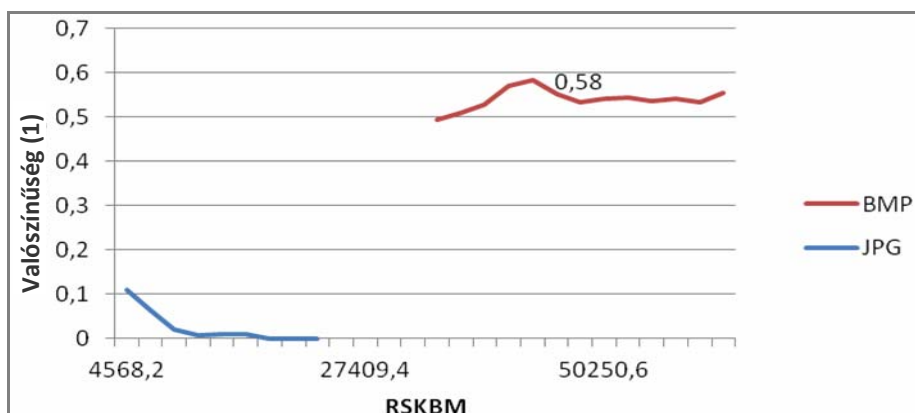


Figure 22: RSKBM by separating functions

Probability(1)

ST2 alapú szeparáló érték keresése

Rendeljük az 50 elemes Kt és WL mintákhoz az átlagképeket, amit úgy képezünk, hogy az egyes képek szinkocka-vektoraihoz rendelt multiplicitások - összes elemre vonatkozó - számtani közepét vesszük. Ehhez az átlag-, vagy referenciaképhez határozzuk meg a mérendő halmaz elemeinek ST2 távolságait.

Az előző pontban lefolytatott mérésekhez hasonlóan az ST2 esetében a 23. ábra szerinti szeparáló függvényeket nyerjük.

23. ábra

ST2 szerinti szeparáló függvények

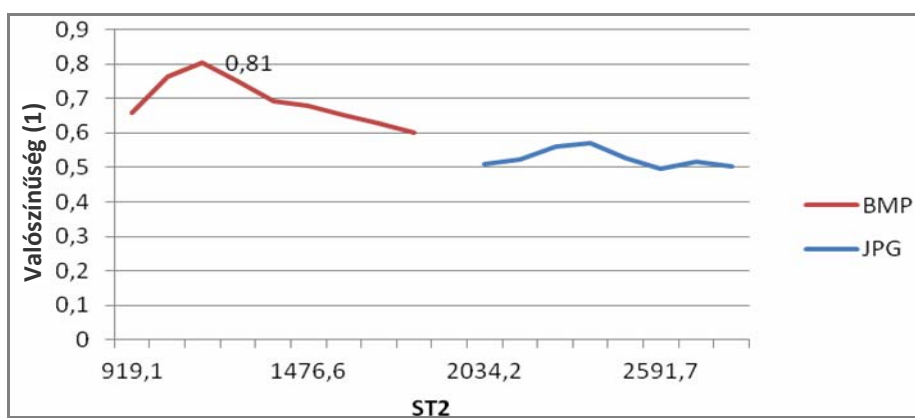


Figure 23: ST2 functions as a separator

Probability(1)

Látható, hogy az ST2 BMP tárolásnál a vizsgált három funkcionálnál jobb eredményt mutat.

Számításigények

A gyakorlati alkalmazhatóságnál különösen fontos szempont lehet az illető mutató meghatározásának ideje, ami döntően a műveletszámtól függ.

Műveletigények:

- RSKB: $O(n^3)$,
- SFD: $O(n^2 \log n)$,
- STN: $O(n)$,
- ST: $O(n)$.

KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatok kimutatták, hogy a tárgyalt funkcionálok szeparáló képességben elmaradnak az ST2 szerinti eredményektől, továbbá az RSKB és az SFD tekintetében rendkívül jelentős elemzési idő többlettel kell számolni az ST2-höz képest, ezért alkalmazásuk nem indokolt. Az ST2 alapú mérések során azonban nem skalár referenciaértéket készítünk és tárolunk, hanem egy, az etalon mintasor alapján képzett átlagvektort, melyhez képest mérjük a minősíteni kívánt egyed ST2 szerinti távolságát. A skalár referenciákhoz képest az ST2 referencia vektorának tárterület többletigénye a mai technológiai viszonyok között nem mérvadó. Az is megállapítható, hogy még a vizsgált három funkcionálnál minden tekintetben jobb ST2 81%-os szeparáló képessége sem kielégítő, ha azt tekintjük, hogy szemre is ennyire eltérő, két markánsan különböző színű fajtát mértünk. Megállapítható továbbá, hogy a definiált „standard felvételezési környezet”, ebben különösen az alkalmazott körvaku reprodukciós képessége nem kielégítő, ezért alkalmazása nem javallt.

IRODALOMJEGYZÉK

- Berke J. (2005): Spectral fractal dimension (Spektrális fraktáldimenzió). Proceedings of the 7th WSEAS Telecommunications and Informatics (TELE-INFO '05), Prague, 23-26. p. ISBN 960 8457 11
- Berke J. (2006): Measuring of Spectral Fractal Dimension (A spektrális fraktáldimenzió mérése). Advances in Systems, Computing Sciences and Software Engineering, Springer 397-402. p. ISBN 10 1- 4020-5262-6.
- Berke J. (2007): Measuring of Spectral Fractal Dimension (A spektrális fraktáldimenzió mérése). In: Journal of New Mathematics and Natural Computation, 3. 3. 409-418. p. ISSN: 1793-0057.
- Csák M., Hegedűs G. (2008): Az SFD mérésenként való alkalmazhatósága a burgonyanemesítési kutatásokban (The DFD opportunity of applicable in a potatoimprovement research), Acta Agraria Kaposváriensis 12. 2. 177-191. p.
- Csák M. (2010): Burgonyafajták minősítése, és a burgonyanemesítés informatikai rendszere.” (Fajtaazonosítás és - minősítés digitális képanalízis felhasználásával), Doktori disszertáció, Keszthely
- Hegedűs G. (2007): Spectral fractal dimension – invariant transformations and shifting rules (Spektrális fraktáldimenzió – invariáns transzformációk és eltolási szabályok) Erdei Ferenc IV. Tudományos Konferencia, Kecskemét, 2007. augusztus 27-28. II. kötet, 671-674. pp. ISBN 978 963 7294 65 5.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Hegedűs Géza

Pannon Egyetem, Georgikon Kar

8360 Keszthely, Deák F. u. 16.

Pannon University, Faculty of Georgikon

H-8360 Keszthely, Deák Ferenc u. 16.

Tel.: 36-83-545-272, Fax: 36-83-545-273

e-mail: hegedus@georgikon.hu



Képfeldolgozási módszerek alkalmazása kajszimagok morfológiai tulajdonságainak leírására

Felföldi¹ J., Firtha¹ F., Hermán² R., Pedryc² A.

¹ Budapesti Corvinus Egyetem, Fizika-Automatika Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út, 29-43.

² Budapesti Corvinus Egyetem, Genetika és Növénynevelés Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út, 29-43.

ÖSSZEFOGLALÁS

A különböző kajszifajták magjának vizuális jellemzői (alak, felületi mintázat, szín) sokkal nagyobb változatosságot mutatnak, mint más gyümölcsfajok esetében. Ez a variabilitás érzékszervileg könnyen megfigyelhető, de nehezen írható le objektív, kvantitatív módon. A széles körben elfogadott nemzetközi módszer (UPOV) referencia-fajtákkal való összehasonlításon alapul. Az eredményt egy erre a célra kialakított pontrendszerben adhatjuk meg. Az információ, amit ez a rendszer szolgáltat, nem elégséges a fajta azonosításához, de két mintahalmaz megkülönböztetéséhez jól használható. Kutatómunkánk célja a magok morfológiai leírására alkalmas kvantitatív módszerek kifejlesztése volt. A statisztikailag validált objektív leíró paramétereket morfológiai markerként használhatjuk a fajták azonosításában, vagy genetikai elemzéseknél, anélkül, hogy más – referencia – fajtákkal való összehasonlításra kellene támaszkodnunk. A hagyományos módszerek csak a legegyszerűbb geometriai jellemzők (mint a hossz, szélesség, vastagság) meghatározását teszik lehetővé. A különböző fajtáknál megjelenő speciális tulajdonságok azonban sokkal összetettebb alakjellemzőkhöz kapcsolódnak. Számítógépes látórendszert és képfeldolgozási módszereket alkalmaztunk 6 – mintaként kiválasztott – kajszifajta magjainak vizsgálatához, a vizuális tulajdonságok rögzítéséhez, gyors és automatikus lényegkiemeléshez és új, kvantitatív alakjellemzők meghatározásához. A kifejlesztett módszerekkel a vizsgált fajták körében 100%-os szétválasztási hatékonyságot értünk el.

(Kulcsszavak: képfeldolgozás, alakjellemzők, morfológia, kajszimag, fajta-azonosítás)

ABSTRACT

Characterization of Morphological Properties of Apricot Stones by Image Processing

J. Felföldi¹, F. Firtha¹, R. Hermán², A. Pedryc²

¹CorvinusUniversity of Budapest, Department of Physics and Control, H-1118 Budapest, Villányi út, 29-43.

²CorvinusUniversity of Budapest, Department of Genetics and Plant Breeding, H-1118 Budapest, Villányi út, 29-43.

The morphological characteristics of the apricot stones of different cultivars show much higher variability, as it is typical in case of other fruit species. The variety of forms is easy to observe sensorially (directly or using a reading-glass), however it's hard to describe exactly, in a quantitative way. The widely accepted international standard (UPOV) is based on comparison with standard cultivars, the results are given in a special point system, developed for this purpose. The information, provided by this evaluation system is not suitable for identification of the cultivars, but it can be used for distinguishing two sample sets. The aim of our research work was to develop quantitative methods for

description of the stones. The statistically validated quantitative parameters offer the possibility of applying them as morphological markers for identification of the cultivars or for other genetic analyses without leaning on any standard samples as references. The traditional measurement methods are able to determine only the simplest geometrical parameters of the samples (such as length, width or thickness). However, the special characteristics, connected to the different cultivars, are related to much more complex shape parameters. Computer based machine vision system and image processing was applied for quick, automatic shape feature extraction and determination of new, quantitative shape parameters to characterize stones of 6 tested cultivars.

(Keywords: image processing, shape characteristics, morphology, apricot stone, cultivar identification)

BEVEZETÉS

A kajsz az egyik legízletesebb és legpiacképesebb gyümölcsünk. A gyümölcsöt mind friss, mind szárított formájában fogyasztjuk, de a konzerviparban is fontos alapanyag a gyümölcsíz, illetve velő készítésében. Párlatokat és gyümölcsborokat egyaránt készítenek a termesztett és a nem-háziasított kajsziból Európa és Ázsia számos országában (Joshi et al., 1990; Genovese et al., 2004). Az első botanikai közleményekben a *Prunus armeniaca* L. fajtáinak és a taxonómiailag rokon fajoknak a leírása és megkülönböztetése alapvetően a levél alakján és szőrözöttségén alapult, ami nem mindig nyújtott elegendő információt. 1916-ban Bailey is ilyen rendszert ír le, amelyben a fajok és fajták azonosítása a levél-tulajdonságokon alapult. Kínai kutatók szintén főként a levél jellemzőit vették alapul az országukban megtalálható nagy változékonyságot mutató kajszai populációk leírása során (Hou, 1983). Rehder a termő szőrözöttségét figyelembe véve tett különbséget kajszibarack és szilva fajták között (Rehder, 1940). Megfigyeléseiben a szilvafajták termőit nem borította szőr, míg a kajszai esetében eltérő mértékű szőrözöttséget tapasztalt. Egyre fontosabbá válik azon tulajdonságok tanulmányozása, amelyek alapján a fajták és a taxonómiailag rokon fajok között különbségeket tudunk detektálni, ezek alapján osztályozhatjuk őket és felhasználhatjuk a nemesítésben is (Asma és Ozturk, 2005; Badenes et al., 1998).

A kajszibarack más gyümölcsfajoktól eltérően, jelentős variabilitást mutat a mag egyes morfológiai bélyegeinek tekintetében. Szabad szemmel vagy nagyítóval megfigyelt formagazdagság ugyanakkor egzakt módon nehezen írható le. Az általánosan elfogadott, nemzetközi szabvány (UPOV, 2008; IPGRI, 1980) a standard fajtákkal való összehasonlításon alapul, az eredményeket pedig az erre a célra kialakított pontrendszerben fejezik ki. Az így nyert információ önmagában nem elegendő a fajták azonosítására, de arra alkalmas, hogy különbséget lehessen tenni a két adott minta között.

Kutatásaink célja olyan mag leírási módszer kidolgozása, amely az objektív, számszerű, matematikai-statisztikai – összefüggéseket alkalmazza. Az így nyert eredmények önállóan, az összehasonító fajta nélkül morfológiai markerként használhatók fajtaazonosításra, illetve más genetikai elemzéseknél.

A hagyományos mérési módszerek csak a minták legegyszerűbb geometriai jellemzőit képesek meghatározni (mint a hosszúság, szélesség, vastagság). A különböző fajtákra jellemző speciális tulajdonságok azonban jóval komplexebb alakjellemzőkhöz kapcsolódnak. Munkánkban számítógépes látórendszert és képfeldolgozási módszereket alkalmaztunk az alaktulajdonságok gyors és automatikus kinyerésére és új, kvantitatív alakjellemzők bevezetésére és mérésére.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatok alapja a Budapest Corvinus Egyetem, Genetika és Növénynevelés Tanszék gyűjteménye volt, ami kb. 300 mag-minta készletet tartalmaz (az összes magyar fajta mellett a fontosabb külföldi fajtákat és a genetikai elemzésekhez szükséges hibrid családokat). Az egyes fajtákat 14-20 mag-minta reprezentálja. A módszerek fejlesztéséhez hat – morfológiailag határozottan elkülönülő – hibrid mintát választottunk (1. ábra).

1. ábra

A vizsgált hibrid fajták magmintái



Figure 1: Sample stones of the tested apricot varieties

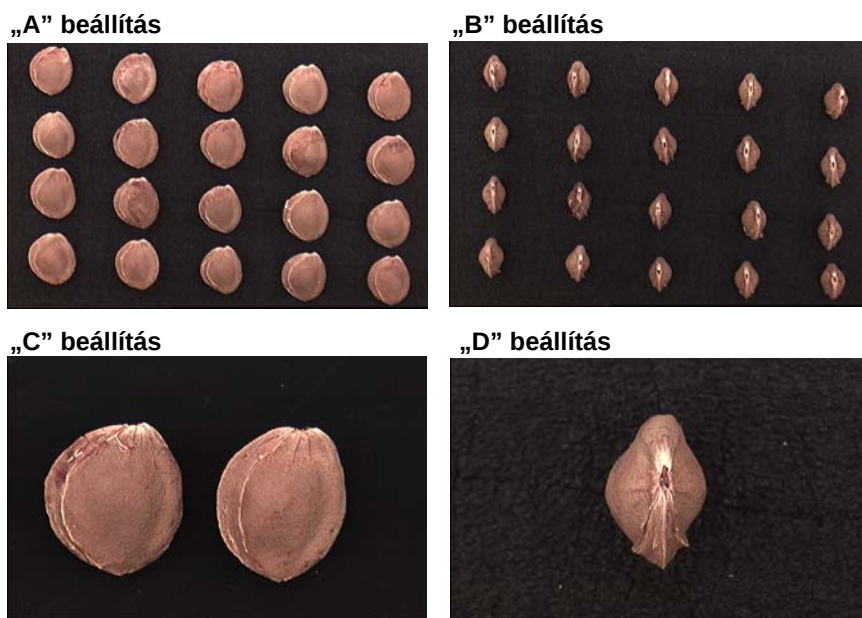
A digitális felvételeket egy Hitachi HV-C20 3-chipes ipari CCD kamerával készítettük el. A kamerát kép-digitalizáló interfésszel illesztettük egy PC-hez. A rögzített felvételeket 768×576 pixel felbontású, valós színű bitmap fájlokban tároltuk a későbbi adatfeldolgozáshoz. A felvételek elkészítésénél speciális diffúz megvilágító rendszert alkalmaztunk, amelyben a mintákat kizárólag visszavert, szórt fény világítja meg. A képeket valamennyi mintáról 4 különböző elrendezésben vettük fel (2. ábra).

A rögzített képek elemzését a Budapesti Corvinus Egyetem Fizika-Automatika Tanszékén erre a célra kifejlesztett „FFImgPro” programmal végeztük el. A program a kép intenzitás-hisztogramjának elemzése alapján (Firtha, 2007) elválasztja a háttértől a vizsgált objektumokat, meghatározza és fájlba írja azok területét, átlagszínének RGB színösszetevőit. Az alakelemzéshez megállapítja és tárolja az objektumok körvonal-pontjainak koordinátáit. A kvantitatív alakjellemezést ez utóbbi adatok alapján a „Shape” programmal végeztük el (3., 4. ábra). A program a következő geometriai jellemzőket határozza meg:

- l: a mag hosszúsága,
- d: a legnagyobb szélesség,
- e: a legnagyobb szélesség pozíciója a hossz tengely mentén.

2. ábra

Képfelvételi elrendezések



„A” beállítás: magok oldalnézetben – hibridenként 14-20 mag egy képen, „A” setup: side view of the stones – 14-20 samples of the variety on an image; „B” beállítás: magok felülnézetben - hibridenként 14-20 mag egy képen, „B” setup: top view of the stones – 14-20 samples of the variety on an image; „C” beállítás: hibridenként 2-2 példányról oldalnézetben kinagyítva (a felület textúrájához kapcsolódó módszertani vizsgálatokhoz), „C” setup: magnified side view of 2-2 samples/variety (for the methodological investigations of the surface pattern; „D” beállítás: hibridenként 1-1 példányról felülnézetben kinagyítva (a magok oldalán elhelyezkedő képződmények, a “tarajok” szerkezetéhez kapcsolódó módszertani vizsgálatokhoz), „D” setup: magnified top view of 1-1 samples/variety (for the investigations of the crest-like formation of the stones;

Figure 2: Image recording setups

Az adatokat képpont-számban, vagy – kalibrálás után – mm-ben fejezi ki. A képfeldolgozási módszer előnyeként új, objektív és kvantitatív alakjellemzőket is meghatározhatunk az alak-adatok elemzésével. Esetünkben az objektumok fő szimmetria-tulajdonságaihoz leginkább kapcsolható periodicitás-jellemzőket kapcsoltuk be a vizsgálatba. Ezek a mérőszámok az ún. „Fast Fourier Transform” (FFT) algoritmussal határozhatóak meg és az egyes komponensek konkrét szimmetriákhoz köthetők, pl.:

- FFT2: elliptikus alak,
- FFT3: háromszög-szerű alak,
- FFT4: négyszög-szerű alak, ...

Színjellemzésre az átlagos R, G, B (Red – vörös, Green – zöld, Blue – kék) színek komponenseket használtuk.

A statisztikai elemzést (Variancia-analízis, Diszkriminancia-analízis, Szűcs, 2002) az adatfájlok alapján végeztük el Microsoft Excel 2003, illetve SPSS for Windows (Ver. 10.0) programban.

3. ábra

Az 1. hibrid vizsgált egyedeinek (20 db) körvonalai és a hibridre jellemző átlagalak

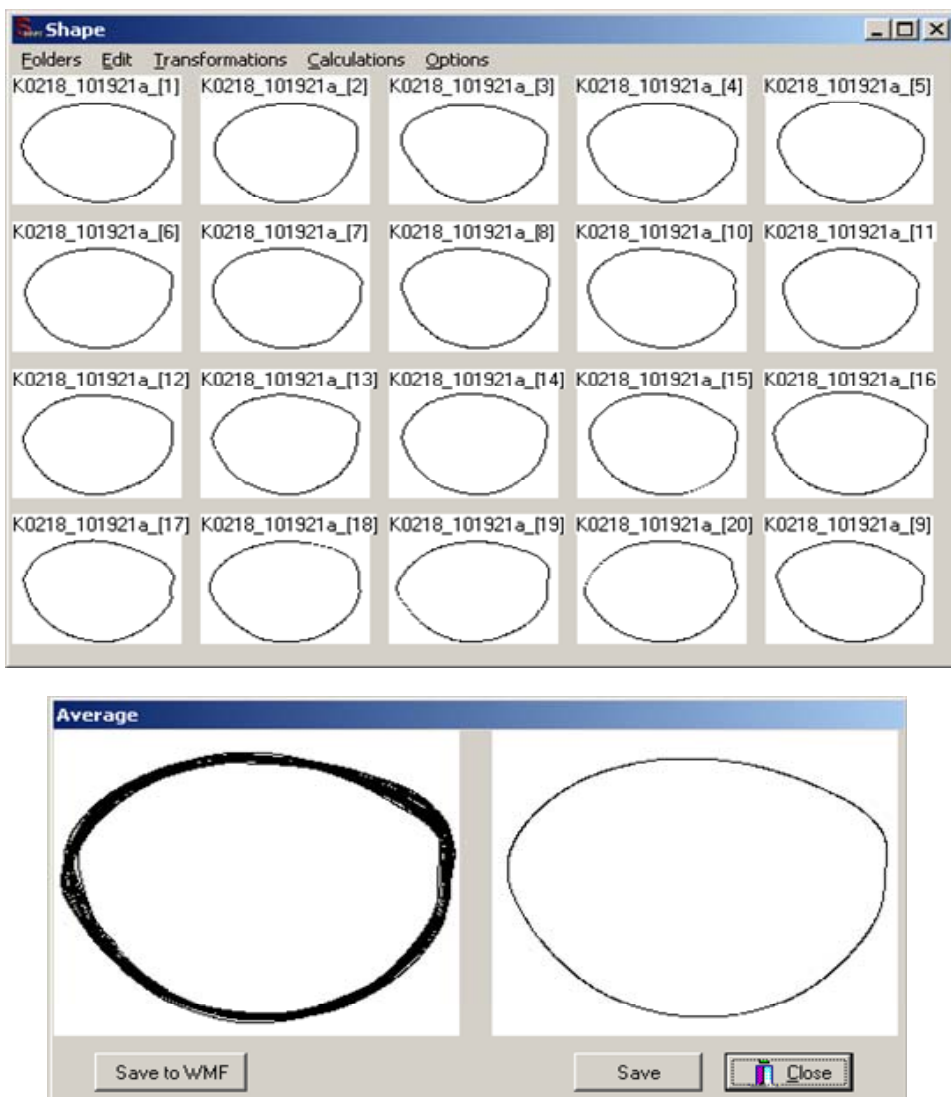


Figure 3: Outlines of the samples of 1st hybrid (20 pieces) and averaged outline, characteristic for the hybrid

4. ábra

A hibridek magjának körvonalai és az adott hibridre jellemző átlagalakok

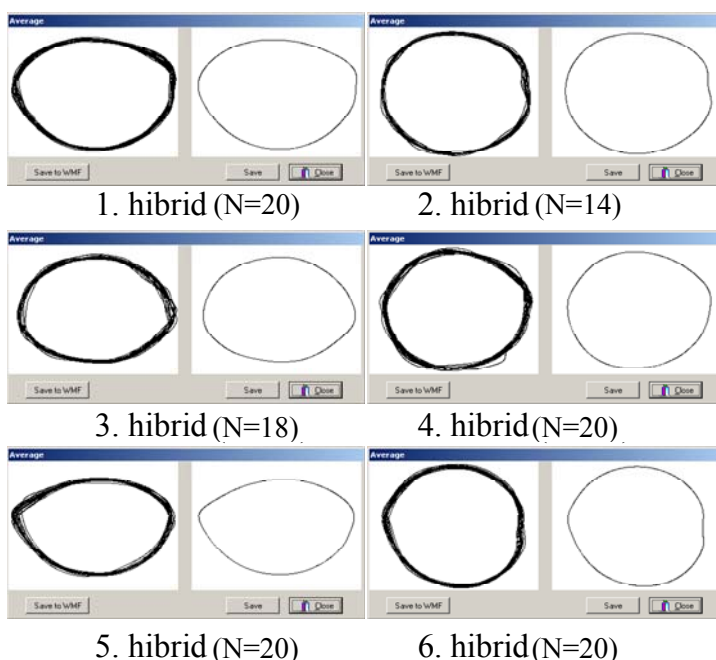


Figure 4: Averaged outlines of the tested hybrids

EREDMÉNYEK

ANOVA

A minták hosszúságának és szélességének statisztikai jellemzésére egytényezős variancia-analízist végeztünk. Ezek az adatok önmagukban nem elegendőek a hibridek egyértelmű elkülönítéséhez. Az eredmények szemléltetésére az átlagértékeket és azok 95%-os konfidencia-intervallumait ábrázoltuk grafikonon (5. ábra).

Diszkriminancia-analízis több változó bevonásával

1. A hosszúság és szélesség diszkriminancia-analízise alapján a 2. hibrid és az 5. hibrid 100 %-osan elkülönül egymástól, még a másik négy hibridet nem tudtuk elkülöníteni (6. ábra).
2. Az alakjellemzők diszkriminancia-analízise. Az analízis elvégzéséhez felhasználtuk a minták közvetlen geometriai jellemzőit, valamint az ún. „Fast Fourier Transform” (FFT) algoritmussal meghatározható mérőszámokat. Ebben az esetben 4 hibridet (1., 2., 5. és a 6.) 100%-osan el tudtunk különíteni, de 2 tétel még mindig nem volt elkülöníthető (7. ábra).
3. Az alak- és színjellemzők diszkriminancia-analízise. A vizsgálatban az alakjellemzők mellett az átlagszín adatok is szerepeltek. Ezen változók elemzése lehetővé tette az összes vizsgált hibrid minden magjának pontos azonosítását (8. ábra).

5. ábra

**A hibridek hosszúságának (a) és legnagyobb szélességének (b)
konfidencia-intervallumai**

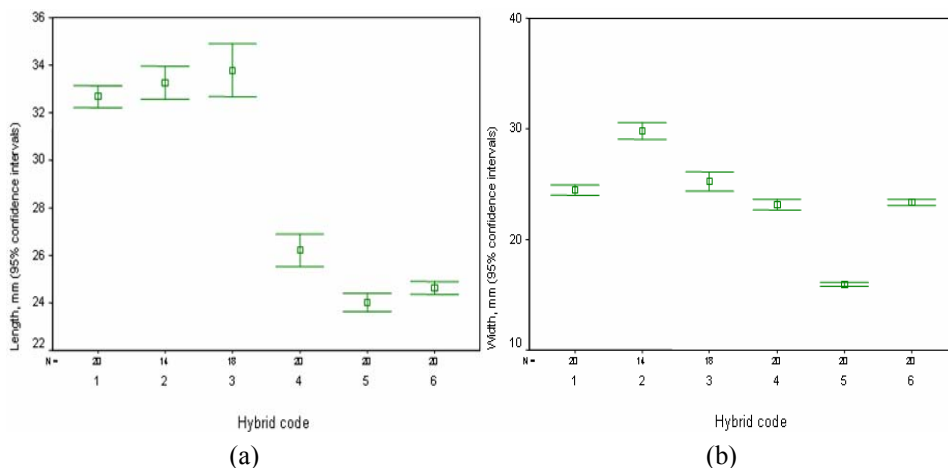


Figure 5: Confidence intervals of length (a) and width (b) parameters of the hybrids

6. ábra

**A vizsgált hibridek elkülönítése
a hosszúság és szélesség diszkriminancia-analízise alapján
(DA1 és DA2 a kanonikus diszkriminancia-függvények)**

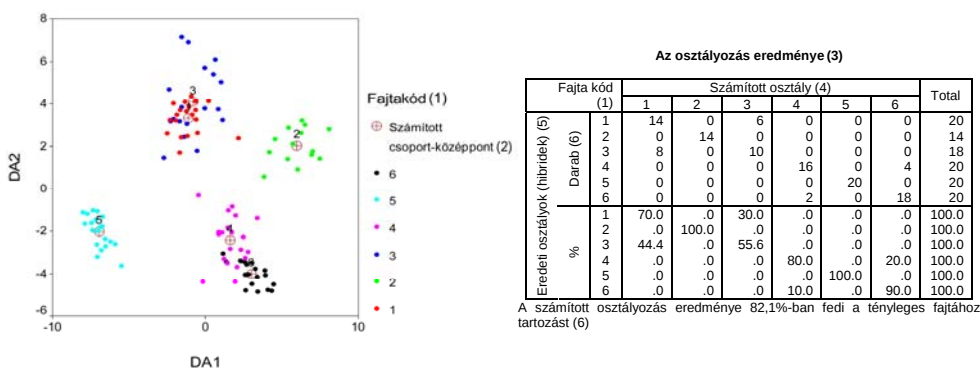


Figure 6: Separation of the tested hybrids according to Discriminant Analysis of their length and width parameters (DA1 and DA2: canonical discriminant functions)

Hybrid codes(1), Calculated group centers(2), Result of the classification(3), Predicted class(4), Original class(5), Pieces(6), The prediction efficiency was 82.1%(7)

7. ábra

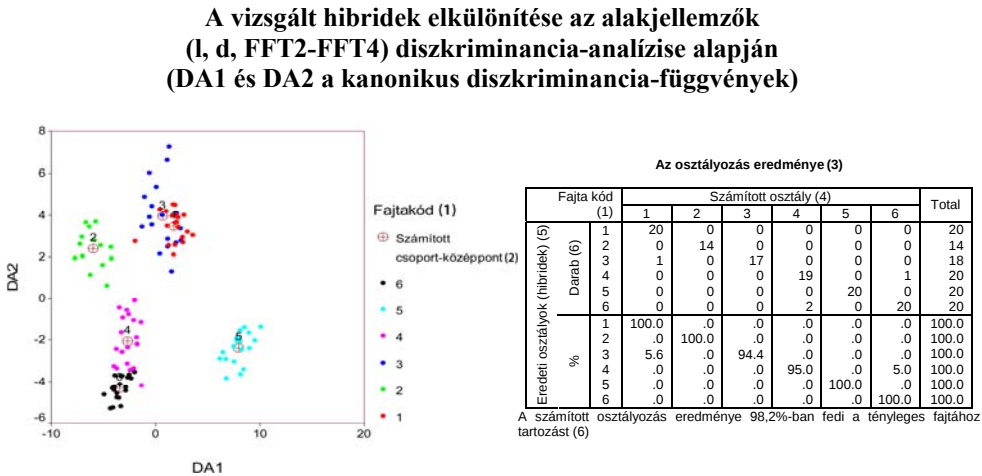


Figure 7: Separation of the tested hybrids according to Discriminant Analysis of their shape characteristics (DA1 and DA2: canonical discriminant functions)

Hybrid codes(1), Calculated group centers(2), Result of the classification(3), Predicted class(4), Original class(5), Pieces(6), The prediction efficiency was 98.2%(7)

8. ábra

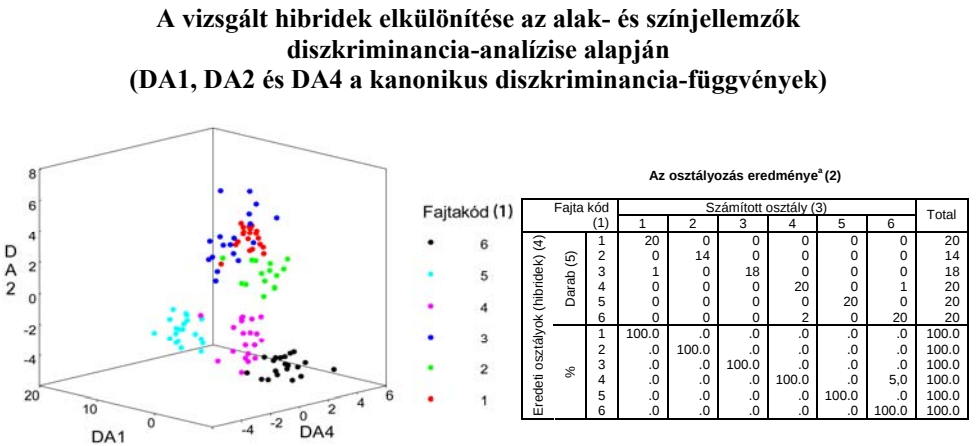


Figure 8: Separation of the tested hybrids according to Discriminant Analysis of their shape and colour characteristics (DA1, DA2 and DA4: canonical discriminant functions)

Hybrid codes(1), Result of the classification(2), Predicted class(3), Original class(4), Pieces(5)

A végső modellben a bemeneti változóként használt méret (l, d), alak (FFT2, FFT3, FFT4) és színjellemzők (R, G, B) közül a következő paraméterek bizonyultak

szignifikánsnak a lépésenkénti („stepwise”) diszkriminancia-analízis eredménye szerint (zárójelben az egyes paraméterek súlyát kifejező F-érték):

- FFT2 (331),
- l (279),
- R (174),
- B (177),
- d (135),
- FFT3 (113).

A további céljaink között szerepel több, kevésbé eltérő magtétel vizsgálata. Ehhez a munkához az alak- és színjellemzők mellett a nagy változékonyságot biztosító felület textúrájának, valamint a magok oldalán elhelyezkedő képződmények – tarajok - számának, nagyságának és elhelyezkedésének számszerű leírását és statisztikai elemzését tervezzük felhasználni (9. és 10. ábra).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR/-2010-0005 projekt támogatta.

9. ábra

A kajsziarackmag tarajainak számítógépes ábrázolása

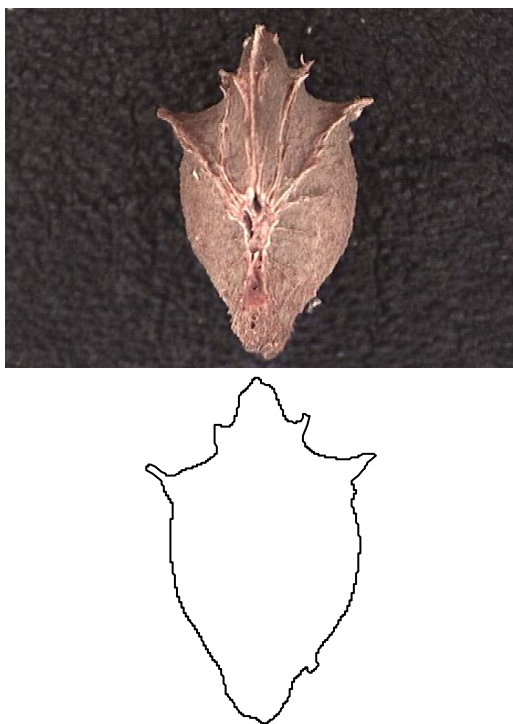


Figure 9: Machine vision representation of the crest-like formation on the side part of the stones

10. ábra

A hat hibrid felületi érdességének számszerűsítése felületi mozgóátlaghoz viszonyított szórás (s) számításával

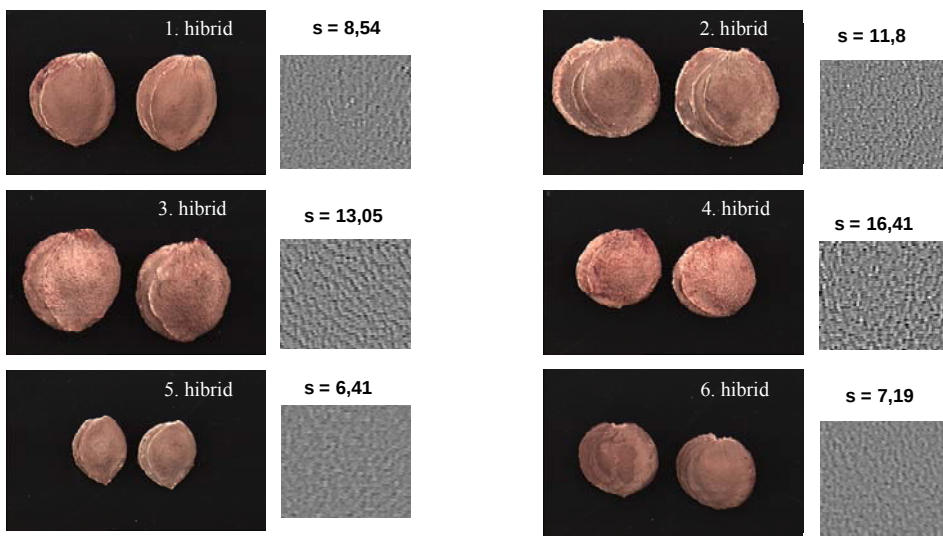


Figure 10: Quantitative description of the surface texture (roughness) of the tested hybrids based on standard deviation of the equalised grayscale surface image

IRODALOM

- Asma BM, Ozturk K (2005): Analysis of morphological, pomological and yield characteristics of some apricot germplasm in Turkey. *Genet Resour Crop Evol* 52. 305–313. p.
- Badenes ML, Martínez-Calvo J, Ll'acer G (1998): Analysis of apricot germplasm from the European ecogeographical group. *Euphytica* 102. 93-99. p.
- Bailey LH (1916): *Prunus*. In: The standard cyclopedia of horticulture, 5. P-R. Mount Pleasant Press, J. Horace McFarland Co., Harrisburg, PA, 2822–2845. p
- Firtha F (2007): Digitális képfeldolgozás, hiperspektrális mérési módszer. In: Balla Csaba, Síró István(szerk): Élelmiszer-biztonság és minőség III. Fogyasztóvédelem és élelmiszervizsgálat. Mezőgazda Kiadó : Budapest. 296-301. p.
- Genovese A, Ugliano M, Pessina R, Gambuti A, Piombino P, Moio L (2004): Comparison of the aroma compounds in apricot (*Prunus armeniaca* L. cv Pellecchiella) and apple (*Malus pumila* L. cv Annurca) raw distillates. *Ital J Food Sci* 16. 185–196. p.
- Hou HY (1983): Vegetation of China with reference to its geographical distribution. *Ann Missouri Bot Gard* 70. 509–548. p
- IPGRI (1980): International Plant Genetic Resources Institute: List of descriptors for apricot (*Prunus armeniaca* L.). EUCARPIA meeting on Tree Fruit Breeding, Angers, France, 3-7 September 1979.

- Joshi VK, Bhutani VP, Sharma RC (1990): The effect of dilution and addition of nitrogen source on chemical, mineral and sensory qualities of wild apricot wine. *American J Enol Vit* 41. 229–231. p.
- Rehder A (1940): *Manual of cultivated trees and shrubs hardy in North America, exclusive of the subtropical and warmer temperate regions*, 2nd revised and enlarged edition. Macmillan, New York, NY, USA
- Szűcs I. (2002). *Alkalmazott statisztika*, Agroiinform Kiadó, Budapest
- UPOV (2008): *Protocol for Distinctness, Uniformity and Stability Tests: Apricot*. Community Plant Variety Office. CPVO-TP/070/2 Final

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Felföldi József

Budapesti Corvinus Egyetem, Fizika-Automatika Tanszék

1118 Budapest, Somlói út 14-16.

Corvinus University of Budapest, Department of Physics and Control

H-1118 Budapest, Somlói út 14-16.

Tel.: 36-1-482-6205

e-mail: jozsef.felfoldi@uni-corvinus.hu



Tájékozódást segítő funkciók okostelefonokon

Ureczky B.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék
1117 Budapest, Magyar Tudósok körútja 2. QB-207.

ÖSZEFoglalás

A térinformatika egyik fő alappillére a pontos térkép. A geodézia, vagy más néven földmérés, a Föld felszínén levő természetes alakzatok és mesterséges objektumok alakjelző pontjainak meghatározásával foglalkozó tudomány. Hasonló mérések szükségesek egy gyalogos tájékozódás során is, ahol saját helyzetünket, vagy más objektumok helyzetét szeretnénk bemérni előremetszés, oldalmetszés, hátrametszés segítségével, de szükség lehet magasságmérés és távolságmérésre is háromszögelés segítségével. Az okostelefonok képességeit kihasználva dolgoztam ki egy tájékozódást segítő eljárást, melyben a telefon GPS-e, tájolója, g-szenzora, kamerája és érintőképernyője segítségével végezhetünk különféle méréseket. Ráadásul mindezeket felhasználóbarát módon, azaz nem szükséges a fent említett eszközök és módszerek pontos ismerete: egy megközelíthetetlen objektum térképen való azonosításához például elegendő 2-3 ismert helyről lefényképezni és a képeken bejelölni a bemérendő helyet. A cikkben ismertetésre kerülnek a fent említett eljárások, eszközök, valamint a tájékozódást segítő alkalmazás.

(Kulcsszavak: térinformatika, geodézia, GPS, okostelefon, Android)

ABSTRACT

Orienteering techniques on smartphones

B. Ureczky

Budapest University of Technology and Economics, Department of Automation and Applied Informatics
H-1117, Budapest, Magyar tudósok körútja 2. QB-207.

A main keystone of geoinformatics is an accurate map. Geodesy, also known as geodetics is a science about measuring the well-defined points of natural shapes and artificial objects on the surface of the Earth. These measurements can also be useful during orienteering technique, where we would like to determine our position or other objects' position. I would like to introduce an orienteering helper application, where we use the mobile phone's GPS, compass, g-sensor, camera, touch screen for measurements. Additionally, in a user-friendly way, so we do not have to know the above instruments' exact functionalities. For example, the only thing we have to do to localize an unknown point is just take some pictures from some well-known place and mark the place on the pictures. In this article the above devices, techniques and the orienteering helper application is going to be introduced.

(Keywords: geoinformatics, geodesy, GPS, smartphone, Android)

BEVEZETÉS

Számítógép és telefon: két különböző célra használt eszköz, eltérő funkciókkal és mérettel. Manapság viszont a számítógépek egyre kisebbek lesznek azonos tudás mellett (ld. PC –

notebook – netbook – tablet), a telefonok pedig egyre több funkcióval rendelkeznek, egyre „okosabbak” és nagyobbak lesznek.

Okostelefon-nak, vagy *smartphone*-nak azokat a telefonokat hívjuk, amelyek fejlettségükben megközelítik a számítógépek által nyújtott teljesítményt és több technikai újítással rendelkeznek a szokványos telefonokhoz képest, mint például az érintőképernyő, kamera, WiFi, GPS, A pontos definíció azonban többféleképp is megfogalmazható és valamennyire folyamatosan változik is a technika fejlődésével, hiszen egy mai alsó kategóriás telefon pár éve még felső kategóriába lett volna sorolva. A mostani eljárás szempontjából az alábbi tulajdonságokat helyeztük előtérbe:

- *Processzor*: A mai telefonprocesszorok számítási képessége meghaladja a régebbi évek laptopjainak teljesítményét. Órajelük már a GHz-es tartományba esik és már nem ritka a többmagos processzor sem. Az okostelefonok ma már az egyszerű, alapfunkciókon kívül tetszőleges, általános célú számításokra is alkalmasak.
- *Nagyfelbontású kamera*: Megfelelő megvilágítási viszonyok között fényképezőgép minőségben fényképezhetünk, rögzíthetünk videót, de az élőképet *realtime*, azaz valós időben is eredményesen feldolgozhatjuk a telefonra írt alkalmazásokban.
- *Szenzorok*: Egyre több érzékelőt tudnak használni minőségben belezúfolni egy telefonba, ami nagyban növeli az alkalmazási lehetőségeket, így a GPS, gyorsulás érzékelő és tájoló már alaptartozékként tekinthető. A *Windows Phone 7*-es operációs rendszer például már követelményként fogalmazza meg ezen eszközök jelenlétét.
- *Érintőképernyő*: Sokak számára ez a technológia jelenti az okostelefont, habár ez csak a beviteli módot jelenti. Két fajtája van, a *rezisztív* (*stylus*-sal, azaz kis pálcikával, vagy körömmel vezérelhető nyomásérzékelő felület) és *kapacitív* (ujjal vezérelhető) érintőkijelző. A rezisztív kijelzők nagyon pontosan vezérelhetőek, de természeténél fogva mégis a kapacitív érintőképernyők az elterjedtebbek mára, hiszen nincs szükség a *stylus*-ra, érintéssel vezérelhető. Alapvetően nehezebb pontos műveleteket végezni ezen, hiszen jóval nagyobb az ujjfelület, mint a *stylus* hegyes vége, ám az erre optimalizált programok sokkal természetesebben és gyorsabban használhatóak, ráadásul a *multitouch* technológiával további mozdulatok könnyíthetik a kezelést, ami rezisztív kijelzőkön nem is igazán valósítható meg.

A fenti funkciókat természetesen szoftveresen is támogatnia kell egy okostelefon operációs rendszerének, amire ma már jellemző, hogy nagymértékű szabadságot adnak a programozóknak a funkciók kihasználására. Érdemes itt megemlíteni a *Google* nyílt forráskódú *Android* operációs rendszerét, amelyben még az egyes beépített komponensek is lecserélhetőek. Mára ez a platform lett a legelterjedtebb az okostelefonok piacán, az újonnan eladott készülékek 36%-án fut *Android* operációs rendszer és a piaci részesedés növekvő tendenciát mutat (*Gartner*, 2011). Jelen alkalmazás prototípusa is *Android* operációs rendszerre íródott, ám a továbbiakban általános elvekről lesz szó, ahol nem kerül előtérbe a konkrét platform, az elv más operációs rendszereken is alkalmazható.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A főbb komponensek működési elve és használata

A gyorsulásmérő, tájoló, kamera és érintőképernyő segítségével meghatározhatjuk egy fényképen lévő képpont irányát. Vizsgáljuk meg a telefon ezen komponenseit.

Gyorsulásmérő: Más néven g-szenzor. A nehézségi erőt (ill. ezzel ekvivalens gyorsulást) méri 3 egymásra merőleges tengely mentén (*1. ábra*), amelyből nyugalomban kiszámolható a

helyzete (vagy rögzített helyzetben a gyorsulása számolható, sajnos egy időpillanatban csak az egyik határozható meg, azáltal hogy a másikat változatlanak tekintjük).

1. ábra

Nehézségi erők vetülete 3 egymásra merőleges tengelyre

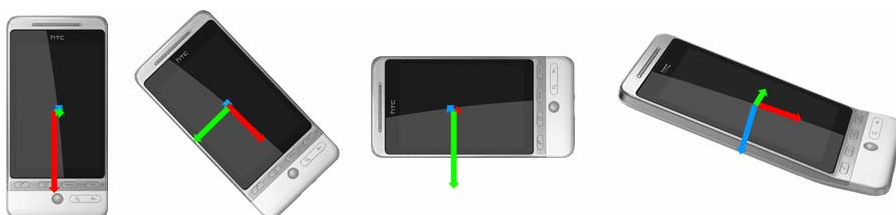


Figure 1: Projection of the gravity to 3 perpendicular axis

A g-szenzor az eredő erő irányát képes számolni (nyugalmi helyzetben ez a föld tömegközéppontja felé mutató irány), viszont ennek a tengelynek a mentén bárhogy forgatjuk el a telefont, ugyanazt érzékeli, így ezek megkülönböztethetetlen állapotok. Az asztalra fektetett telefnál (2. ábra) mindig a hátrafele mutat a nehézségi erő, nem képes különbséget tenni az egyes orientációk között, minden esetben a kék színnel jelölt tengelyre esik az erő vetülete.

2. ábra

G-szenzor számára ekvivalens orientációk



Figure 2: Equivalent orientations for the g-sensor

Tájéoló: A fenti problémát oldja meg a tájoló használata, hiszen a 3. ábra első ábráján például lefele mutat észak a telefon kijelzőjéhez viszonyítva, a másodikon jobbra, a harmadikon pedig felfele, tehát megkülönbözteti az orientációkat.

3. ábra

A tájoló megkülönbözteti az orientációkat



Figure 3: The compass can make differentiate the orientations

A hagyományos tájolókkal ellentétben azonban nem csak vízszintesen képes az északi irányt mérni, más tengelyek mentén is kinyerhető az északi irány, így általánosan is képes a gravitációs erő tengelye körüli elforgatottság szögének mérésére.

Érintőképernyő: A képernyő (vagy a kamerával készített nagy felbontású kép) képpontjainak megfeleltethetünk 1-1 félegyenest, ahogyan a kamerával láttuk a valódi pontot (4. ábra). A félegyenes szögeltérését a kamera nézeti irányához viszonyítva egyértelműen határozza meg a kijelölt pont.

4. ábra

Kapcsolat az érintőképernyő és a valódi irány között

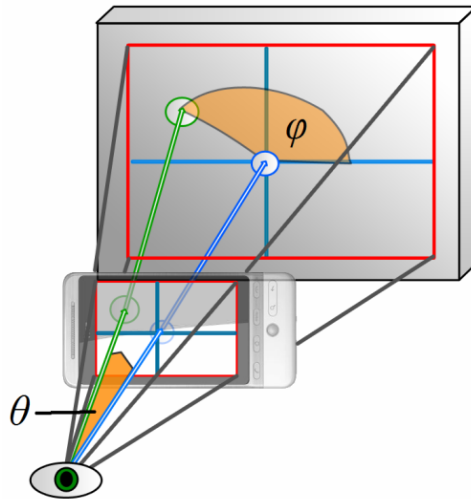


Figure 4: Association between the touch screen and the real direction

Ha a képernyőn nem a képernyő középpontjára bökünk, akkor a kijelölt pont iránya eltér a kamera nézeti irányától. Jelöljük θ -val ennek a szögeltérésnek a nagyságát, φ -vel pedig a kamera nézeti iránya körüli szögelfordulását, tehát hogy melyik irányba böktünk. Ezek a szögek kifejezhetők a képernyő-koordinátákból:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\theta = \text{atan2}(r; f) \tag{1}$$

$$\varphi = \text{atan2}(y; x)$$

ahol x és y a kép középpontjából vett távolság koordinátáit jelenti, az f a gyújtótávolságot, az atan2 pedig az $\arctg$ függvény általánosítása koordinátapárra, így elkerüljük a 0-val osztás hibáját.

A gyújtótávolságot azonban nem ismerjük, viszont a kamera látószöge (*aov*, *angle of view*) már lehet egy ismert paraméter. Ha ez sem áll rendelkezésünkre, akkor egy merőlegesen álló falon megnézhetjük, hogy milyen távolságban tölti ki teljesen a képernyőt a kép (5. ábra).

5. ábra

A valódi kép és vetülete

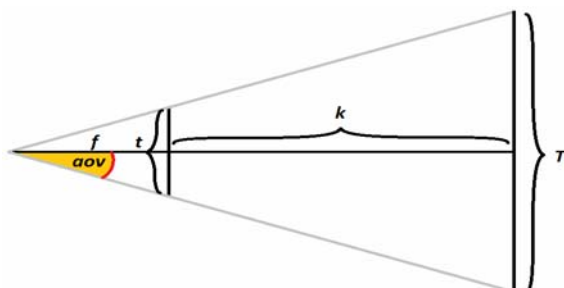


Figure 5: The real image and its projection

Ha a telefon kamerájának érzékelője t magasságú, a k távolságra lévő falon pedig T magasságú a kép, akkor a gyújtótávolság a matematikából ismert hasonló háromszögek arányaiból kiszámolható:

$$\frac{f}{f+k} = \frac{t}{T} \quad (2)$$

azaz

$$f = \frac{k \cdot t}{T - t} \quad (3)$$

Azonban a 4.ábrától eltérően valójában nem a képernyőre képződik a kép, hanem a kamera CCD-jére, a megjelenítés ettől teljesen független. A CCD érzékelő méretéről pedig valószínűleg nincs információnk, így 2 mérést szükséges csinálni (6. ábra).

6. ábra

Fókusz távolság mérése két távolságból készített kép alapján

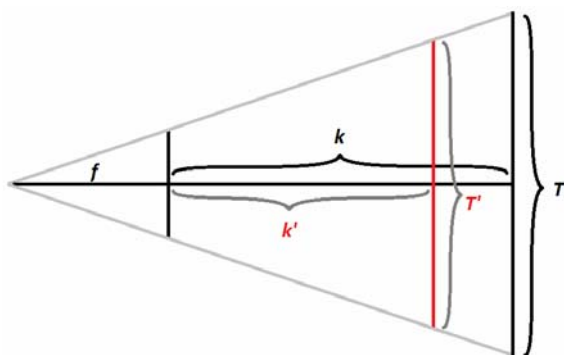


Figure 6: Calculating the focal length using two pictures shot from different distance

A hasonló háromszögekre felírt arányok alapján:

$$\frac{f + k'}{f + k} = \frac{T'}{T} \quad (4)$$

azaz

$$f = \frac{kT' - k'T}{T - T'} \quad (5)$$

Ennél még pontosabb eredményt is számolhatunk a transzformációra, ha a falra egy szabályos négyzetrácsot rakunk, majd a telefonnal készített képet számítógéppel feldolgozzuk. Ez a kimérés akkor lehet hasznos, ha a fényképezőgép lencsének valamilyen torzítása is van (7. ábra) és az egyenes négyzetrácsot görbe vonalakként jelenít meg. Azonban a telefonoknál nem jellemző az ilyen mérhető torzítás.

7. ábra

Lencsetorzítások: a) hordós torzítás, b) torzításmentes, c) párnás torzítás

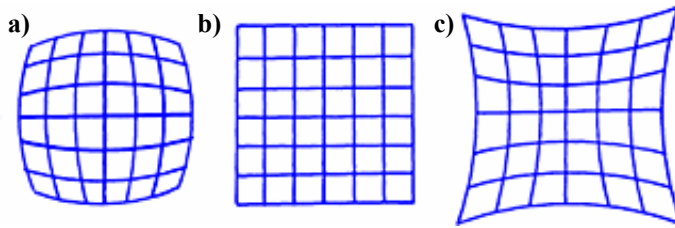


Figure 7: Radial lens distortions: a) barrel distortion, b) no distortion, c) pincushion distortion

Pontos irány

Az előző módszerek együttes alkalmazásával meghatározható a pontos irány. Képzeljük el, hogy egyszerűen készítünk egy fényképet a programmal. Egyből utána, vagy valamikor később – akár egy hónap múlva – megnézzük a képet, akár rá is nagyítunk, és bejelölünk rajta egy pontot, például egy barlangot (8. ábra).

8. ábra

Irány meghatározása: a) fényképezés, b) pont bejelölése, c) eredmény

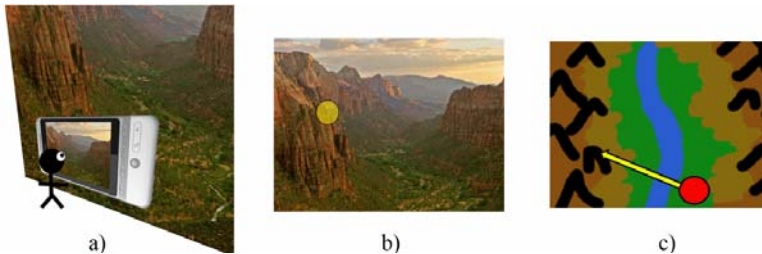


Figure 8: Calculate the direction: a) taking a picture, b) marking a point, c) result

Tájékozódás

A tájékozódás alapeleme az északi irány megállapítása és a térkép tájolása. Mobiltelefonon ez a tájolás automatikusan megoldható a térképnek a pillanatnyi északi irány alapján történő elforgatásával. Ha így közlekedünk túránk során, könnyen azonosíthatjuk a tereptárgyakat és saját pozícióinkat. A GPS segítségével persze teljes pontossággal meghatározhatjuk saját pozícióinkat, de erre nem mindig hagyatkozhatunk, tekintve, hogy rossz idő, kis lefedettség, vagy árnyékolt hely esetén nincs GPS vétel.

A turistatérképeken viszont számos azonosításra alkalmas jelölést találunk. Gyakran már csupán a domborzati viszonyok alapján is követni tudjuk nagyjából a helyzetünket, amit teljesen egyértelműsít, ha jelzett turistaúton haladunk. Ezen kívül távolabbi objektumokat is azonosíthatunk, mint amilyen egy templomtorony, egy jellegfa, egy hegycsúcs, vadetető, vagy egy kút.

Hátrametszés

A hátrametszés során saját pozícióink ismeretlen és a körülöttünk látható, a térképen is felismerhető tereptárgyak segítségével számoljuk ki a saját helyzetünket (9. ábra).

Ehhez a módszerhez először is *írányyszögeket*¹ mérünk a tereptárgyakra, majd a *kiegészítő szögeket*² a térképre mérjük. Ha például a templomra γ irányszöget mérünk, akkor mi a templomhoz képest $180^\circ - \gamma$ irányszögben állunk, ezt a félegyenest jelöljük be a térképre. Elvileg 2 tereptárgy esetén a keletkezett két félegyenest metszéspontja már meghatározza a helyzetünket, a gyakorlatban azonban mégis legalább 3 tereptárgyhoz mérünk irányszöget. Ugyanis a három félegyenest a pontatlanság miatt nem egy pontban fogja metszeni egymást. Ilyenkor a keletkezett háromszög a *hibaháromszög*, nagyjából ezen belül tartózkodunk valahol. (Halász, 1987)

9. ábra

Hátrametszés: saját pozíciónk meghatározása

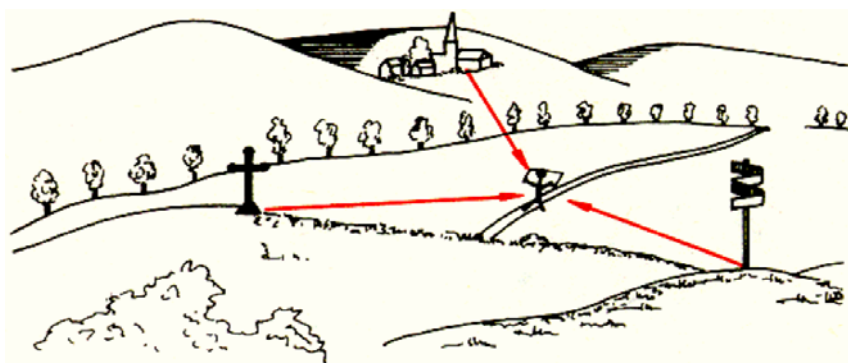


Figure 9: Resection: locate our own position

Mobiltelefonnal ez a művelet arra redukálódik, hogy a térképen felismert tereptárgyakról 1-1 fényképet készítünk, amin bejelöljük azokat. Nincs szükség a mért szögnek a térképre másolására és a félegyenestek megszerkesztésére.

¹ *írányyszög*: negatív forgásszög az északi irányhoz képest. Pl: É: 0° , K: 90° , D: 180° , NY: 270° .

² *kiegészítő szögek*: két olyan szög, amelyek összege egyenest, azaz 180° .

Oldalmetszés

Az *oldalmetszés* során helyzetünk nem teljesen ismeretlen, azt tudjuk, hogy egy – a térképen is jelölt – vonalas tereptárgy mentén vagyunk, mint amilyen egy út, folyó, kerítés, vagy jelleghatár (pl. erdő széle). Ilyenkor helyzetünk nem a síkon, csupán egy 1 dimenziós felületen ismeretlen, így kevesebb, akár már 1 tereptárgy is elegendő a helymeghatározáshoz (10. ábra).

Ennél a módszernél irányszöveget mérünk az ismert tereptárgyra, majd a térképen odamérjük ennek kiegészítő szögét. Ahol ez a félegyenes metszi a vonalas tereptárgyunkat, ott állunk. (Halász, 1987)

10. ábra

Oldalmetszés: saját pozíciánk meghatározása vonalas tereptárgyon

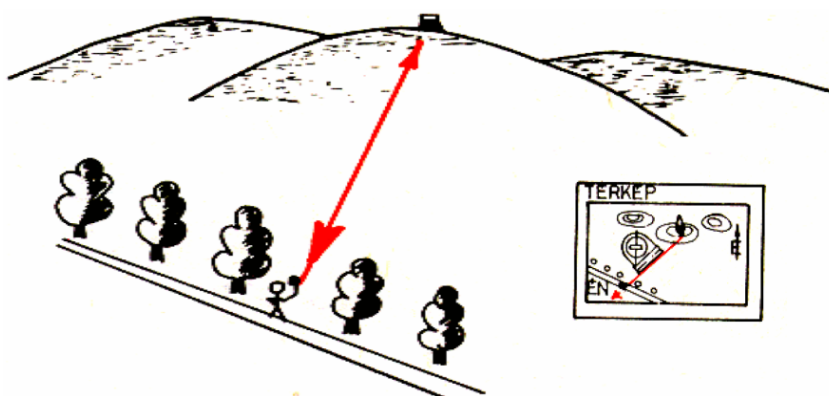


Figure 10: Modified resection: locate our own position on a linear feature

Mobiltelefonnál ez a művelet arra redukálódik, hogy lefényképezzük a térképen felismert tereptárgyat és bejelöljük rajta.

Előremetszés

Az *előremetszés* során egy objektum pozícióját szeretnénk meghatározni anélkül, hogy megközelítenénk (11. ábra). Ez lehet egy megközelíthetetlen szikla, vagy egy távoli objektum. Különösen hasznos lehet például, ha egy erdőtűzet akarunk bejelenteni és a pontos pozícióját így határozzuk meg.

Ehhez a módszerhez 2-3 ismert pontból kell irányszöveget mérünk az objektumra és így a félegyenesek metszéspontja megadja a hozzávetőleges helyzetet a hátrametszéshez hasonlóan. (Halász, 1987)

Mobiltelefonnal ismét egyszerűbb a helyzet, hiszen nincs szükség szerkesztésre, elegendő csupán lefényképezni az ismeretlen objektumot több – egymástól minél távolabb fekvő – helyről.

A mobiltelefon előnyei itt további egyszerűsítésre adnak lehetőséget, ugyanis a 3 ismert tereptárgynak most nem kell térképen is azonosíthatónak lennie, ha elérhető a GPS-es helymeghatározás. Egyszerűen lefényképezzük a pillanatnyi helyünkről, illetve pár száz méterrel arrébbi helyekről. Ezen kívül nem szükséges a térképen sem bejelölni, hogy honnan fényképeztünk, hiszen a GPS koordináták megadják pozíciónkat.

11. ábra

Előremetszés: ismeretlen pozíció meghatározása

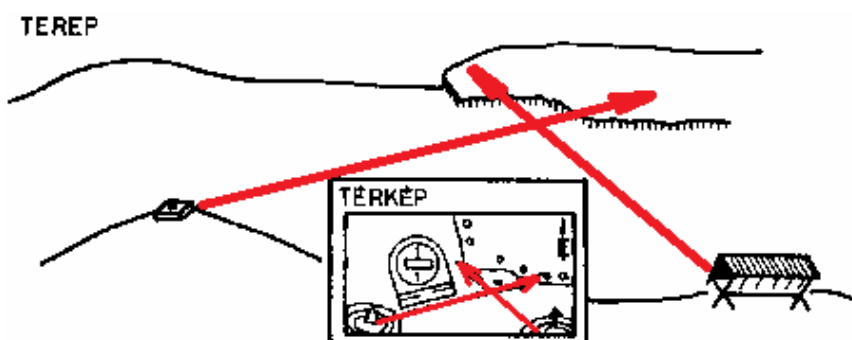


Figure 11: Intersection: locate an unknown point

Metszések pontatlan tájolóval

A fenti metszések megvalósíthatóak tájoló nélkül is, ha rendelkezésünkre áll helyette egy szögmérésre alkalmas eszköz. Mobiltelefonnál ez abban az esetben nyer értelmet, ha valótlan értéket mutat a tájoló.

Közismert, hogy a föld mágneses északi tengelye és a föld forgástengelye nem esik egybe, így a mágneses északi irány nem azonos a valódi (térképészeti) északi iránnyal. Ez a jelenség a *mágneses deklináció*, azaz *mágneses elhajlás*, ami a föld pontjain más és más (12. ábra). A mágneses pólus ráadásul idővel még változik is, évente átlagosan 15km-t vándorol.

12. ábra

Mágneses deklináció értékek a földön 2000-ben

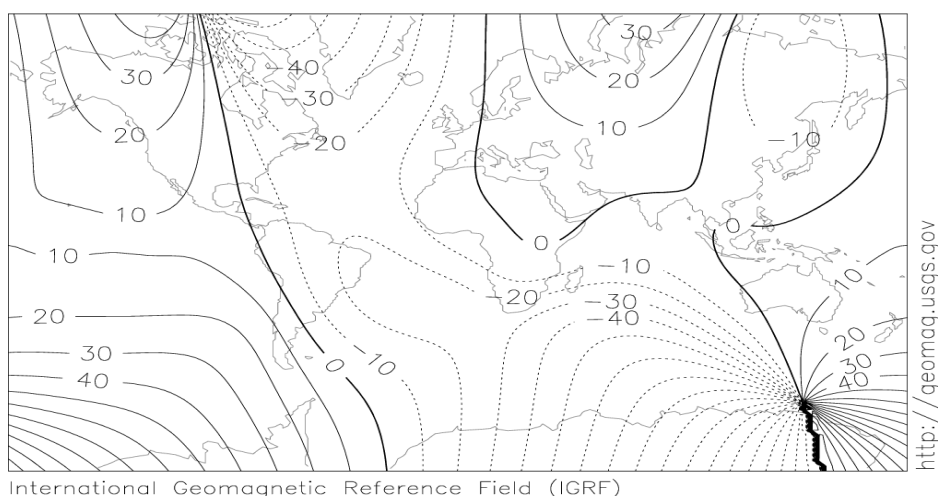


Figure 12: Magnetic declination values on the earth in 2000.

Szerencsére Magyarországon a mágneses deklináció mértéke csak $+3-5^\circ$, Budapesten $+3,5-3,6^\circ$ (Deklin, 2011), így mi gyakorlatilag elég pontosan használhatjuk a tájolórt korrekció nélkül is az északi irány meghatározására. A pozitív előjel azt jelenti, hogy a mágneses észak a valódi északhoz képest az óramutató járásával megegyező irányba tér el, tehát a mért irányszögből le kell vonni a deklináció értékét.

Mindenesetre konkrét úticél esetén könnyű előre felkészülni a mágneses elhajlás értékére (Deklin, 2011), de ehhez hasonló elhajlást okozhatnak a fémek is, éppen ezért mondjuk pontatlannak a tájolórt épületen belül, de akár nagyobb városokban is a hidak, épületek miatt, de a terepen is okozhat elhajlást egy ércbánya.

Ezekben az esetekben azonban nem teljesen felesleges a tájoló használata, ugyanis az egyes tereppontokra mért irányszögek deklinációja ugyanaz az érték (hacsak nem épp mi zavarjuk a mágneses mezőt például fémóránkkal, vagy gyűrűnkkel). Tehát az irányszögek különbsége független lesz a deklinációtól, így pontosan mérhetünk látószögeket akkor is, ha a tájoló pontatlan értéket mutatna.

Hátrametszés esetében ezzel a módszerrel már legalább 3 ismert tereptárgyra van szükségünk (13/a ábra), az ezek közötti irányszög eltéréseket jelöljük α , β , γ -val, amiből a harmadikat már meg sem kell mérni, mert 360° -ra egészítik ki egymást. Ezek alapján kiszámolható pozíciónk, viszont ennek a kiszámítása már valóban nehézkes lenne a terepen, szükségünk lenne egy körzőre, vonalzóra is az adott látószögű körívek megszerkesztésére, ezért itt valóban komoly segítséget jelent a telefon, amely elvégzi a számítást helyettünk.

Érdemes megemlíteni az ún. veszélyes kört is (13/b ábra): ha pozíciónk a tereptárgyak által meghatározott körre esik, akkor az így mért szögek alapján helyzetünk meghatározhatatlan, csak annyit tudunk meghatározni, hogy a körön vagyunk, hiszen a kör minden pontjából ezek a szögek mérhetőek a középiskolai matematikából ismert *kerületi szögek tétele* alapján. Ebből kifolyólag már az sem jó, ha a veszélyes kör közelében tartózkodunk, hiszen ekkor sem lesz pontos a helymeghatározás. (Csépregi, 2007)

13. ábra

Hátrametszés szögméréssel (a) és a veszélyes kör (b)

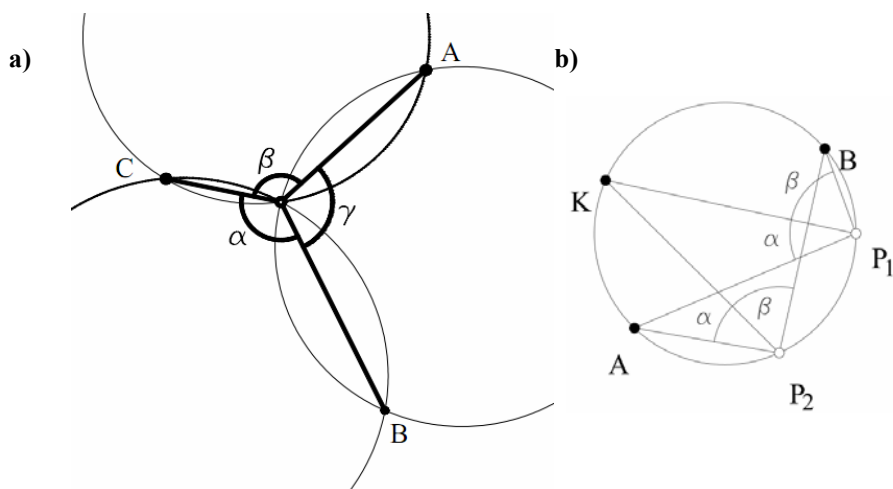


Figure 13: Resection using angles(a) and the danger circle(b)

Hibabecslés

Telefonnal sokkal pontosabb a meghatározott pozíció hibájának becslése is, hiszen lehetnek becsléseink a GPS, vagy a tájoló pontosságáról, azok pontos szórásáról, illetve, hogy a képernyőn mennyire pontosan jelöltük be a pontot. Egy programban sokkal definiáltabb az a jellemző is, hogy mennyire vagyunk közel a veszélyes körhöz. Így a telefon nem csupán a kiszámolt pozíció helyét képes kirajzolni, vagy azt hogy „nagyjából ezen a hibaháromszögön belül van”, hanem az értékek hibával növelt értékeiből képzett modell alapján rajzolhat egy foltot is, ahol az intenzitás az ott tartózkodás valószínűségével arányos, mint egy sűrűségfüggvény.

A 14. ábrán az előremetszés hibájának modellezése látható, ahol az A, B, C pontokból próbáltuk bemérni az O pontot. A pontok koordinátáját és a mért irányszöveget Gauss-zajjal modelleztük.

14. ábra

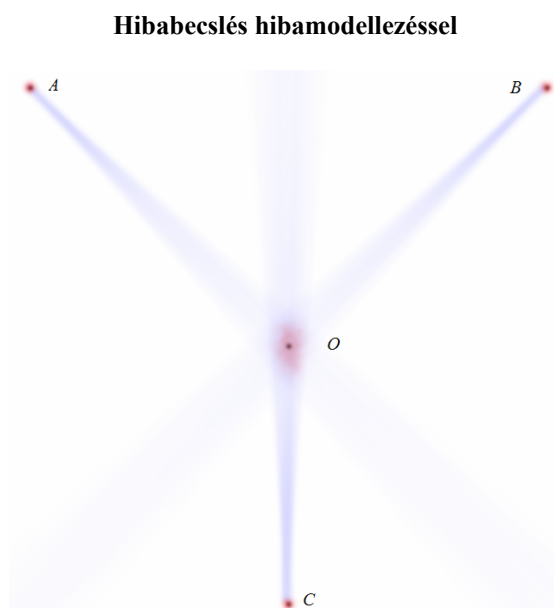


Figure 14: Error estimation using error modelling

Háromszögelés

Ha képesek vagyunk távolságot mérni (például lépésszámlálással, becsléssel, alakzatfelismeréssel, vagy akár az Augmented Reality rendszerekben ismert speciális marker használatával), akkor az alkalmazási lehetőségek tárháza hirtelen megsokszorozódik, hiszen a telefon tájolója és g-szenzora segítségével szögmérésre is alkalmasak vagyunk, így háromszögelési feladatokat végezhetünk.

Ha egy hozzáférhetetlen hosszúságot akarunk megmérni (pl. egy fa, vagy épület magasságát, folyó szélességét), akkor ha 45° -os látószög alatt nézzük a távolságot, akkor a magasságot/távolságot visszavezethetjük egy erre merőleges távolság mérésére. Például a fa magassága (15/a ábra):

$$d = b \tag{6}$$

Ha hely híján ennél kisebb távolság mérésére szeretnénk visszavezetni a feladatot, akkor tetszőleges szög alatt is nézhetjük a távolságot. Például a folyó szélessége (15/b ábra):

$$d = b \cdot \sin(\alpha) \quad (7)$$

Általánosabban, háromszögelési feladatnak azt hívjuk, amikor 2 pontból való szögméréssel, a köztük lévő távolság ismeretében képesek vagyunk a tetszőleges pont koordinátáit megállapítani (Csepregi, 2007). Például a hajó távolsága a parttól (15/c ábra):

$$d = b \cdot \frac{\sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)}{\sin(\alpha) + \sin(\beta)} \quad (8)$$

15. ábra

Háromszögelési feladatok

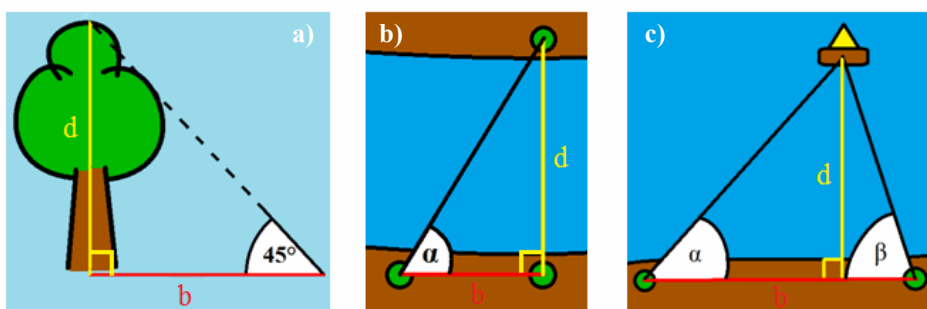


Figure 15: Triangulation problems

Ha a telefonba lézeres távolságmérőt is sikerülne rakni, akkor a távolságmérés még egyszerűbb és pontosabb lenne és a többi érzékelővel együtt nagyon pontos mérések lennének elvégezhetőek.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELES

A helymeghatározás pontosságát több készüléken teszteltem. A pontosság alapvetően a készülék szenzorainak pontosságától függ.

GPS: A tesztek adataiból elmondható, hogy a GPS-ek pontossága jó lefedettség esetén akár 5-10m pontos is lehet. Térképes tájékozódásnál, ha a térképen is jelölt terepponton állunk, akkor ennek a pontnak a bejelölésével ez a hiba kiküszöbölhető.

Tájoló: A tájoló pontossága $\pm 5-10^\circ$, ám a mágneses deklinációnál ismertetett módon hátrametszésnél kiszűrhető a telefon konstans hibája. A tájolón megfigyelhető egy pár fokok állandó zaj, ezt azonban egy másodperc alatti csúszóablakos átlagolással kiegyenlíthetjük.

Kézi bejelölés: Az ujjal való érintés további $5-10^\circ$ -ot is ronthat az irány meghatározásánál. Ez függ a kijelző méretétől és típusától is. Ez a hiba viszont szinte teljesen megszüntethető, ha a képre rázoomolva pontosan jelöljük ki a pontot. Éppen ezért a program a még felhasználóbarátabb működés céljából folyamatosan zoomol

kijelöléskor, így a célpontot a kívánt pontosság eléréséig követhetjük ujjunkkal. A rezisztív kijelzőknél még könnyebb a stylus-sal való kijelölés.

Összesített pontosság: A terepen végzett teszteken eredményesen működtek a tájékozdási segédfunkciók. Közelebbi célpontokon pár 10m-es pontossággal, távolabbi hegyeken pár 100m-es pontossággal működtek a metszések, amit a szükséges 2-3-nál még több mérés tovább pontosított.

KÖVETKEZTETÉSEK

Összességében elmondható, hogy a program alkalmas tájékozdási funkciók megvalósítására, aminek pontossága és használhatósága nagyban múlik a telefonba épített szenzorokon. Remélhetőleg a jövőben a technika fejlődésével javuló tendenciát figyelhetünk meg a szenzorok érzékenységeiben, vagy újabb használható szenzorokat kapunk, mint a szöggyorsulás mérésére alkalmas 3 tengelyű *giroszkóp*, ami például a g-szenzorral ellentétben még nem minden telefonban figyelhető meg.

Az elv alkalmazási lehetőségei túlmutatnak az egyszerű tájékozdási segédfunkciókon. A telefonnal készített kép térbeli elhelyezkedésének információja segítséget nyújthat panorámakép készítő alkalmazásoknak, így a képek összeillesztésénél nem kell minden páron illeszkedést vizsgálni, csak az egymáshoz közelieken, ezért ennek a kezdeti lépésnek a négyzetes futásideje akár lineárisra csökkenthető.

A továbbiakban tervezem az elkészített prototípus fejlesztését és további funkciókat adok hozzá. A rendes használathoz elengedhetetlen a térképek telefonra töltése is, amihez nagyszerű segítséget nyújt a turistautak.hu oldal, ahol ingyenesen tölthetjük le Magyarország turistatérképének tetszőleges részletét.

IRODALOM

- Csepregi Sz. (2007): Pontkapcsolások (Elektronikus jegyzet) SE Földmérési és Földrendezői Főiskolai Kar : Székesfehérvár, 1-15. p. [Online] <http://www.geo.info.hu/portal2007/images/stories/geod-publikacio/csepregi-pontkapcsolasok_2007szept.pdf> (2011.04.15)
- [Deklin] (2011): Find the magnetic declination at your location [Online] <<http://www.magnetic-declination.com/>> (2011.03.15)
- Gartner, Inc. (2011): Gartner Smart Phone Marketshare 2011 Q1 [Online] <<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1689814>> (2011.05.19)
- Halász M. (1987): Tereptan és térképismeret, Budapesti Természetbarát Bizottság, 174-176. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Ureczky Bálint

H-7400, Kaposvár, Kálvária u.83/a

Tel: 36-30-855-9098

email: ubalint@gmail.com



Szűk keresztmetszetek feltárása informatikai rendszerekben

Boros J.

Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Informatikai és Gazdasági Intézet, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a hétköznapi életünkben is egyre inkább helyet követelnek maguknak az informatikai megoldások, kisebb-nagyobb hálózatok, az Internet, a web. Folyamatosan jelennek meg az új, átfogó, robosztus rendszerek, weben működő alkalmazások. Manapság egy korral lépést tartó cég működésének elengedhetetlen velejárója az informatika, az interneten történő megjelenés. Növekvő teret nyer a hálózaton keresztül történő ügyintézés, vásárlás, dokumentumkezelés, de ide sorolható a termelő munkát elősegítő informatikai tevékenység is. A fejlesztések, kutatások során sok alkalmazás - amely eddig „elzártnak”, egy asztali számítógépen futott - következő verziója már weben, hálózaton keresztül érhető el. A hálózatok működtetésének nagyon fontos szempontja a megbízhatóság, rendelkezésre állás, amelyet minden esetben úgy célszerű biztosítani, hogy ne méretezzük túl az adott rendszert. Ugyanakkor figyelembe kell venni azt is, hogy sok rendszer esetén tapasztalható rövid ideig tartó, de a környezethez képest kiugróan magas igénybevétel. Elsődleges feladatunknak tekintjük ezért a rendszerek szűk keresztmetszetének feltárását, és megoldási javaslatok publikálását általánosan és konkrét hálózatok, informatikai rendszerek esetén is. Jelen cikkben egy tesztkörnyezetben keressük folyamatok szintjén, hogy az egyes szálak mekkora terhet rónak a PC-re, azaz mennyi memóriát, CPU időt használnak és mekkora az írás illetve olvasás egy-egy folyamatot tekintve. A mért értékekből statisztikát generálunk, majd a kritikus értékek környezetét elemezve olyan, későbbiekben is felismerhető helyzeteket fogalmazunk meg, melyek esetén a rendszer túlterhelése várható.

(Kulcsszavak: szűk keresztmetszet, informatika, rendszer)

ABSTRACT

Finding bottlenecks in IT systems

J. Boros

University of West Hungary, Faculty of Wood Sciences, Institute of Informatics and Economics
H-9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

Nowadays, more and more segments of the information technology (such as the networks, the Internet, the World Wide Web) become essential in the everyday life. We get new IT-systems that are often robust and comprehensive. Companies need to use information systems to keep abreast of the times. In the past information systems have appeared stand-alone, but now they often use networking solutions for office work, document management etc. Although the reliability and availability are very important aspects of the services the efficient provision of these attributes with the smallest hardware, software and money investment is also crucial. IT systems are dimensioned in that manner that their load is light or medium in most of their life, however, they suffer heavy load in a small fraction of their operation. Since this heavy load can cause critical situations our main goal is to

explore and identify the bottlenecks of systems, and to give proposals how to avoid the problems. We use a test environment where we measure the load factors of each threads or processes. Our measurements cover memory usage, CPU usage and I/O data traffic. Based on the observed data and their operation environment, tendencies are identified that help system operators to prevent systems from overloaded situations.

(Keywords: bottlenecks, information technology, system)

BEVEZETÉS

Az informatika területén, mint sok más területen mindennek megtalálható az oka, minden rendszerbeli esemény visszavezethető valamire. Ez kisméretű rendszerek, vagy egy könnyen átlátható normál asztali PC esetén viszonylag egyszerűen kideríthető. A nagyméretű, bonyolult felépítésű szerverek vagy sok esetben szerverfarmok esetén azonban nem triviális meghatározni azt, hogy mi miért történt. Nézzünk egy egyszerű példát: a Felvi oktatási rendszere egész évben megfelelően működik, minden hiba és gond nélkül. A jelentkezési határidők környékén azonban gyakran volt tapasztalható olyan anomália, amikor a rendszer elérhetetlenné vált. Célunk, hogy egy ilyen rendszer előzetes megvizsgálása után meg tudjuk mondani, hogy milyen módon lehet minimális anyagi ráfordítás mellett hirtelen megugró terhelés esetén is teljesíteni a követelményeket (*Eckert és mtsai.*, 2007).

Fontos megemlíteni, hogy nem tisztán kutatásról van szó, hanem az eredmények gyakorlati hasznosításra is kerülnek. Célunk egyértelmű: egy tetszőleges informatikai rendszer szűk keresztmetszeteit kívánjuk meghatározni. A szűk keresztmetszetek alapján megmondható, hogy az adott rendszer miért omlik össze bizonyos terhelés hatására, és így tervezhetővé válik az informatikai beruházás. A kérdés fontosságát mutatja, hogy alapvetően két típusú fejlesztést értelmezhetünk. Vertikális (függőleges) fejlesztés esetén a meglévő hardvereszközeinket cseréljük le erősebb, nagyobb terhelést bíró eszközre. Tipikus példa lehet, ha processzort cseréljük 2.0 GHz órajelűről 3 GHz órajelű egységre. Ezzel szemben a horizontális bővítés annyit takar, hogy több, de egyenként kisebb teljesítményű hardvert állítunk szolgálatba. Ekkor szerverek láncolatával (más néven szerverfarmmal) biztosítjuk a szükséges erőforrást. Ebben az esetben azonban külön figyelni kell a felmerülő szinkronizációs feladatok megoldására is (*Menascé és Almeida*, 2002).

A vertikális megoldás viszonylag olcsóbb, de a korlátait is hamarabb eléri, mint a horizontális fejlesztés. Nyilvánvaló, hogy a rendelkezésre álló technológiai korlátokat nem tudjuk átlépni, azaz hiába hoztuk ki a vizsgálat alapján azt az eredményt, hogy egy többmagos, nagy teljesítményű órajellel rendelkező processzor elegendő lenne, nem tudunk beszerezni a piacon ilyen erősségű processzort. Másik oldalról nézve, a horizontális drágább megoldás, cserébe itt közvetlenül „nincs” határ, de a költségek között ekkor megjelennek a különböző szinkronizációs és egyéb kiadások is.

A kutatás irányát a budapesti székhelyű Netvisor Zrt. piaci igényei és szakmai tapasztalatai határozták meg.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Folyamat

A 2010 tavaszától, 2011 végéig terjedő K+F folyamatot négy nagyobb, jól elkülöníthető részre bontottuk. Jelenleg az első és második szakasz már lezárult, pillanatnyilag a harmadik ponttal foglalkozunk.

1. szakasz

Az első feladatot a felhasználható eszközök feltérképezése jelentette. A Unix (Linux) rendszerek működési és vizsgálati szempontú megismerését a további kutatási irányok kijelölése követte (Boros és mtsai., 2010).

2. szakasz

A második szakaszban egy modult fejlesztettünk ki egy meglévő rendszer alá. A PVSR mérőmodul fejlesztést meghatározza, hogy a piaci partner – érhetően – a saját rendszerét kívánja használni a különböző szerverek vizsgálata során. Ez természetesen korlátokat jelent a szóba jövő megoldások kiválasztásában, ugyanakkor egyértelműen kedvező abból a szempontból, hogy a kialakított rendszer éles alkalmazásra is kerülhet valóságos alkalmazások monitorozásában (Jereb és mtsai., 2011).

3. szakasz

A következő lépést egy nagy rendszer és annak kiszolgáló szervereinek monitorozása jelenti a létrehozott modullal. Ez lehet piaci szolgáltatás, például az adóhivatal interneten elérhető rendszere, de lehet az oktatás területén használatos szolgáltatás is, mint például a Neptun rendszer. A vizsgálat során a mért adatok elemzésével megkaphatjuk, hogy mely eszközök mely paramétereinek változása volt kritikus a rendszer működésére nézve. Így meg tudjuk határozni a szűk keresztmetszeteket egy rendszeren.

4. szakasz

Végül a negyedik, befejező feladat lényege, hogy a 3. szakaszban végzett vizsgálat alapján meghatározzuk, mit lehet kezdeni a szűk keresztmetszetekkel, azaz mit kell cserélni, bővíteni, javítani ahhoz, hogy a rendszer kezelni tudja a kritikus időszakok nagyobb terhelését is. Nyilvánvalóan egy adott hardvernek vannak olyan paraméterei, amit nem lehet bővíteni vagy cserélni. Ebben az esetben azonban még mindig költséghatékonyabb kicserélni az adott fizikai eszközt (pl. alaplapot), mint egy nagyobb méretű informatikai beruházást végrehajtani.

PerformanceVisor (PVSR)

A PerformanceVisor (PVSR) egy Solaris-Windows-Linux szerver-platformon futó Web-alapú alkalmazás, amely különböző – például hálózati vagy IT – eszközök és alkalmazások monitorozását teszi lehetővé. Sokrétű, elosztott monitorozó rendszer, elosztott mérő szerver struktúrával, mérő szerver csoportok kezelésével, azon belül automatikus terhelés-megosztással. A rendszer képes öntesztelésre, így az esetleges belső hibák feltárására. Egyszerűen kiterjeszthető mérőprotokollal rendelkezik, így könnyen fejleszthető hozzá új, általános vagy akár speciális igényt kielégítő mérő eszköz. Dokumentált API-val (programozói interfésszel) rendelkezik, ezért alkalmazásával általános mérő szerver-keretrendszer is egyszerűen implementálható.

A mérési intervallumok választhatók: a 15 másodperctől egészen az órás ciklusig, a létrehozásnál kiválasztott intervallumot a felhasználó a későbbiek során akár módosíthatja is. A távoli mért eszközöket elég, ha a mérő szerverek érik el, a kiolvasott adatokat biztonságos úton (SSH és SFTP protokollok segítségével) továbbítják a központi gép és a felhasználói felület felé. A mérő szervereknek csupán az elinduláshoz van szükségük a központi Oracle szerverre, ennek köszönhetően akár egy Oracle adatbázis leállás sem eredményez mérés kiesést. Az adatbázis kezelő egy korszerű, piacvezető eszköz mind a konfiguráció, mind a mérési adatok tárolására.

A PVSR nagyon sok funkciót támogat, megkönnyítve a munkát. Felületről mérésenként szabályozható adatmegtartás (data retention) és tömörítés, telepítéskor választható partícionált vagy nem partícionált adatbázis használattal rendelkezik a

rendszer. A PVSZ Webservice SOAP interfésze egy standard felületet nyújt, amin keresztül mind a konfiguráció mind a mérések és riasztások lekérdezése is megvalósítható, így az alkalmazás könnyen kapcsolható más társrendszerekhez és biztosítja az átjárhatóságot. A rendszert az egyszerű konfigurálhatóság jellemzi. Így a sablonokkal segített objektum létrehozás: eszközök, riasztások, grafikonok és mérések automatikus felderítése az eszközökön és szűrhető listában történő megjelenítése is elérhető szolgáltatás.

Amit fontos kiemelni, hogy a rendszer a kapott adatokból automatikusan, jól használható és átlátható grafikonokat képes létrehozni. Ezek flash alapú grafikonok, amelyek gazdag kliens oldali interaktivitást tesznek lehetővé: nagyítást, minimum/maximum beállítását, elemek elrejtését/megjelenítését, trend vonalak felvételét. A kialakított mérések tetszőleges köre összevonható egy darab publikus és/vagy privát grafikonra, sőt a mérések értéke tetszőleges kifejezéssel feldolgozható és ábrázolható (például két mérés összege, különbsége, stb).

Lehetőség van több eszköz méréseit összegyűjteni egy oldalra, majd az így kapott egyedi lekérdezést a felhasználó rögtön el is mentheti virtuális eszközként, a grafikonokon tetszőleges időponthoz tartozó mérési görbe megjeleníthető. Széleskörűen megfogalmazhatunk küszbérték feltételeket, amelyek megsértése esetén az alkalmazás riasztást generál levél és/vagy SNMP trap és/vagy tetszőleges parancs formájában. Feltételként fix érték vagy a korábbi mérések alapján számított átlag és szórásra támaszkodó érték adható meg. A feltételben nem csak az aktuális mérési értéket lehet megadni, hanem trend számítás alapján kalkulált jövőbeni értékeket is (például diszk kihasználtság egy hét múlva).

A jogosultsági szintek is nagyon rugalmasan használhatóak. A rendszerben ötszintű felhasználói rendszer található, ahol egyedileg szabályozható, hogy melyik felhasználó melyik telephelyet-eszközt-mérést-riportot-grafikát tekintheti meg, illetve hogy láthatja-e a threshold sértéseket. Természetesen egy adott telephely vagy eszköz riport nézetének megtekintéséhez mind a riport mind az objektum elérhető kell hogy legyen a felhasználó számára.

Linux eszközök

A Linux operációs rendszer teljesítmény elemzéséhez olyan standard és speciális (egyedi, kísérleti) eszközöket keresünk, amelyek pontos és hasznos információkat szolgáltatnak a Linux kernel felett futó folyamatok memória, CPU, diszk terhelési adatairól, és ezek alapján összefoglaló képet lehet kapni a rendszer állapotáról.

Az Unix rendszer a működési információkat a /proc fájlrendszer alá helyezi. Ez egy speciális fájlrendszer, amely a diszken nem jelenik meg, a memóriában kerül lefoglalásra. A /proc alatt mind a rendszer hardveres, mind pedig a szoftveres működési paraméterei naplózásra kerülnek különböző fájlokba, amelyek aztán kiolvashatók.

A projekt 1. szakaszában a standardnak számító Vmstat, Iostat, Top, Ps, stb. monitorozó programok képességeit és a rendszeranalízis szempontjából hasznos szolgáltatásait tekintettük át, továbbá olyan opensource eszközöket kerestünk, amelyek a fentiekén túl további hasznos információkat tudnak nyújtani. Megállapítható volt, hogy mindegyik mérési program a /proc fájlrendszer alapján dolgozik. Így a különbségük azoktól a tényezőktől függ, hogy milyen paramétereket tartanak fontosnak a programozók és milyen ügyesen valósították meg a programjukat.

Esetünkben fontos szempont, hogy a későbbi elemzés céljából egy adott eszköz képes-e folyamatos megfigyelésre és elmenthetők-e az idősor adatokat diszkre. Ezen

szempont figyelembevételével módszert dolgoztunk ki a különböző mérő eszközök összehasonlítására.

A mérések és tapasztalatok alapján a dstat széles körben és könnyen használható, mivel segítségével egy adott rendszeren könnyen lehet mérni CPU, memória, I/O és egyéb paraméter változásokat. Ugyanakkor alkalmazását nagy mértékben korlátozza, hogy használatához különböző segédprogramok és egyéb mérést segítő eszközök telepítésére van szükség. Ez sok esetben a valós használat során nem tehető meg, így a dstat a projekt célkitűzései szerinti környezetben nem használható.

A második vizsgált eszköz az iotop volt. Az iotop alapesetben az összes olvasott illetve írt adat mennyiségét szolgáltatja a rendszer egészét, azaz az összes lemezt – és persze folyamatot – tekintve. Ennek során megkapjuk a folyamat azonosítóját (PID), a folyamatot futtató felhasználót (USER), folyamatonkénti bontásban az írt és olvasott adatmennyiséget byte/s-ban, továbbá megtudjuk, milyen arányban foglalkozott a folyamat (szál) swap műveletekkel illetve milyen arányban várt a folyamat (szál) I/O műveletekre. A parancs folyamatosan fut, mód van futási időben változtatni néhány jellemzőt. Adott időközönként frissíti a listát a folyamatokról, amivel értesülünk a rendszer változásairól.

A harmadik tételezen megvizsgált eszköz az iostat volt, amely az előzőeknél némileg szofisztikáltabb eszköz. Segítségével CPU vagy diszk műveleteket is tudunk monitorozni. A diszkre koncentrálnálva megállapítható, hogy könnyen paraméterezhető, így egyszerűen lehet a riportot szűkíteni a számunkra fontos eszközökre. Ez az eszköz alapvetően nem a folyamatokkal, hanem az eszközökkel foglalkozik, így azonosítja a gépet, az operációs rendszer verzióját, a processzorok számát, típusát. Egy eszközhöz megadja a másodpercenkénti transzferek számát, az olvasott és írt adatok mennyiségét (paramétertől függően blokkban, kilobyte-ban vagy megabyte-ban). Alapértelmezésben egyszeri mintavételezésről van szó. Ha azt szeretnénk, hogy több mérés történjen, akkor ez paraméterezéssel biztosítható.

Az utóbbi két eszközt összehasonlítva elmondható, hogy az iotop inkább a processzenkénti bontásra koncentrál, és nehezebb összegző adatokat kinyerni segítségével a rendszer egészéről. Az iostat ezzel szemben az eszközönkénti terhelést tükrözi. Kényelmi funkciói többletet jelentenek az iotop-hoz képest (pl. időbélyeg készítés), ugyanakkor a processzenkénti vizsgálatot inkább az iotop eszközzel lehet eredményesen végezni, és az esetlegesen fontos SWAP paramétereiről is inkább az iotop tud információval szolgálni.

Végrehajtottunk egy olyan méréssorozatot is, amelyben mindhárom eszközzel, ugyanazon terhelés mellett, azonos környezetben mértünk. Bár az egyes mérőalkalmazások más-más szemszögből mértek, az összehasonlítás során azt tapasztaltuk, hogy a kapott értékek hasonlóak, azaz az alkalmazás működési tendenciái nyomon követhetők.

Összefoglalva megállapítható, hogy a három eszköz eltérő alkalmazásokra készült, és bár mindegyik eszköz nagyon hasznos és jól működik a saját területén, de viszonylag speciális követelményeink kielégítésére saját fejlesztésű környezetet célszerű létrehozni. A három mérőalkalmazás tapasztalatainak felhasználásával egy saját szkriptet hoztunk létre, amely már megfelel a rendszer és a mi elvárásainknak is.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

Az eddigi fejlesztések eredménye alapján az általunk fejlesztett mérőszerver képes szolgáltatni különböző informatikai rendszerek (szerverek) vizsgálata után mért értékeket, amiket a PVSR segítségével meg tudunk jeleníteni grafikonon illetve a mögötte található adatbázisban képesek vagyunk tárolni azokat. Ez a további, elemzési

lépések szempontjából fontos, így biztosítva van az adatok konzisztens, minden igényt kielégítő tárolása.

A következőkben néhány példát láthatunk a működésről illetve a grafikonokról a mért értékekkel. A grafikonokon egy Linux rendszert monitoroztunk, amely az alábbi paraméterekkel bír: AMD Athlon CPU 1.7 Ghz órajel, IDE 120 Gb diszk, 1.5 Gb swap, 750 Mb RAM memória, x86-os CentOS 5.5 Linux rendszer.

Az 1. ábrán látható az Oracle processzekre illesztett CPU mérés által szolgáltatott eredmény. Mint a grafikonról is leolvasható, a CPU terhelés rövid időn belül is képes nagyon eltérő értékeket szolgáltatni, függően természetesen az egész rendszer viselkedésétől. Ennek „párja” a 2. ábrán látható értéksorozat, amely ugyancsak a CPU terhelését mutatja, de azzal a különbséggel, hogy itt nem a „sys” terhelés, hanem a folyamatok „usr” terhelése látható.

1. ábra

CPU sys terhelési értékek oracle processzekre illesztve

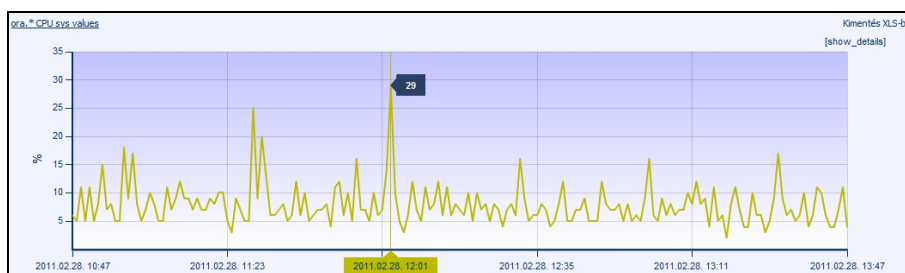


Figure 1: CPU sys load factor on oracle processes

2. ábra

CPU usr terhelési értékek oracle processzekre illesztve

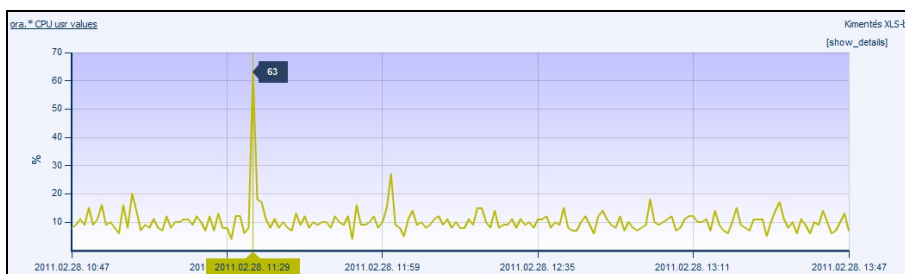


Figure 2: CPU usr load factor on oracle processes

A 3. és 4. ábrán a memória terhelés követhető nyomon. Hasonlóan a CPU terheléshez itt is kettéválik a két monitorozott érték, a folyamatok fizikai memória használata illetve a swappelt, azaz közösen használt értékek.

3. ábra

Fizikai memória terhelési értékek oracle processzekre illesztve

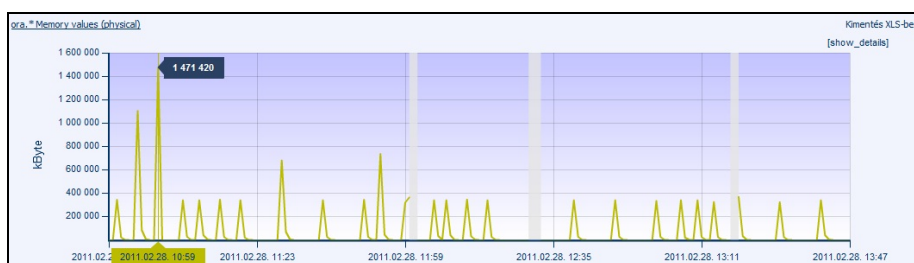


Figure 3: Physical memory load factor on oracle processes

4. ábra

SWAP memória terhelési értékek oracle processzekre illesztve

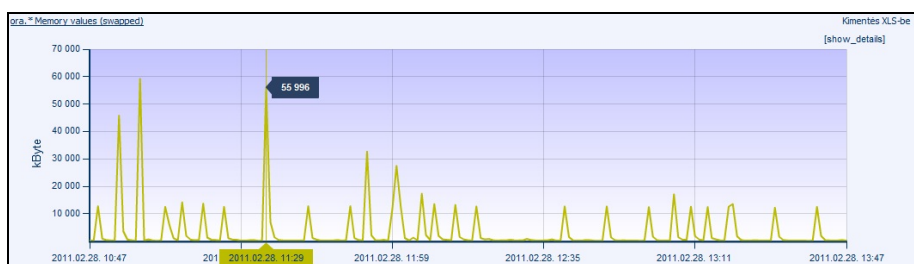


Figure 4: Swapped memory load factor on oracle processes

A swap értéknél fontos megjegyezni, hogy a különböző folyamatok által közösen használt területek (átfedések) nem jelennek meg különállóan. Másik oldalról közelítve, a közös területek minden folyamatnál megjelennek, így többszörösen kerülnek megjelenítésre. Szélsőséges esetben így nagyobb értéket kaphatunk egy összegzés után, mint a fizikai memória mérete az adott rendszerben.

A harmadik nagyobb vizsgált értékcsoport az I/O értékek. A futás során minden folyamat rendelkezik olvasott illetve kiírt adatmennyiséggel. Ez a különböző háttértároló eszközök vizsgálata esetén lehet érdekes, mivel tudjuk, hogy egy rendszer esetén az I/O műveletek a leglassabb részfolyamatok. Szintén két külön grafikon található, egyrészt az írási (5. ábra) másrészt az olvasási (6. ábra) értékek vizsgálati eredményeinek prezentálására.

Mint korábban is olvasható, a fenti értékek valamilyen összegzett számot takarnak egy adott pillanatra nézve is. Egyetlen esetben jelentik a tényleges folyamat általi terhelést, mégpedig ha csak egyetlen folyamatra illeszkedik a mérés indexe (a fenti példákban az ora* karaktersorozat). Ahhoz, hogy további számítások történhessenek megközelítve a tényleges folyamat szintű terhelést, fontos tudni, hogy adott pillanatban a kapott terhelés hány folyamat között oszlik meg, ezt is külön grafikonon (külön mérés definícióként) tudjuk kezelni (7. ábra).

5. ábra

Olvasott adatmennyiség oracle processzekre illesztve



Figure 5: Read data by oracle processes

6. ábra

Írt adatmennyiség oracle processzekre illesztve



Figure 6: Wrote data by oracle processes

7. ábra

Oracle processzek száma az idő függvényében

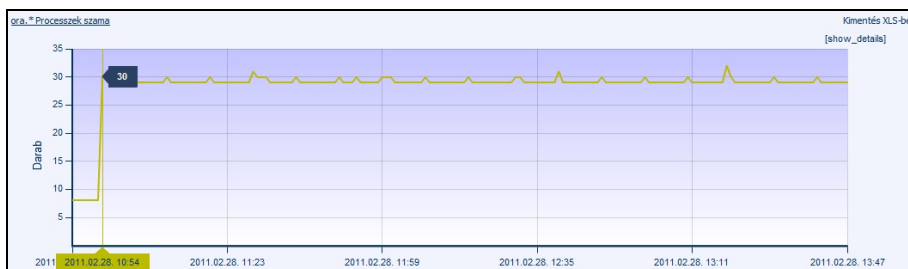


Figure 7: Number of oracle processes

KÖVETKEZTETÉSEK

Az elmúlt időszakra tervezett célokat sikerült elérni. Elkészült egy PVSR alatt használható mérőszerver, melynek segítségével adatokat kaphatunk egy tetszőleges Linux rendszerről. A megvalósítás során nem használtunk harmadik fél által szolgáltatott illetve készített eszközt, mérő algoritmust, az adatok átmeneti tárolását illetve feldolgozását is saját fejlesztésű program hajtja végre. Az elkészült eszköz tetszőleges folyamat monitorozását hajtja végre szolgáltatva róla CPU, memória és I/O értékeket. Az eszköz segítségével összesített eredmények kerülnek a PVSR rendszerbe és így a grafikonokra is. Lehetőség van a folyamatok számát is nyomon követni, így átlagot vagy egyéb számított eredményeket is lehet generálni.

Az eddigi eredmények - a tesztrendszerek vizsgálata alapján is - biztatóak. A mért eredmények segítségével az adott folyamatok viselkedése meghatározható, így képesek lehetünk a különböző tendenciák, analógiák felismerésére. Ezeket a viselkedési mintákat a későbbiekben sok esetben használhatjuk. Részleteiben feltérképezve egy széles körben használt és nagy terhelést generáló programot, rámutathatunk annak ismétlődő viselkedésére, kritikus pontjaira. Így egy még nem vizsgált rendszer várható viselkedésére vonatkozóan is adhatunk olyan információkat, amelyekkel a későbbi kritikus helyzetek esélyét jelentősen csökkenthetjük.

Továbblépési lehetőségek

A kialakított monitorozó keretrendszer természetesen folyamatos tesztelést igényel különböző alkalmazási környezetekben. Ennek fontos részét jelenti a Netvisor Zrt. környezetében történő „éles” tesztelés, az eszköz működésének validálása.

Miután elkészült egy validált, minden igényt kielégítő eszköz, egy valós rendszert vagy annak reprodukcióját lehetne monitorozni, vizsgálni. Az így kapott adatok alapján lehetőség van az adott rendszer szűk keresztmetszeteinek feltárására, modell felépítésére és megoldás szolgáltatására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az eredmények elérésében meghatározó volt a Netvisor Zrt. segítsége, azon belül is kiemelkedő *Máthé János, Schnell György, Szabó Balázs* és *Szemethy Tivadar* munkája és segítőkészsége. Emellett köszönet illeti a kutató és fejlesztő munkát végző illetve segítő munkatársakat is, név szerint *Do Van Tien, Jereb László, Horváth Ádám, Szalai László* és *Baráth Zsófia*.

IRODALOM

- Boros J., Do, T.V., Horváth Á., Szalai L. (2010): Linux rendszerek teljesítményanalízise. RET kutatási jelentés, NymE FMK INGA, 3. oldal
- Jereb L., Do, T.V., Boros J., Horváth Á. (2011): Mérőszerver fejlesztése PVSR alá. RET kutatási jelentés, NymE FMK INGA, 3. oldal
- Eckert J., Repp N., Schulte S., Berbner R., Steinmetz R. (2007): An approach for capacity planning of web service workflows. AMCIS 2007 Proceedings. Paper 80. [Online] <<http://aisel.aisnet.org/amcis2007/80>>
- Menascé D.A., Almeida V.A.F. (2002): Capacity planning for Web services. Prentice Hall, 2. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Boros János

Nyugat-magyarországi Egyetem,

Faipari Mérnöki Kar, Informatikai és Gazdasági Intézet

9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

University of West Hungary,

Faculty of Wood Sciences, Institute of Informatics and Economics

H-9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 9.

Tel.: 36-99-518-486, Fax: 36-99-518-367

e-mail: borosj@inf.nyme.hu



Tájolás és hasznosság mérése rövid szöveges üzenetekben

Kovács B., Kruzslicz F.

Pécsi Tudományegyetem, Közgazdaságtudományi Kar, Gazdaságmódszertani Intézet, 7622 Pécs, Rákóczi út 80.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányban a szövegbányászat egy speciális ágával, a véleménybányászattal foglalkozunk. A vélemény tulajdonosa hisz egy témával kapcsolatos állításban, és ehhez általában jó vagy rossz érzést is társít. A vélemény negatív, pozitív vagy semleges tájolását a tulajdonos szöveges hozzászólásaiból (üzeneteiből) lehet kideríteni. A hozzászólás hasznossága az üzenetet olvasók számára azt mutatja meg, hogy az adott üzenet mekkora hatással lehet az olvasó véleményére. Tehát minél hasznosabb egy üzenet, annál nagyobb eséllyel befolyásolja a fizetőképes keresletet egy termék iránt. Így tehát a hasznosság annak mértéke is, hogy mekkora súllyal kell kezelni az üzenetet a számítások során. A rövid szöveges értékelések tájolási és hasznossági értékeinek mérési és előrejelzési lehetőségeit kétféle módszertani megközelítéssel is megvizsgáltuk: a szupport vektor gépek (SVM), és a mesterséges neurális hálózatok (NN) tanulóalgoritmusok segítségével. Elemzéseink során azt tapasztaltuk, hogy a tájolás és a hasznosság szerinti osztályozás hatékonysága eltér egymástól, ami arra utal, hogy a kétfajta jellemző más-más jellegű kapcsolatban áll a szöveges tartalommal. Ezért annak lehetőségét is megvizsgáltuk, hogy a szövegelemzés során használt szokásos adatok mellett milyen egyéb jellemzők bevonásával lehet javítani az osztályozás pontosságát.

(Kulcsszavak: nyelvfüggetlen, szövegelemzés, osztályozás, véleménybányászat)

ABSTRACT

Measuring sentiment orientation and utility in short text messages

B. Kovács, F. Kruzslicz

University of Pécs, Faculty of Economics, Institute of Applied Business Studies, H-7622 Pécs, Rákóczi út 80.

The main framework of this paper is the opinion mining, a special area of text mining. The holder of an opinion believes a claim about a topic, and he associates a good or a bad sentiment with his belief. This negative, positive or neutral orientation of the opinion can be detected based on the text messages of the holder. The utility of a comment can be described as the magnitude of the effect of the message on the readers' opinion. E. g. if a message has higher utility, it has a greater chance to influence the effective demand for a product. So utility is a measure of weighting of messages in calculations. We examined the orientation and utility valuation of short text messages through two methodological approaches: Support Vector Machines (SVM), and Artificial Neural Networks (NN) learning algorithms. We find that the efficiency of the automatic classification of orientation and utility values differs from each other using both methodologies. So we concluded that both of these measures represent different type of connection with the content of the texts. So we examine the opportunity of improving accuracy of classification by including additional measures.

(Keywords: language-independent, text analysis, classification, opinion mining)

BEVEZETÉS

Napjainkban az egyénre szabott kínálat nyújtása jelenti az igazi versenyelőnyt. A marketingkoncepció e szintjén már a valószínűségi modelleken alapuló statisztikai módszerek sem képesek mindig elegendő információt szolgáltatni a marketing mix kialakításához. Magyarországon is ezért egyre nagyobb szerep jut a különböző adat- és szövegbányászati módszereknek a piackutatásban.

A véleménybányászat a szövegbányászatnak egy szelete, melynek során a szövegekhez, vagy azok részeihez szubjektív érzéseket kifejező címkéket rendelünk. Ennek megfelelően ez a problémakör a szövegosztályozási feladatok körébe tartozik, melynek két fő típusát különböztetjük meg: (1) a dokumentum tartalmához rendelhető pozitív vagy negatív érzelmi megnyilvánulás, (2) a dokumentum tartalmához rendelhető szubjektivitás vagy objektivitás szintje. Az első típus tájéltási, míg a második pártatlansági problémaként ismert az irodalomban. További érdekes kapcsolódó kutatási irányokat ismerhetünk meg Liu (2010) tanulmánykötetének 26. fejezetéből. Munkánk során az eddigi kutatási palettát egy olyan új elemmel bővítettük, amelyik a dokumentumokhoz az előzőkhez képest egy újfajta jellemzőt, a hasznosságot rendel hozzá (1. táblázat).

Egy dokumentum hasznossága egy olyan aggregált mutató, ami egyszerre jelenti a dokumentum tartalmának újdonságértékét, a benne foglalt információk aktualitását, valamint azt, hogy egy majdani visszakereséskor a dokumentum hányadik helyre kerüljön a találati listában a relevanciája szerint. Míg a tájéltás és pártatlanság fogalma inkább a tartalomhoz (objektum) kötődik, addig a hasznosság inkább az olvasóhoz (szubjektum) köthető. Ahogyan viszont ugyanaz az információ más-más felhasználó számára lehet pozitív és negatív is, addig hasonló kettősségre számíthatunk a hasznosság tekintetében.

1. táblázat

Néhány takarmány premixhez kötődő szöveges üzenet és annak besorolása

Termék (1)	Hozzászólás (2)	Tájéltás (3) 1 – negatív (5), 5 – pozitív (6)	Hasznosság (4) 1 – haszontalan (7), 5 – hasznos (8)
Sano	Beltartalmszerint jó! De Ár/érték aránya az rossz! Oltsobban lehet ugyan olyan jót, vagy jobbat is kapni!	1	4
Vitafort	A Vitafortnak is van jobb és rosszab terméke is. Beltartalmi paraméterei és ára alapján tudnék pontos véleményyt mondani. Ár/ÉRTÉK arány.	3	1
Kaluterm	Régebben az 1ik ismerősöm már próbálta -és azt mondta , h nem rossz.Igaz a hízőknak már nagyon jót adni szinte vétek. :D Amugy pedig van aki már 70 kg körül visszaveszi a fehérjét(szójtát) B=)	4	3

Table 1: Sample text messages with classification values related to feed premixes

Product(1), Comment(2), Orientation(3), Utility(4), Negative(5), Positive(6), Useless(7), Useful(8)

A véleménybányászat során tájolandó dokumentumokkal kapcsolatosan általában semmilyen megkötést nem teszünk fel. A vizsgálataink során kizárólag fórumokhoz, blogokhoz, hírekhez vagy termékismertetőkhöz fűzött megjegyzéseket használtunk, de a módszerünk tetszőleges egyéb dokumentumtípusra alkalmazható, nemcsak ilyen rövid szöveges hozzászólások esetén. Az Internetről származó, angol nyelvű rövid szövegek ilyen jellegű elemzésével először *Kushal et al.* (2003) cikkében találkozhatunk, ahonnan egyébként a véleménybányászat kifejezés is származik. Aszerint, hogy a szöveg egészéhez, vagy annak csak egyes részeihez rendelünk tájolás és/vagy hasznossági értékeket, megkülönböztetünk dokumentum szintű, bekezdés szintű, mondat szintű és kifejezés szintű hozzárendelési módszereket. A rövid szöveges üzenetek feldolgozása esetén értelemszerűen elegendő a dokumentum szintű hozzárendeléssel foglalkozni.

A véleménybányászathoz kapcsolódó, ezredforduló előtti eredmények kitűnő összefoglalóját találjuk *Pang és Lee* (2008) munkájában, ahol tájolási osztályozáshoz számos felügyelt, illetve felügyelet nélküli módszert is bemutatnak a szerzők. Vizsgálataink során a felügyelt tanulási módszereket alkalmaztuk, ezért előzetes feladatként egy jó minőségű tanító és teszt adathalmaz előállítását kellett megoldani. Bár a futtatások és számítások során magyar nyelvű adatokat használtunk fel, egyik módszer sem feltételezi a nyelv ismeretét, és kellő méretű tanító halmaz előállításával akár nyelvfüggetlen tájolás és hasznosság predikció is megvalósítható. Elsősorban tehát arra voltunk kíváncsiak, hogy a tájolás és a hasznosság fogalmában rejlő különbség kimutatható-e valamilyen a kiválasztott tanuló algoritmusok tanulási és előrejelzési képességeinek vizsgálatával, illetve hogyan teljesítenek ugyanezen eljárások, ha használatuk előtt a szövegeken különböző előfeldolgozást (szavakra bontást, stopszavazást, szótövezést stb.) végzünk.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A tanító adathalmazt különféle termékismertető oldalak hozzászólásainak begyűjtésével (crawling) állítottuk elő. A webes tartalomnál elérhető egyéb attribútumok (például szerző, dátum, blokk, formázás stb.) ugyan kigyűjtésre kerültek, de a kutatás jelen fázisában még nem kerültek felhasználásra. A dokumentumokhoz a tájolási és hasznossági értékek manuálisan lettek hozzárendelve, mindkettő esetében egy 5 fokozatú skálán. Tájolás esetében az egyes érték osztályába kerültek az abszolút negatív hozzászólások, és az ötös értékbe az abszolút pozitívak. Így a hármas értéknek a semleges besorolás feleltethető meg. Hasznosság esetében hasonlóan az egyes értékkel jellemeztük a teljesen hasznavehetetlen hozzászólásokat, míg az ötös osztályzatot a leginkább informatív megjegyzések kapták.

A minél pontosabb besorolás érdekében ezt a műveletet több felhasználó is végezte, így ugyanazon dokumentum besorolása több szempontból is a rendelkezésünkre állt. Mivel ez felettébb időigényes és költséges feladat, ezért a termékek körét egyetlen fajtára korlátoztuk, és azon belül is csak pár terméktípushoz kapcsolódó hozzászólásokat vettünk bele a feldolgozásba. Az ezer hozzászólás kézi besorolásával eredményül kapott adathalmaz vizsgálatakor azt figyeltük meg, hogy az egyes osztályok elemszámai jelentősen eltérnek egymástól. Tájolás és hasznosság tekintetében is túlnyomó többségben a négyes osztályba történő besorolások voltak dominánsak.

A predikciós modelljeinket minden esetben ugyanezen a halmazon végzett háromszoros keresztvalidációval ellenőriztük oly módon, hogy az algoritmusokat az adatok kétharmadán tanítva, a kapott modell eredményességét a tanítás során fel nem használt egyharmadon ellenőriztük. A modellek előrejelzésének pontosságát a hibaarányal mértük, amely a félrekategorizált mintaelemek számának és a teljes mintaelemszám hányadosaként adódik. A mérőszám komplementer viszonyban áll az

ún. találati aránnyal, amelyet idősorok előrejelzésénél is szoktak használni az előjel-predikció eredményességének mérésére is.

Walczak (2001) pénzügyi jellegű tanulmányának tapasztalatai alapján a találati arányt akár 60%-ra is lehetett növelni, ami a jelen tanulmányban alkalmazott hibaarány szempontjából a 40%-os célkitűzést jelenti. Annnyival mégis ki kell egészíteni az előbb megfogalmazott célt, hogy az előjel-predikció során 3 lehetséges kategóriát különböztettek meg, jelen tanulmány viszont 5 kategóriás osztályozásra vállalkozik, ami nehezíti a cél elérését. Minél kevesebb kategóriával kell ugyanis dolgozni, annál nagyobb találati arány érhető el – például 2 kategória esetén Kryzanowski et al. (1993) 72%-os találati arányt érték el (szintén pénzügyi idősoron).

Az algoritmusok implementálására a Python nyelvű fejlesztő környezet Fan et al. (2005) LIBSVM szuport vektor gép, Nissen (2003) FANN neurális hálózatok, valamint Hanke et al. (2009) PyMMPA automatikus validálási moduljait használtuk.

Modellezés mesterséges neurális hálózatokkal

Ebben a részben bemutatjuk az általunk alkalmazott neurális topológiák felépítését. A bemutatás során használt fogalmak értelmezéséhez ajánljuk Borgulya (1998) monográfiáját.

A neurális hálózatok vizsgálatánál két topológiát vizsgáltunk. Az egyik topológia lineáris hipersíkokkal történő osztály-szeperációkra képes, a másikkal pedig nemlineáris szeperációkat is végre lehet hajtani. Az előbbi topológiát a tanulmányban lineáris osztályozó topológiának nevezzük (linear classifier, LC). Az utóbbit nemlineáris osztályozó topológiának (non-linear classifier, NLC) nevezzük a tanulmányban, illetve helyenként használjuk a topológiaosztály megnevezésének rövidítését: MLP (multilayer perceptron, többretegű perceptron).

Az általunk használt lineáris osztályozó topológia egy lineáris jelzési függvényű inputréteget (102 neuron) és egy tangens-hiperbolikus jelzési függvényű outputréteget (5 neuron) tartalmaz. Tikk (2007) könyvében bemutatott bináris osztályozó topológiájának továbbfejlesztett modelljéről van tulajdonképpen szó, amely már az életlen (fuzzy) halmazok elméletéhez közelebb áll.

Az alkalmazott MLP topológia pedig egy lineáris jelzési függvényű inputrétegből (102 neuron), két tangens-hiperbolikus jelzési függvényű rejtett rétegből (aktiválási sorrendben: 10 neuron, ill. 5 neuron), valamint egy tangens-hiperbolikus jelzési függvényű output rétegből (5 neuron) épül fel.

A korpuszban található szótővezett szavak közül a reprezentáció csak a 30-nál gyakoribbakat foglalja magában. (Tulajdonképpen tehát a stopszavazást kibővítettük ezekre a szavakra is). Ezzel azt kívántuk elérni, hogy a modell elegendő számú megfigyelés birtokában rendeljen csak tájoltási értékeket a korpusz szavaihoz. A kritériumnak 101 szó tett eleget (szótővezett, stopszavazott).

A lineáris jelzési függvényű inputrétegekben tehát 101 neuron feleltethető meg ennek a 101 szónak, a maradék egy neuron pedig minden dokumentumban 1-es súlyt kap – ez technikai jellegű változó, amelynek a feladata, hogy a membrán-aggregációk értékéhez konstans értékkel járuljanak hozzá (bias). Ilyen módon a tangens-hiperbolikus jelzési függvény vízszintes (abszcisszával párhuzamos irányú) eltolása helyett a fent említett technikai változóból kiinduló szinapszis-súlyok értékének változtatásával befolyásolhatjuk az tangens-hiperbolikus jelzési függvény aktivációs értékét.

A topológiák output-rétegeiben a neuronokhoz kategóriák rendelődnek, melyek száma mind a tájoltás, mind a hasznosság esetében öt-öt.

A 30-nál kevesebb szer előforduló szavak elhagyásával viszont el kell hagynunk olyan dokumentumokat, amelyek kizárólag ilyen szavakat használtak, így a neurális

hálózat tanítására felhasználható minta mérte 657 darab dokumentum lett, a tesztminta mérete pedig 330 dokumentum. (Így tartva a körülbelül kétharmad-egyharmad arányt.)

Az output neuronok a tangens-hiperbolikus jelzési függvényük miatt -1 és 1 közötti értéket képesek visszaadni, így tanítható a hálózat 1 (kategóriához tartozás) és -1 (a kategória komplementeréhez való tartozás) tanítóadatok segítségével. Ennek alternatívája az előjel jelzési függvény, amely azonban a tangens-hiperbolikussal szemben szakadásos függvény. A tangens-hiperbolikus függvény segítségével azonban életlen hozzátartozások könnyebben modellezhetők. A tangens-hiperbolikus jelzési függvény nemlineáris számításokban való alkalmazására mutat példát *Cotton és Wilamowski* (2011) friss tanulmánya is.

A jelen tanulmányban bemutatott két neurális hálózat algoritmus az azt tanulja, hogyan lehet megállapítani egy dokumentum (hozzászólás) tájolását, illetve hasznosságát.

A tanítóadatoknak és a jelzési függvényeknek a fenti módon történő megválasztásának a következménye, hogy az output neuron membránaggregációjának pozitívitása – és így a kategóriához való tartozás – a bemenő szinapszisok súlyainak pozitívitásától függ.

A megfelelő topológiák kiválasztásához előzetesen 4, egymástól a rejtett rétegek számában eltérő topológiát különböztettünk meg. Az első topológia a lineáris osztályozó volt, amelynek tulajdonképpen nincs rejtett rétege (inputréteg szélessége: 102; outputréteg szélessége: 5). A következő topológia az 1 rejtett réteget tartalmazó MLP topológia (továbbiakban: MLP1; inputréteg szélessége: 102; rejtett réteg szélessége: 5; outputréteg szélessége: 5). A 2 rejtett rétegű MLP topológia (MLP2) paraméterei: inputréteg szélessége: 102; első rejtett réteg szélessége: 10; második rejtett réteg szélessége: 5; outputréteg szélessége: 5. A 3 rejtett réteggel rendelkező topológia (MLP3) paraméterei: inputréteg szélessége: 102; első rejtett réteg szélessége: 10; második rejtett réteg szélessége: 5; harmadik rejtett réteg szélessége: 5; outputréteg szélessége: 5.

A topológiákat sztenderd módon hasonlítottuk össze előzetes futtatások során. A tanulási ráta 0,01, az epochszám 150-es paraméterbeállításai mellett a háromszoros keresztvalidáció során kapott minimális tájolási hibaarányú topológiát kerestük további elemzés céljából, az így megjelölt topológiának és a lineáris osztályozó topológiának az összehasonlítására szűkítve le az elemzést. (Amennyiben a minimális hibaarányú topológiának éppen a lineáris osztályozó bizonyult volna, akkor a második legkisebb hibaarányú topológiával dolgoztunk volna tovább.)

Az előzetes vizsgálat eredményét a 2. táblázatban foglaltuk össze.

2. táblázat

A tájolási értékek becslésének hibaaránya különböző topológiák esetén

	MLP3	MLP2	MLP1	LC
Tanítóminta (1)	10.83%	7.93%	14.19%	24.42%
Tesztminta (2)	57.44%	54.71%	56.63%	56.83%

Table 2: Prediction error ratios of sentiment orientation values using several topologies

Training sample(1), Test sample(2)

A 2. táblázatban látható eredmények miatt tehát az MLP2 topológia került kiválasztásra a lineáris osztályozó topológia mellé.

Az Eredmény és értékelés részben bemutatjuk, hogyan teljesített a kétféle topológia a dokumentumok tájolási és hasznossági értékeinek becslésében. A becslés jóságát a

tesztmintán elért (keresztvalidáció) hibaarányal mértük. Az eredményeket 0,01 tanulási rátával kaptuk. A vizsgálat az epochszám megválasztásának hatását úgy küszöböli ki, hogy az epochszám viszonylag széles tartományában figyeltük meg a topológiai tesztmintán elért hibaarányát.

Modellezés szupport vektor gépekkel

Szövegbányászat esetén a szupport vektor gépek alkalmazása igen kedvelt eljárás, hiszen ez az eljárás sokdimenziós terekben is gyorsan képes az egyes osztályokat elválasztó hipersíkok megtalálására. Mind a tájéltás, mind pedig a hasznosság esetében a megfelelő öt osztály egyikébe történő besorolással jellemeztük az adott dokumentumot, ami többcímkés osztályozási feladatot jelent. Az eredeti SVM eljárás azonban csak egycímkés (bináris) osztályozásra alkalmas. Az egyik megoldást a bináris osztályozók kombinációja jelentheti, például az egyszerű többségi szavazás alkalmazásával. A másik megoldás az, ha az SVM gépek működését leíró kvadratikus optimalizálási modellt módosítjuk úgy, hogy a szeparáló hipersíkokat úgy próbáljuk meg meghatározni, hogy az egyes osztályoktól vett távolságokat egyszerre próbáljuk meg minimalizálni. *Qin és Wang* (2009) munkája nyomán több lehetséges megvalósítást hasonlíthatunk össze, melyek közül az egyik leggyorsabb, lineáris magfüggvényű változatot választottuk ki. Az általunk használt Crammer-féle M-osztályos módosított modell leírása tehát az alábbi *Crammer et al.* (2001):

$$\text{Célfüggvény: } \min(\mathbf{w}, \xi) = \frac{1}{2} \cdot \sum_{m=1..M} \mathbf{w}_m^T \cdot \mathbf{w}_m + C \cdot \sum_{i=1..l} \xi_i \quad (1)$$

$$\text{Korlátozó feltételek: } \mathbf{w}_{yi}^T \Phi(\mathbf{x}_i) - \mathbf{w}_m^T \Phi(\mathbf{x}_i) \geq 1 - \delta(y_i, m) - \xi_i \quad i=1..l, \text{ és } \xi_i \geq 0 \quad (2)$$

Ahol l a dokumentumok, M pedig az osztályok számát jelöli, $\mathbf{w}$ pedig a szeparáló hipersíkok normálvektora. A Φ tetszőleges kernel függvény lehet, melyek közül mi a lineáris változatot választottuk. A δ az úgynevezett Kronecker delta függvény, amelyik az argumentumok egyenlősége esetén 1-et, különben pedig 0-át ad eredményül.

Az $\mathbf{x}_i$ tanító vektorhoz tartozó címkét y_i -vel jelölve egy ismeretlen címkéjű $\mathbf{x}$ vektor esetén az alábbi döntési függvénnyel rendeljük hozzá a fenti modell által becsült osztálycímkét:

$$\text{Predikció: } \operatorname{argmax}_{m=1..M} (\mathbf{w}_m^T \Phi(\mathbf{x})) \quad (3)$$

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

A minta korpuszban található dokumentumból az előfeldolgozottsági állapotuknak megfelelően négyféle változat készült az elemzésekhez. Az első változat az eredeti szöveg szóközöknél tagolt (nyers) felbontása volt. A második az írásjelek figyelembevételével vett szóelemekre bontás (tokenizált) változat, a harmadik lépésben már a töltelék és lényegtelen szavaktól mentes (stopszavazott) változat volt, melyet a végén a szótövezett változat zárt. A stopszavazásnak és a szótövezésnek létezik nyelvfüggetlen megvalósítása is, de ezen lépések egy automatikus nyelv detektálás után hatékonyabban is elvégezhetők.

Minden szövegváltozatot minden modell esetében a szószák modell alkalmazásával transzformáltunk a tanulási módszerekhez alkalmas a szó-dokumentum mátrix (term-document matrix, TDM) adatszerkezeté. A neurális hálózatok esetében a TDM mátrix elemei a bináris súlyozásnak megfelelően az adott szó dokumentumba való beletartozását jelölik, míg a szupport vektor gépek esetén az adott dokumentumba való tartalmazás információ tartalmát mérő entrópia súlyozást használtuk.

A tájéltási értékek becsülhetősége mesterséges neurális hálózatokkal

Az optimálisan betanított lineáris osztályozó esetében az inputréteg és az outputréteg közötti szinapszisok (kivéve a technikai változó) súlyai azt mutatják meg, hogy az adott

szó milyen hatással van a hozzászólás tájolására (tájolási adatok esetén). Amennyiben egy szónak megfelelő input neuron és egy kategóriának (tájolási mértéknek) megfelelő output neuron közötti szinapszis negatív, akkor az adott szó tájolása nem áll közel az adott kategóriának megfelelő tájolási értékhez. Amennyiben a szóban forgó szinapszis súlya pozitív, akkor a szó tájolása közel áll az adott kategóriához. Az elmondottak alapján tehát előfordulhat, hogy egy szónak nincs igazán tájolása, illetve az is, hogy többféle tájolása is lehet – nyilván a kontextustól függően.

A hibaarány változása az epochszám függvényében eltérően alakul a két vizsgált topológián a tájolási értékek esetében. Az 1. ábrán a folytonos vonal mutatja a lineáris osztályozó hibaarányát a keresztvalidáció során, az abszcissa tengelyen az epochszám látható logaritmikus skálán. A szaggatott vonal ugyanezen mértéknek az MLP topológiájú neurális háló által a tesztmintán becsült kategóriák hibaarányát mutatja az epochszám függvényében.

1. ábra

A tájolási értékek becslésének hibaaránya az epochszám függvényében

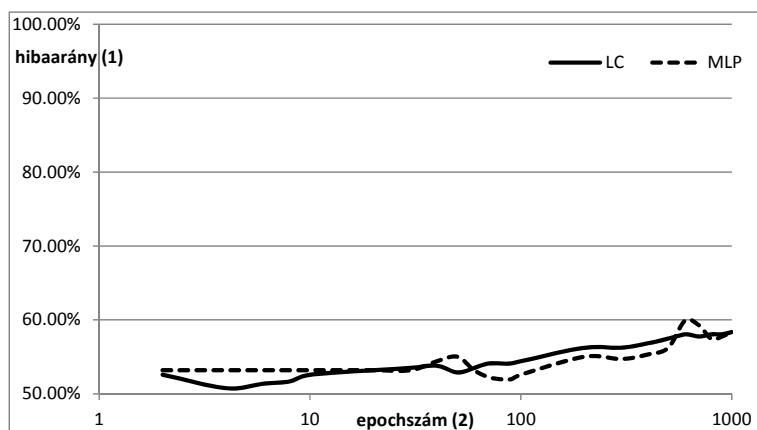


Figure 1: Prediction error ratios of sentiment orientation values according to number of epochs

Error ratio(1), Number of epochs(2)

Az 1. ábráról leolvasható, hogy a lineáris osztályozó gyorsan rátanul a tanítóminta segítségével az egyes kategóriák között húzható hipersíkok helyzetére: a keresztvalidáció hibaaránya 4 epoch alatt eléri a minimumát, az 50,76%-ot. Ezután pedig lassulva növekszik, ez az oka, hogy logaritmikus skálán mértük fel az epochszámot. Az MLP viszont viszonylag sokáig nem képes felismerni a minta struktúráját, majd rövid ingadozás után általában ugyanúgy lassuló növekedésbe kezd a hibaarány, mint a lineáris osztályozó esetében. Ennek minimuma a századik epoch környékén tapasztalható (51,98%), amely valamivel felette van a lineáris osztályozó minimális hibaarányánál.

A hasznossági értékek becslhetősége mesterséges neurális hálózatokkal

A tájolási értékek becslhetőségét leíró rész nyitó gondolatmenetét alkalmazva a hasznossági értékekre, előfordulhat, hogy egy adott szó hasznosságát nem tudjuk

megállapítani, vagy pedig többféle hasznosságot is képviselhet – függően attól, hogy milyen más szavak mellett található.

A 2. ábra azt mutatja meg, hogyan változik a hasznossági értékek becslésének hibaaránya az epochszám függvényében a két vizsgált topológián. A folytonos vonal a lineáris osztályozó hibáját mutatja keresztvalidáció során, az epochszám függvényében. A szaggatott vonal ugyanezen mértéknek az MLP topológiára vonatkoztatott értékeit ábrázolja.

2. ábra

A hasznossági értékek becslésének hibaaránya az epochszám függvényében

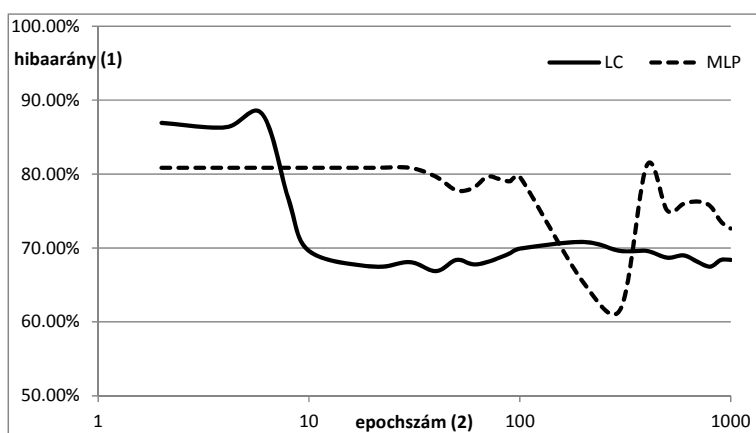


Figure 2: Prediction error ratios of utility values according to number of epochs

Error ratio(1), Number of epochs(2)

A lineáris osztályozó ismét gyorsan képes olyan hipersíkok felismerésére, amelyekkel nem csak a tanítómintán, hanem a tesztmintán is egyre jobb szeparációt lehet megvalósítani. A hatodik epoch után elkezd csökkenni a keresztvalidáció hibaaránya, amely a tizedik epoch után stabilan 70% környékén marad. Ez a hibaarány persze messze elmarad a tájéltási értékeknél megfigyelttől, azonban a véletlenhez képest jobb eredményt ad. Az MLP viszont ismét viszonylag sokáig nem képes felismerni a minta struktúráját, majd nagyon enyhe ingadozás után gyorsan csökkenni kezd (200-300. periódus környékén 65-61% körül alakul az értéke). Ezután általában erős túltanulás figyelhető meg, a hibaarány megugrott, majd lassan csökkent.

Látható tehát, hogy a hasznossági értékek becslése az alkalmazott modell alapján korántsem ad elfogadható eredményt, és az is látszik, hogy a tájéltási értékekhez képest is jóval nehezebben becsülhető a hasznosság a rövid szöveges üzenetek esetében.

A tájéltási értékek becsülhetősége szupport vektor gépekkel

A tájéltási címkékre háromszoros validációval kapott összesítő eredmények táblázatát a 3. táblázat mutatja. A C büntető költség különböző értékeire kapott modellek közül a legkisebb hibát (45,05%) a C=1000 érték mellett kaptuk. Ráadásul ez az érték a stopszavazott előfeldolgozottsági szint mellett adódik. Vagyis a szótővezés – mint a leginkább nyelvfüggő eljárás – kiküszöbölhető. Ekkora hiba mellett ugyan a módszer gyakorlati alkalmazhatósága

(legalábbis az adott tanító mintán) megkérdőjelezhető. De mint látni fogjuk, számunkra inkább az a tény fontosabb, hogy a hiba 50% alá csökkenthető.

3. táblázat

Tájéloási értékek osztályozási hibája lineáris szupport vektor módszer mellett

SVM hiba (1)	Nyers szöveg (2)		Tokenizált szöveg (3)		Stopszavazott szöveg (4)		Szótővezett szöveg (5)	
C	Átlag (6)	Szórás (7)	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
0.001	68,23%	7,07%	48,36%	4,46%	48,36%	4,46%	48,06%	4,43%
1	48,17%	4,88%	48,06%	4,19%	47,97%	4,02%	47,66%	4,01%
1000	48,97%	5,60%	45,05%	2,63%	45,05%	2,63%	45,23%	4,72%
3000	48,86%	3,27%	47,05%	1,60%	46,76%	4,50%	46,76%	4,50%

Table 3: Prediction error ratios of sentiment orientation values using Linear SVM

SVM error(1), Raw text(2), Tokenized text(3), Text after removing stop words(4), Stemmed text(5), Mean(6), St. dev.(7)

A hasznossági értékek becslhetősége szupport vektor gépekkel

A 4. táblázat hasonló futtatások eredményeit mutatja, de nem a tájolás, hanem a hasznossági címkék esetén. A kapott eredmény abban is hasonlít az előzőekhez, hogy itt is a C=1000 érték mellett sikerült a legkisebb hibát elérni, és ráadásul ugyanúgy a stopszavazott előfeldolgozás mellett. Az 59,13%-os hibaarány mellett azonban egyáltalán nem beszélhetünk érdemi tanulásról.

4. táblázat

Hasznossági értékek osztályozási hibája lineáris szupport vektor módszer mellett

SVM hiba (1)	Nyers szöveg (2)		Tokenizált szöveg (3)		Stopszavazott szöveg (4)		Szótővezett szöveg (5)	
C	Átlag (6)	Szórás (7)	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
0.001	84,22%	5,19%	84,02%	5,80%	84,62%	5,54%	85,22%	5,39%
1	68,23%	7,07%	66,20%	6,50%	66,13%	5,50%	65,23%	4,77%
1000	65,43%	6,16%	59,14%	4,50%	59,13%	4,61%	61,20%	4,12%
3000	65,37%	5,72%	60,54%	5,37%	61,34%	4,97%	62,24%	4,69%

Table 3: Prediction error ratios of utility values using Linear SVM

SVM error(1), Raw text(2), Tokenized text(3), Text after removing stop words(4), Stemmed text(5), Mean(6), St. dev.(7)

KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredmények alapján egyértelműen megállapíthatjuk, hogy a tájolás és a hasznosság lényegükben különböző fogalmak. Hipotézisünk, miszerint a tájolás erősebben kötődik a dokumentum objektív tartalmához, míg a hasznosságot inkább az olvasó szubjektuma

határozza meg, kétszeresen is igazolást nyert. Mind a mesterséges neurális hálózatok, mind pedig a szupport vektor gépek alkalmazásakor azt tapasztaltuk, hogy a tájéltáshoz található tanuló algoritmusához képest (noha az nem is túl hatékony), a hasznossági értékek esetében a felügyelt tanulósi módszereknek még az optimalizált változatai sem adtak értékelhető eredményt.

Mindez abba az irányba tereli a további kutatásainkat, hogy ha a hasznosságnak létezik egyáltalán dokumentumokra épülő tanuló modellje, abban vagy a szózsák modellnél pontosabb ábrázolási technikára van szükség, vagy a dokumentum egyéb tulajdonságait (hossz, helyesírás, írásjel-szám-betű arány stb.) is be kell vonni a modellbe. Érdemes továbbá magán a szövegen kívül a webes dokumentumok egyéb attribútumait is (szerző, dátum, menü stb.) bevonni a jellemzők közé.

Eredményül megfogalmazhatjuk, hogy az itt bemutatott módszerek bármelyike alkalmas arra, hogy a tanulhatóság megvizsgálásával tetszőleges dokumentum címkéről eldönthessük, hogy az inkább az objektumhoz köthető címke, vagy a címkéző felhasználó szubjektív véleménye.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás technológiai háttérét az Új Magyarország fejlesztési terv pályázatának GOP-1.1.1-09/1-2009-0019 projektjében résztvevő partnereink biztosították.

IRODALOM

- Borgulya, I. (1998): Neurális hálók és fuzzy-rendszerek. Dialóg Campus : Pécs, 226 p.
- Cotton, N.J., Wilamowski, B.M. (2011): Compensation of Nonlinearities Using Neural Networks Implemented on Inexpensive Microcontrollers. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 58. 3. 733-740. p.
- Crammer K., Singer Y., Cristianini N., Shawe-taylor J., Williamson B. (2001): On the algorithmic implementation of multiclass kernel-based vector machines. Journal of Machine Learning Research, 2. 265-292.
- Fan R.E., Chen P.H., Lin C.J. (2005): Working set selection using second order information for training SVM. Journal of Machine Learning Research 6. 1889-1918. p.
- Hanke M., Halchenko Y.O., Sederberg P.B., Hanson S.J., Haxby J.V., Pollmann S. (2009): PyMVPA: A Python toolbox for multivariate pattern analysis of fMRI data. Neuroinformatics 7. 37-53. p.
- Kryzanowski, L., Galler, M., Wright, D.W. (1993): Using Artificial Neural Networks to Pick Stocks. Financial Analysts Journal 49. 4. 21 p.
- Kushal D., Lawrence S., Pennock D.M. (2003): Mining the peanut gallery: Opinion extraction and semantic classification of product reviews. In: Proceedings of WWW-03, 519-528. p.
- Liu B. (2010): Handbook of Natural Language Processing. 2nd Edition, CRC Press LCC, ISBN13 9781420085938, 627-660. p.
- Nissen S. (2003): Implementation of a Fast Artificial Neural Network Library, Report 31. Department of Computer Science University of Copenhagen (DIKU) 1-88. p.
- Pang B., Lee L. (2008): Opinion mining and sentiment analysis. In Foundations and Trends in Information Retrieval 2. 1-2. 1-135. p.
- Qin Y., Wang X. (2009): Study on Multi-label Text Classification Based on SVM. Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2009. FSKD '09. Sixth International Conference on, ISBN: 978-0-7695-3735-1, 300-304.

- Tikk D. (szerk.) (2007): Szövegbányászat. Typotex : Budapest, 294. p.
Walczak, S. (2001): An Empirical Analysis of Data Requirements for Financial Forecasting with Neural Networks. Journal of Management Information Systems, 17. 4. 203-222. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Kovács Balázs

Pécsi Tudományegyetem, Közgazdaságtudományi Kar
7622 Pécs, Rákóczi út 80.

University of Pécs, Faculty of Economics

H-7622 Pécs, Rákóczi út 80.

Tel.: 36-72-501-599/3113, Fax: 36-72-501-553

e-mail: kovacs.balazs.ktk@gmail.com



Milyen legyen egy adatbányászati szoftver elemzése?

Szommer K.

Budapesti Corvinus Egyetem, Számítástudományi Tanszék, 1093 Budapest, Fővám tér 8.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az adatbányászati eszközök széles körben elterjedtek, szolgáltatásaik terén kezdenek homogénné válni. A szoftverelemzések és prezentálásuk nem követik a piaci igények változását. Olyan szempontokat elemeznek, amelyek kiegészítésre szorulnak. A cégek számára fontos, hogy a számukra megfelelő szoftvert válasszák, így pontosabb, részletgazdagabb elemzésekre van szükség. A jelenlegiekkel ellentétben olyanokra, amelyek egymással összevethetőek, a szoftverpiac fejlődését részleteiben képesek bemutatni. Visszatekintve az időben sokféle elemzés található, azonban nem jellemző rájuk, hogy átvesszik más módszerekből a hasznos részeket. Az elemzési módszereket megvizsgáltam és a megfelelőket egybeolvasztottam, hogy egy sikeresebb és részletgazdagabb, integrálható elemzési módszer jöjjön létre. Megadtam azokat az új szempontokat, amikkel az elemzéseket a cégek érdekében bővíteni kell. Meghatároztam az egyes kategóriák súlyait is, továbbá elkészítettem egy hozzá tartozó megfelelő grafikai megjelenítési mód alapjait is. Az így felvázolt elemzési és megjelenítési módszert más szoftverekhez is eredményesen fel lehet használni.

(Kulcsszavak: adatbányászat, elemzési módszer, ábrázolás)

ABSTRACT

What should the analysis of a data mining software be like?

K. Szommer

Corvinus University of Budapest, Department of Computer Science, H-1093 Budapest, Fővám tér 8.

The data mining tools are widely spreaded and started to become homogeneous in their field of service. The software analyses and presentations don't follow the changes of the demands on the market. Such aspects are analyzed, that must be amended. Companies want to choose the best data mining tool, that's why there is a need for more accurate and detailed analyses. Not like the current ones that cannot be compared with each other, it can show the details of the development/improvement of the software market. If we look back in time, many analyses can be found, but typically they did not mention the useful details of other methods. I examined the analysis methods and I created new criterias, that should be added to the analyses for the companies. I determined the weights of each category, furthermore I prepared the basics of a graphical presentation method as well. The aforementioned analysis technique and presentation method can also be used for other softwares.

(Keywords: data mining, analysis method, presentation)

BEVEZETÉS

A mai modern adatbáziskezelő rendszerek számára már nem jelent gondot a jelenlegi adatmennyiség gyűjtése és tárolása, így az értékes információkat tartalmazó adatokat el

tudjuk menteni. A problémát ezekből az adatokból a rejtett információ kinyerése jelenti. Az adatbányászati algoritmusnak gyorsnak, pontosnak kell lenni, a szoftvernek pedig megfelelően kell kommunikálnia a használt adatbáziskezelő rendszerrel. Mindez még nem elég, ugyanis jól szemléltethető és könnyen érthető formába kell hoznia a folyamat végén a kinyert tudást. (Cser, 2010) Különösen a publikusan elérhető adatbázisok esetén fontos a gyorsaság és a pontosság, mivel ez előnyt jelent a többi szereplővel szemben. Épp ezért fontos első lépésként a megfelelő szoftver kiválasztása, majd később a megfelelő módszer és algoritmus alkalmazása az adott problémára.

A tudásfeltárás során először megértjük az adott alkalmazási területet, valamint a felhasználási célokat (Bodon, 2010; Fayyad, 1996). Ezt követően kiválasztjuk a részadatbázisokat, amikből ki szeretnénk nyerni a tudást: ezek lesznek a forrás adatai. Ezeket a forrás adatokat megtisztítjuk, majd egy következő lépésben integráljuk. Az adatok bekerülnek egy adattárházba, ami kimondottan elemzéseket támogató adatbázis. A következőkben kiválasztjuk a megfelelő adatbányászati algoritmust, azt megvizsgáljuk, becsüljük a futási igényeit, majd alkalmazzuk. A kinyert információ alapján további finomításokat végzünk, az előző lépésekhez visszatérve. A megszerzett tudást összevetjük az elvárásokkal. A sikeres adatbányászati projektek azt mutatják, hogy van egy „egyharmad-kétharmad szabály”, amely azt mondja ki, hogy a munka akkor produkált jó eredményt, ha a kapott eredmény kétharmada az adott szakterületen dolgozók sejtéseit igazolja, egyharmada pedig teljesen új ismeretet szolgáltat (Cser, 2005). Látható, hogy a tudásfeltárás igen komplex folyamat. Amennyiben egy-egy lépést nem megfelelően támogat egy szoftver, az az egész folyamat hatékonyságát fogja rontani. Szükséges a megoldások megfelelő elemzése, hogy ki tudjuk választani a legmegfelelőbbet a rendelkezésre álló szoftverek közül.

1998-ban a felmérések szerint (Elder, 1998; Goebel, 1999) még sok adatbányászati szoftver esetében az adatbázis-kapcsolatok limitáltak voltak. Mindegyik szoftver más területen volt jó: jelentéskészítés, adatbázissal való kapcsolódás, több platformon való futtathatóság, különböző algoritmusok támogatása, stb. Ma ez a különbség nem ilyen éles. Az utóbbi 10 évben óriási átrendeződés történt a BI piacon. Korábban csak a nagyvállalatok teheték meg azt, hogy korszerű BI technológiákat alkalmazzanak, azonban ma már egyre több kis cég jelenik meg a piacon, amelyek megoldásaival a kis- és középvállalkozók is magas szintű technológiához juthatnak (Cser, 2010). Az 1. ábrán a BI piac változása látható 2000. és 2009. között, amely több ábra összevetéséből jött létre. A teljes körök helyzetéből következtethető a 2009-es piac körülbelüli kiegyenlítettsége.

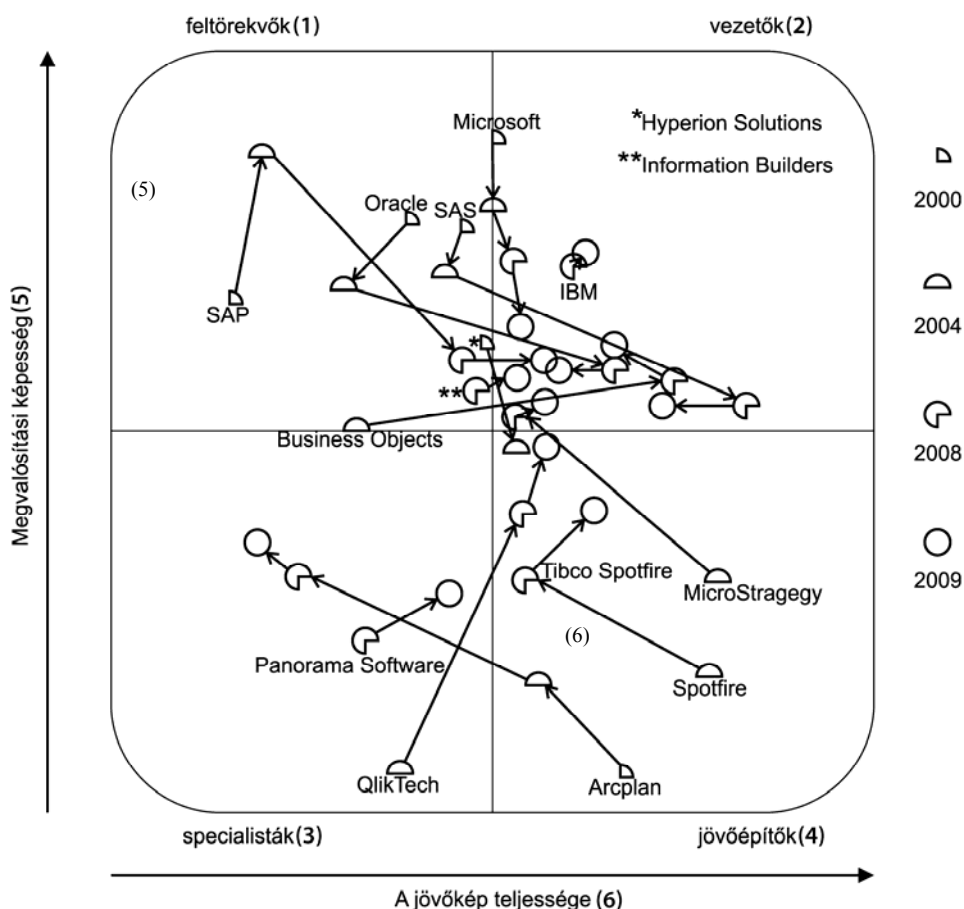
Az adattárházak piacán a három legnagyobb cég: az IBM, az Oracle és a Teradata versenyeznek a vezető szerepért (2. ábra). A vezetők többnyire a legkülönbözőbb méretű adattárházakhoz is teljes támogatást nyújtanak, valamint a piaci jelenlétük is stabilnak mondható. Többnyire rendelkeznek hardveres szövetségessel, így egy megrendelés esetén mind a szoftvert, mind a hardvert szolgáltatni tudják (Freinberg, 2010). A jövőépítők előrelátóan tekintenek az adattárház megoldásokra. Többnyire kevesebb ügyfelük van, a piaci jelenlétük nem annyira jelentős, mint a vezetőké, azonban itt jelennek meg azok a szolgáltatók is, amelyek valamilyen kivételes technológiával lépnek a piacra. Ezek az új megoldások a piacon akkor még nem bizonyítottak, így a szolgáltatóknak törekedniük kell arra, hogy megmutassák: az adott megoldás piacképes és előnyt jelent használóik számára. A specialisták csoportba tartozó szereplők legtöbbször kisebb, de igen jó adattárház-megoldást szolgáltatnak, azonban vagy regionális, vagy ipari specializációjuk miatt ez korlátozott.

Az adatbányászathoz kapcsolódó szoftvereket nehéz elemezni, értékelni, mivel ahogy az igények változnak a termékkel szemben, úgy cserélhetnek helyet a ranglistán,

így ha egyik szempontból nézve előnyösebb lenne az egyiket választani, egy másik szempontból ugyanaz a cég számára akár még hátrányos is lehet. Sok cikk foglalkozott már a BI piacon található megoldások vizsgálatával, azonban ez a piac nagyon gyorsan változik, amit az 1. ábra és a 3. ábra összevetése mutat be a legjobban. A 3. ábrán látható lista nem teljes, mivel speciális kritériumoknak kellett megfelelniük a cégeknek és a kínált alkalmazásaiknak, hogy bekerülhessenek az elemzésbe. (Kobielus, 2010) Nehéz lekövetni a fejlődési tendenciákat is (ki miben fejleszt, miben jobb és innovatívabb a többinél), továbbá csak egy általános 2, maximum 3 dimenzió szerinti ábrázolás a jellemző a szakirodalomban.

1. ábra

A BI piac alakulása 2000 és 2009 között

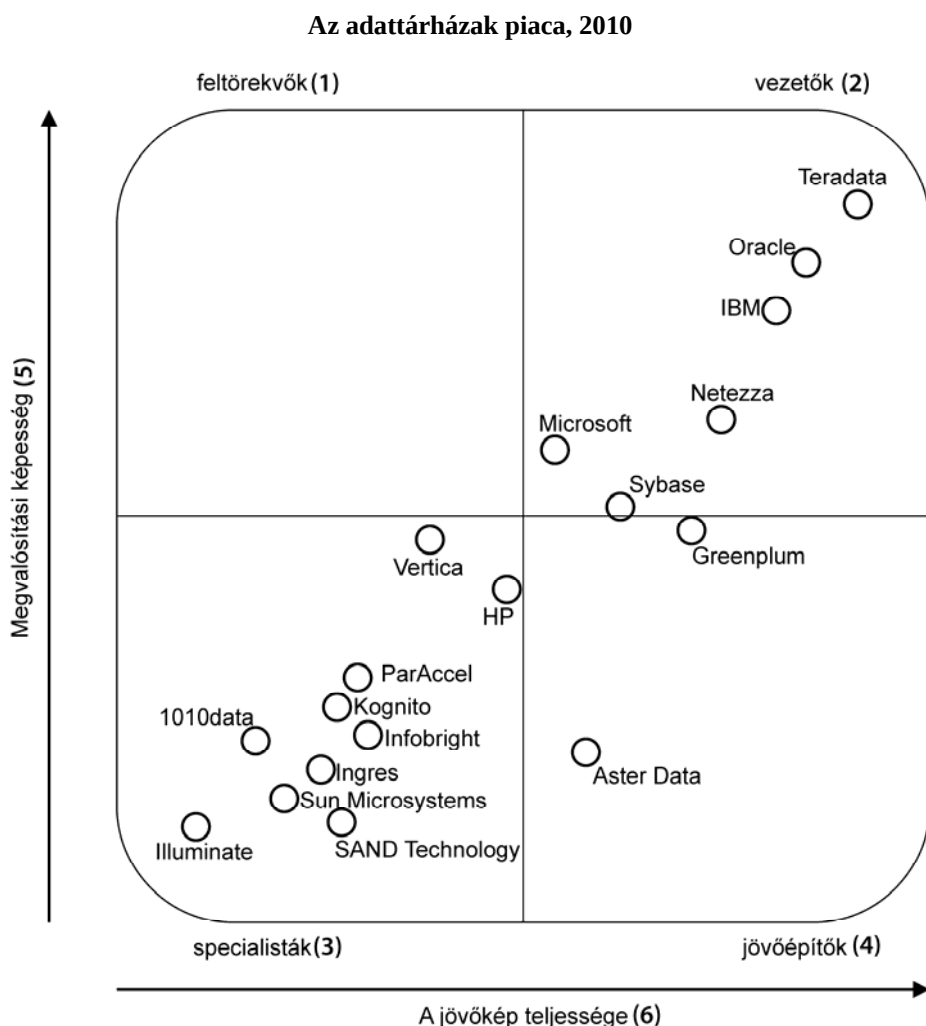


Forrás (Source): Fajsz (2010)

Figure 1: The changes on the BI market from 2000 to 2009

Challengers(1), Leaders(2), Niche players(3), Visionaries(4), Ability to execute(5), Completeness of vision(6)

2. ábra



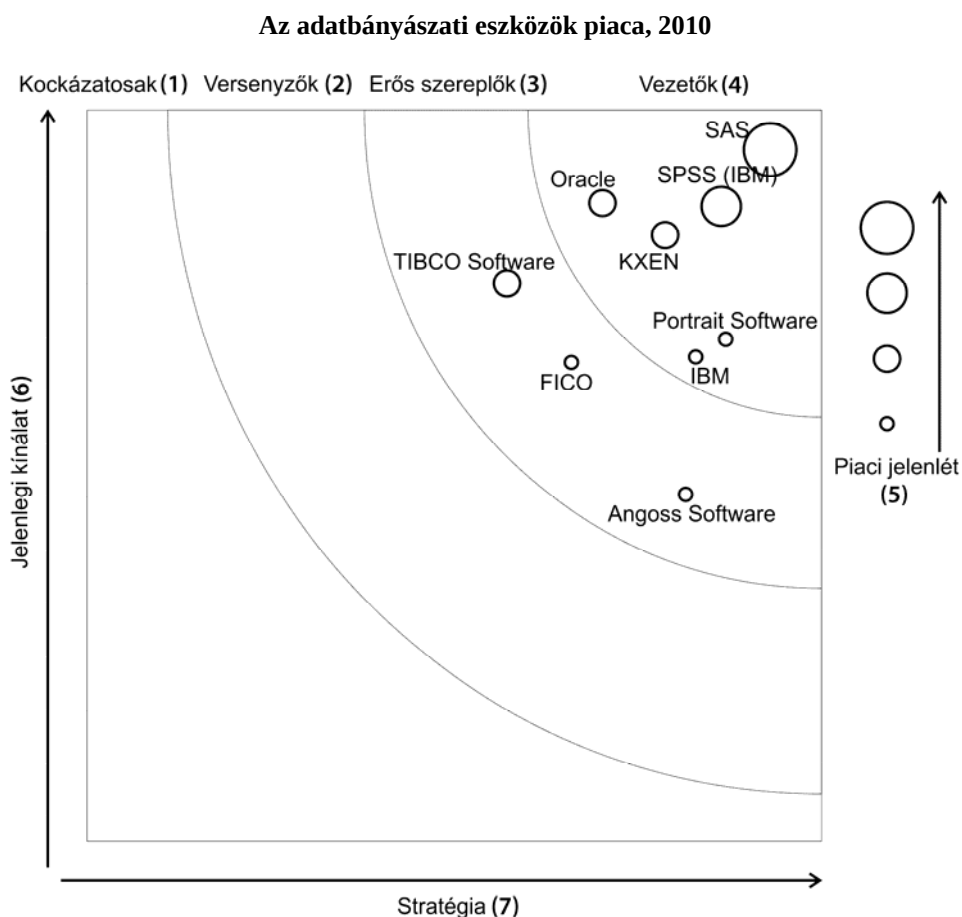
Forrás (Source): Gartner (2010)

Figure 2: The market of data warehouses, 2010

See Figure 1

Az adatbányászatot egyre több tudományterületen és iparban használják. Megtalálható többek közt az orvostudományban, az agráripárban, a banki és szolgáltatási szektorokban, és ez a szám csak nőni fog. Jellemzően az elemzés az egyre kisebb területekre is betör. A szoftverfejlesztőknek érdekében áll kiszolgálni az egyre kisebb partnereket, majd egy idő után már meg fog jelenni kkv-knál és egyéneknél is (Cser, 2010). Az elemzők elképzelhetőnek tartják, hogy néhány éven belül Software as a Service-ként is meg fog jelenni. Idővel csökkenni fog a használatukhoz szükséges képzettségi szint, valamint hosszú távon képi és videó információkat is eredményesen lehet majd bányászni. (Krauth, 2007)

3. ábra



Forrás (Source): *The Forrester Wave* (2010)

Figure 3: *The market of data mining softwares, 2010*

Risky bets(1), Contenders(2), Strong performers(3), Leaders(4), Market presence(5), Current offering(6), Strategy(7)

Egy mai cég esetében a versenyképesség fokozása érdekében fontos, hogy tudásmenedzsment szempontból is megvizsgáljuk a szoftvereket. Ebben az esetben nem elég csak a szakirodalomban található információk egyszerű összeillesztése egészzé, ugyanis többre van szükségünk: további információkra, valamint ezen információk közti kapcsolatokra. Azokra az ismeretekre is, amik csak a több szempontból, vagy ugyanabból a szempontból, de különböző időben történő értékelés során derülnek ki. A fellelhető elemzések mindegyike csak szűk látókörben vizsgálja az adatbányászati szoftvereket, valamint az elemzésekből hiányzik az egységesség, az összevethetőség.

A vizsgálatok során a főbb szempontok folyamatosan változnak, azonban ezek a változások egyre inkább a technikai oldal felé terelődnek. Régebbi cikkek (Collier, 1999;

Giraud-Carrier, 2003) többet foglalkoztak az akkori adatbányászati alkalmazások kipróbálhatóságával, megtanulhatóságával is, tehát a humán oldallal. Manapság ezen egyre kisebb a hangsúly, mivel a vizsgálatok feltételezik, hogy a szoftver használója az adott környezethez van szokva, pedig fontos, hogy olyan eszközt válasszon egy cég, ami a lehető legjobban megfelel a számára. Ezt pedig leginkább csak a kipróbálása után lehet eldönteni.

Jelen cikkemben az adatbányászati eszközök tudásszerzésre való alkalmasságának egy lehetséges mérési és ábrázolási módszerét dolgozom ki a szakirodalomban fellelhető anyagok segítségével. Ha az elemzők követik ezt a módszert, nem csak egymással lesz könnyebb összehasonlítani a szoftvereket, de képesek lesznek azokat időben is összevetni. Az egyes elemzésekhez tartozó igények változását is könnyebb lesz így bemutatni, továbbá így a külön elkészített elemzések is integrálhatóak lesznek. Egy, a szakirodalomból választott elemzésen keresztül mutatom be az általam elkészített módszertant. A cikk nem tartalmaz saját magam által végzett szoftverelemzést. A célom az eddig létező módszertanok vizsgálatával egy új elemzési módszer elkészítése volt, annak egy lehetséges megjelenítési megoldásával párosítva.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A szakirodalomban többféle módszerrel elemzik a különböző szoftvereket. A következőkben az általam kiválasztott legfontosabb elemzési módszereket ismertetem, továbbá azokat a szempontokat, melyeket a szakirodalom az adatbányászati szoftverek elemzése során jelenleg vizsgál.

Ha az elemzett tulajdonságok szerint nézzük a módszereket, a legobjektívebb elemzési módszer az, amikor először meghatározzuk a vizsgált tulajdonságok főbb csoportosítási irányvonalait, majd azokat tovább bontjuk egészen addig, amíg már elegendő információ nyerhető ki úgy is, ha csak igaz-hamis válaszokkal jellemezzük őket. (*Giraud-Carrier*, 2003) Ezt az elemzési módszertant részben jónak tartom, ugyanis az ábrázolás során előnyt jelenthet az, ha előbb a főbb csoportosítás szerint láthatjuk a szoftvert, majd további lefűrés után jutunk el a részletesebb bontásig. Az igaz-hamis válaszok azonban a piac kiegyenlítetttsége miatt nem lennének megfelelőek. Minőségi jellemzést így nem tudunk adni ezzel a módszerrel szoftverekről.

A tulajdonságbontás során nem mindegy, hogy mikre térünk ki, miket részletezünk jobban, miket kevésbé. A kiértékelés egyrészt történhet technikai oldalról (*Hen*, 2008), ahol nem az a legfőbb szempont, hogy a szoftver milyen módszereket, algoritmusokat ismer, hanem az, hogy a rendelkezésre álló szűkös erőforrásokat (processzor, memória, merevlemez írási/olvasási sebesség, hálózat, stb.) milyen hatékonysággal használja, mennyire terheli le azokat. Ezen tulajdonságok elemzése kezd a háttérbe szorulni, pedig igencsak fontos tényező. Ma már elvárt, hogy egy adatbányász szoftver ne csak a tudásfeltárás lépéseit, hanem a későbbi munkákat is támogassa, így tudásmenedzsment szempontból a főbb kategóriák eltérnek a pusztán technikai oldalról történő vizsgálatoktól.

Jelenleg nem található az előbb felvázolt bontás szerinti elemzés napjaink adatbányászati szoftvereiről. Csak aggregált információkkal találkozhatunk, melyben a vizsgált főbb tulajdonságcsoportok a következők (*Collier*, 1999; *Hen*, 2008):

- Teljesítmény: Idetartozik a robusztusság, a más, szintén a KDD folyamatot támogató szoftverrel való kommunikáció, a lehetséges adatforrások, a szoftver architektúra, valamint hogy mely platformokon képes futni;

- Funkcionalitás: Itt az algoritmusok sokfélesége, a módszertanok, a validáció, az adattípusok kezelése, a jelentéskészítés és a modell exportálása kerül elemzésre;
- Használhatóság: Ez a kategória a felhasználókkal, a felhasználói felülettel, a hibakezeléssel, valamint a vizualizációval foglalkozik. Minél egyszerűbb a szoftver használata, minél átláthatóbb, annál hamarabb tanulhatnak meg vele az alkalmazottak dolgozni. Ezen szempont szerinti értékelés sok mindentől függ, de leginkább a vállalati kultúra határozza meg, hogy számára milyen típusú kezelőfelület, logikai működés a leggyorsabban tanulható, leginkább átlátható;
- Kiegészítő feladatok támogatása: Itt szerepel minden olyan további tulajdonság, amely a KDD egyes lépéseit támogatja, például az adattisztítást, a diszkretizálást, a szűrést, stb.;
- Erőforrás-kihasználtság hatékonysága: Nem csak a szoftver paramétereit kell vizsgálni, hanem azt is, hogy milyen hatékonysággal használja ki a rendelkezésre álló hardvert;
- Ha mind az elemzésbe, mind az ábrázolásba szeretnénk az egyes elemzett tulajdonságok fontosságát mutatni, akkor a szempontok súlyozására van szükségünk. (Collier, 1999) Ebben az esetben az egyes tulajdonságok az adott szempont szerinti elemzésnek megfelelően vannak súlyozva, így nem azonos mértékben befolyásolják a végeredményt;
- A pontszámok kialakításának a módja azonban még mindig nem teljes. Az egyes szoftverek tulajdonságokon belüli pontszámai többféle módon alakulhatnak ki: vagy választani kell egy referenciaszoftvert, amihez képest a többi viszonyítva van, vagy meg kell határozni az egyes tulajdonságon belüli lehetséges kategóriákat a hozzájuk tartozó pontszámokkal. Mindkét megoldásnál fontos az előzetes felmérés. A referenciaszoftver választása esetében azért, hogy egy olyan szoftver legyen kiválasztva, amihez képest a vizsgálatok során lesz jobb is és rosszabb is, a másik esetben pedig azért, hogy a lehetséges értékelési rekeszek teljes mértékben lefedjék a vizsgálni kívánt tulajdonságok fokozatait.

Az ábrázolás régen táblázatos formában történt. Ezekben a táblázatokban viszonylag sok tulajdonság fel volt sorolva, egyes szoftverelemzésekénél a tulajdonságok súlyai is szerepeltek. Ahogy a szoftverek száma megnőtt, a táblázat így vált számok átláthatatlan halmazává, egyszerűsítésre volt szükség. A jelenlegi ábrázolási módszer viszonylag egyszerű (Kobielus, 2010; Freinberg, 2010): kettő vagy háromdimenziós ábrán szemlélteti az egyes szoftverek tulajdonságait. A harmadik dimenzió a kettődimenziós leképezés miatt csak a szoftvert ábrázoló jelnek egy tulajdonsága (például mérete). Ezek az ábrák nem képesek több tulajdonságot használhatóan bemutatni, továbbá a tulajdonságok súlyozásai sem szemléltethetők.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

A szakirodalom elemzése során kiderült, hogy tudásmenedzsment szempontból az eddigi vizsgálatokban szerepelt kategóriák nem elegendőek. A cégeknek legtöbbször az elemzés kiértékelésén túl további vizsgálatokra is szükségük van a megfelelő választáshoz, azonban az általuk elvégzett vizsgálatok már igen specifikusak, legtöbbször nem teljes körűek, valamint egymással nehezen, vagy egyáltalán nem összevethetőek. Szükség van egy olyan elemzési módszerre, amellyel a cégek szempontjából teljes körű eredményeket lehet produkálni, és amely nem változik jelentősen évről évre, hogy a különböző felmérések időben is összevethetők legyenek.

Tudásmenedzsment szempontból azért, hogy az elemzés megfelelő legyen, tovább kell bővíteni a vizsgálati szempontokat a következőkkel:

- Kipróbálhatóság: Megfelelő véleményt a szoftverről valójában csak a kipróbálása után lehet mondani, ugyanis egy technikailag megfelelő, ám a vállalati szokásokhoz, az ottani kultúrába nem illeszkedő szoftver használatának hatékonysága csökkenhet;
- Szállító piaci helyzete: Vizsgálni kell a szoftverfejlesztő cég piaci helyzetét, fejlődésének tendenciáját, mivel igen sokáig tart berendezkedni egy adatbányászati alkalmazásra és maximális hatékonysággal üzemeltetni azt, így célszerű elkerülni azokat az eseteket, amikor az adott szoftvert szolgáltató cég jövője bizonytalan;
- Bővíthetőség: Egy olyan cégnél, ahol sok a tehetséges szoftverfejlesztő, előnyt jelent az, ha az adatbányászati szoftver igény szerint bővíthető, nagymértékben testreszabható. Ha ezt lehetővé teszi az alkalmazás, akkor a helyi fejlesztők az újonnan megjelent algoritmusokat is implementálhatják vagy a már meglévőket változtathatják. Egy kisebb szabadságot engedő megoldás lehet az, amikor az adatbányászati alkalmazást szállító cég készíti el ezeket a frissítéseket, majd vagy ingyenesen, vagy megvásárolható csomagok formájában rendelkezésre bocsátja;
- Ár: Ez egy további fontos paraméter a fenntartási költséggel együtt. Mivel hosszú távra kell tervezni, így jelentős költségkülönbségek adódhatnak az egyes opciók között;
- Egyéb: Sok egyéb lehetőséget is tartalmazhatnak az egyes szoftverek, amelyek a felhasználók munkáját segíthetik, de nem létfontosságúak. Ide tartozhat például a több nyelven elérhető kezelőfelület, az adatok mértékegységeinek automatikus átváltása, valamint az eredményekből történő automatikus prezentációgenerálás is.

Az egyes tulajdonságokat más-más súllyal kell szerepeltetni. Valamelyik fontosabb, valamelyik kevésbé fontos a vizsgálat szempontjából, de egyik sem elhanyagolható. Függetlenül attól, hogy melyik mérési módszert alkalmazzuk (abszolút, referencia-szoftveres), az egyes tulajdonságok súlyai a 4. ábrán láthatóak. Természetesen az egyes rekeszeket szoftvertípustól függően további részekre lehet bontani, azonban a túl sok rekesztől az elemzés a jelenlegi ábrázolási módszerrel már nehezebben lesz átlátható, így egy részletesebb felbontás esetén célszerű újabb diagram készítése, fókuszálva csak arra az egy tulajdonságra.

Hogy képesek legyünk még több tulajdonság szerint ábrázolni a szoftvereket, szükségünk van egy új ábrázolási módszerre. A szakirodalomban kevés szoftver összehasonlítása esetén legtöbbször táblázat formájában találhatóak a részletesebb elemzések eredményei, a különböző tulajdonságok pontszámai. A vizsgált szoftverek számának növekedésével ez a táblázat egyre átláthatatlanabbá válik, az elemzések eredményei egyre nehezebben lesznek érthetőek. Nem azt gondolom, hogy a táblázat elhanyagolható, hanem arra szeretném felhívni a figyelmet, hogy megfelelő grafikus megjelenítéssel sokkal átláthatóbbá tehetjük az elemzéseket. Egy olyan ábrázolási módszerre van szükség, amely figyelembe veszi az egyes tulajdonságok súlyozását, megkönnyíti az érthetőséget. Az ábrázolás több célnak is meg kell, hogy feleljen:

- Alkalmas kell, hogy legyen több szoftver összehasonlítására. Jól ki kell, hogy emelje az egyes szoftverek erősségeit, gyengeségeit, ezeket jól láthatóvá kell tennie;
- Be kell tudnia mutatni a pillanatnyi piaci helyzetet;
- Képes kell, hogy legyen az időbeli változások szemléltetésére;
- Meg kell, hogy oldja az idővel megnövekedett igények és a múltbeli igények szerinti elemzések összehasonlítását;
- Jól láthatóvá kell tennie az egyes kategóriasúlyok változását.

4. ábra

Az elemzés során használt egyes kategóriák súlyai

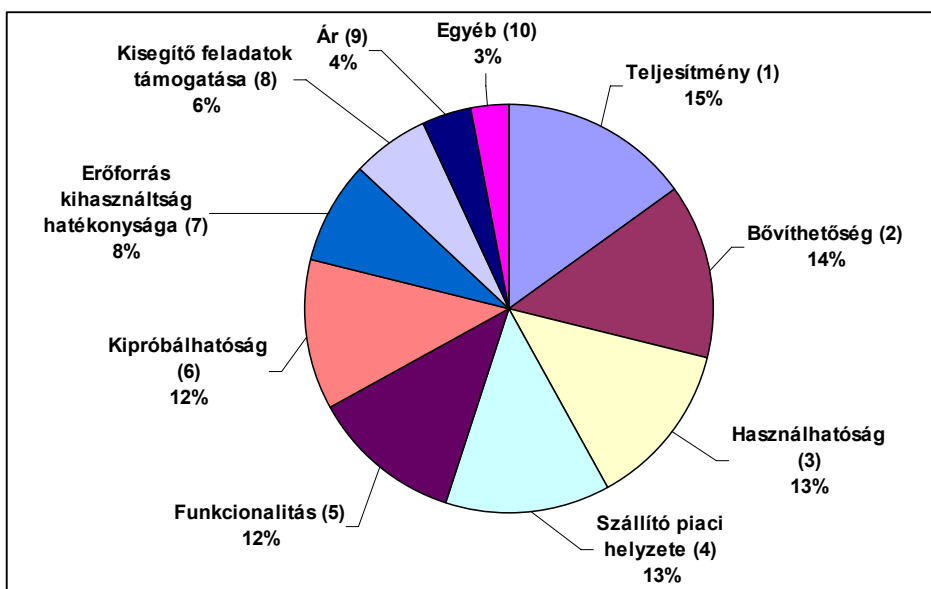


Figure 4: The weights of categories used by the analysis

Performance(1), Expandability(2), Utility(3), Supplier's market position(4), Functionality(5), Availability to try out(6), Efficiency of resource utilization(7), Availability of supporting functions(8), Price(9), Other(10)

Egy általam választott lehetséges megoldás erre az ábrázolási módra egy több rétegű pókháló-ábra készítése, amely tartalmazza a súlyozásokat. Egyes részei tetszés szerint ki/bekapcsolhatóak, átlátszó rétegei segítségével a szoftverek külön is össze-hasonlíthatóak a segítségével, vagy akár egyszerre látható rajta az összes. Ez az ábrázolási mód jól láthatóan kiemeli az egyes megoldások erősségeit, gyengeségeit. Amennyiben a felmérés során az abszolút pontozásos módszer kerül kiválasztásra, úgy képes az ábra a jelenlegi piaci kínálati minimumot is bemutatni az adott kategórián belül. Ha a pillanatnyi piaci helyzetet szeretnénk szemléltetni, tehát a szoftverek adott kategóriákon belüli teljesítőképességének szóródását, az egyes sávok határán lévő vékony vonal sűrűsödése-ritkulása ezt jól bemutatja, de a többi elemzésnél ezek a vonalak elhagyhatóak a jobb átláthatóság érdekében. Az időbeli változásokra is megoldást kínál ugyanúgy, mint a megnövekedett igények és a múltbeli igények közti különbségek bemutatására, vagy az egyes kategóriásúlyok változására. Az 5. ábrán látható pókháló-ábrázolás, amely Collier (1999) eredményeit ábrázolja, nagyon sok hasznos információt képes egyszerre megjeleníteni. A kihagyott részek információi nem álltak rendelkezésre a szoftverekről, így az ábra azon részei üresen maradtak. Azért választottam a pókhálóábra szemléltetésére Collier eredményeit, mert a szakirodalomban az adatbányászati szoftverekről az általam elkészített ábrázolási módszernek megfelelő,

pontozásos módszerrel elkészített friss elemzés nem található. Az összefésült képen jól kivehető a szoftverek pontszámának különböző tulajdonságokon belüli szóródása, valamint az a minimum, amit az elemzett szoftverek bármelyike nyújtani tud.

5. ábra

Collier (1999) eredményeinek ábrázolása pókhálóábrán

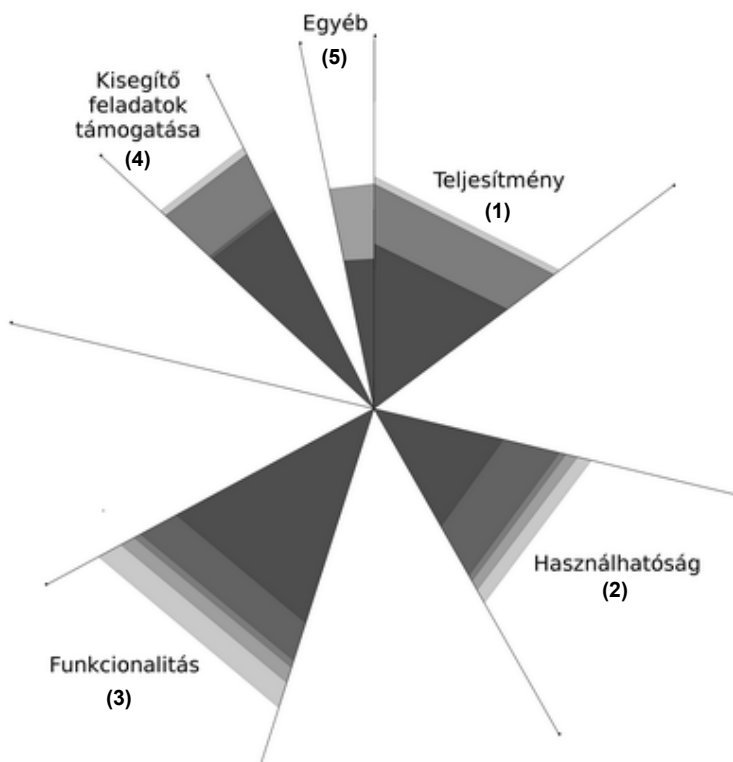


Figure 5: Presentation of the results of Collier (1999) on the spider-web diagram

Performance(1), Utility(2), Functionality(3), Availability of supporting functions(4), Other(5)

Az ábrázolásban a kategóriák összessége 360°-ot zár be, a nulla fok jelenti a függőleges tengelyen a pozitív irányt. A képpontok számozása a bal felső saroktól kezdődik, (0,0) koordinátával. Első lépésben ki kell számolni az egyes kategóriákra jutó szögeket, majd a következő vektor mutatja meg a vonalak irányát:

$$\begin{pmatrix} x + \cos(90^\circ - \sum \varphi) \cdot m \\ y - \sin(90^\circ - \sum \varphi) \cdot m \end{pmatrix} \quad (1),$$

ahol x, y a készíttendő ábra középponti koordinátái, $\sum \varphi$ az eddigi kategóriák által elfoglalt szögek összessége, m pedig az ábra nagyságának aránytényezője.

Az egyes kategóriák kezdő és záró vonalain a metszéspontra pedig a következő vektor mutat:

$$\begin{pmatrix} x + \cos(90^\circ - \sum \varphi) \cdot m \cdot \frac{p_e}{p_m} \\ y - \sin(90^\circ - \sum \varphi) \cdot m \cdot \frac{p_e}{p_m} \end{pmatrix} \quad (2),$$

ahol x, y a készítendő ábra középponti koordinátái, $\sum \varphi$ az eddigi kategóriák által elfoglalt szögek összessége, m pedig az ábra nagyságának aránytényezője, p_e az elért pontszám, p_m pedig a maximális pontszám az adott kategórián belül.

KÖVETKEZTETÉSEK

Az adatbányászati szoftverek piacán az erőhelyzet az elemzések szerint egyre kiegyensúlyozottabb lesz, így az eddig használt elemzési módszerek egyre kevésbé felelnek majd meg. Ha ez a folyamat így folytatódik tovább, négy-öt éven belül az egyéb kategória lesz a döntő a megfelelő szoftver kiválasztása során, tehát az, hogy a többihez képest milyen plusz funkciókkal rendelkezik. A kiegyensúlyozott helyzet miatt fontossá válik annak a minimális előnynek is a kihasználása, amelyet már csak egy részletesebb, pontosabb, súlyozást és egyéb szempontokat is tartalmazó elemzés során kaphatunk meg.

Az általam javasolt elemzési módszer segítségével pontosabb információkat kaphatunk az egyes tulajdonságokról. A különböző időben elkészített elemzések időben összevethetőek lesznek. Az egyes szoftverek különböző tulajdonságokon belüli fejlődési tendenciái is leolvashatóak lesznek, továbbá képesek leszünk összevetni a kereslet alakulását is (a súlyozás megváltozását). További előny lehet az is, hogy ha valaki egy-egy szempontra fókuszál csak az elemzésében, az beépíthető és felhasználható lenne. Ez a módszer nem csak az adatbányászattal kapcsolatos, hanem más típusú szoftverek összehasonlítására is használható.

A részletesebb, más szempontokra is kiterjedő elemzéseket már nem lehet megfelelően ábrázolni az eddig használt ábrázolási módszerrel, ezért szükség van egy újra, ami képes a megváltozott elvárásoknak is megfelelni. Jelen cikkhez a pókhálóábra Gimp és CorelDRAW szoftverek használatával készült.

Ez a fajta ábrázolásmód nem csak az adatbányászati, hanem más szoftverek összehasonlításainak a prezentálására is jó, például vállalatirányítási rendszerek, adatbáziskezelő rendszerek elemzésére. A Gimpel és CorelDRAW-al elkészült képek már nem módosíthatóak, rétegeik nem kapcsolhatóak ki/be, továbbá az egyes kategóriákon belüli további bontás, részletezés ezzel interaktív módon nem megoldható. Az ábrázolási bonyolultság csökkenthető lenne egy speciálisan erre a célra elkészített, mindenki által elérhető szoftverrel, amely interaktív, kinyíló diagramokat képes készíteni.

IRODALOM

- Bodon F. (2010): Adatbányászati algoritmusok. [Online] <<http://www.cs.bme.hu/~bodon/magyar/adatbanyaszat/tanulmany/adatbanyaszat.pdf>>
- Collier, K., Carey, B., Stautter, D., Marjaniemi, C. (1999): A Methodology for Evaluating and Selecting Data Mining Software. Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences 1-11. p.

- Cser L., Fajszai B., Bodnár P. (2005): Üzleti tudás az adatok mélyén. Budapesti Műszaki Egyetem/IQSYS : Budapest
- Cser L., Fajszai B., Fehér T. (2010): Üzleti haszon az adatok mélyén. Adatbányászat. Alinea : Budapest
- Elder, J.F., Abbott, D.W. (1998): A comparison of leading data mining tools. Fourth International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, New York
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P. (1996): The KDD Process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data. Communications of the ACM., 39. 11. 27-34. p.
- Freinberg, D., Beyer, M.A. (2010): Magic Quadrant for Data Warehouse Database Management Systems. Gartner
- Giraud-Carrier, C., Povel, O. (2003): Characterising Data Mining software. Intelligent Data Analysis, 7. 181-192. p.
- Goebel, M., Gruenwald, L. (1999): A survey of data mining and knowledge discovery software tools. SIGKDD Explorations 1. 1. 20-33. p.
- Hen, L.E., Lee, S.P. (2008): Performance Analysis of Data Mining Tools Cumulating with a Proposed Data Mining Middleware. Journal of Computer Science, 4. 10. 826-833. p.
- Kobielus, J. (2010): The Forrester Wave: Predictive Analytics And Data Mining Solutions, Q1 2010.
- Krauth P. (2007): Üzleti Intelligencia, Információs Társadalom Technológiai Távlatai, 3. 109-131. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Szommer Károly

Budapesti Corvinus Egyetem, Számítástudományi Tanszék

1093 Budapest, Fővám tér 8.

Corvinus University of Budapest, Department of Computer Science

H-1093 Budapest, Fővám tér 8.

Tel.: 36-1-482-7498

e-mail: ifj.szommer.karoly@gmail.com



Regionális IKT index módszertani alapja és alkalmazhatósága

Botos Sz.

Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar,
Gazdaságelemzés-módszertani és Alkalmazott Informatikai Intézet, 4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az IKT szektor egyik fontos részét a hozzáférési hálózatok jelentik. Ezek sebessége alapvetően meghatározza a rendszer használhatóságát. Magyarországon 2009-ben az átlagos garantált letöltési sebesség csak 1 Mbit/s volt, és 4 Mbit/s-os vagy afölötti sebességgel az előfizetők alig több mint egy tizede rendelkezett. A közeljövő igényeinek kielégítéséhez csak szélessávú, - mintegy 50 Mbit/s átviteli kapacitású – infrastruktúra alkalmas. Ezt a szolgáltatók saját, üzleti alapon végzett beruházásai nem biztosítják, az üzletileg kevésbé vonzó régiókban már állami beavatkozás szükséges. Bár EU támogatás is rendelkezésre áll, ez mégsem elegendő a szükséges fejlesztésekhez. Éppen ezért a fejlesztések célpontját érdemes lenne hasznossági szempontok alapján kiválasztani. Célom egy regionális rangsor felállítása a régió IKT fejlettsége alapján, mivel a fejlesztést oda érdemes időben és erőforrásban fókuszálni, ahol legjobban megtérül. Ebben az esetben fontos olyan társadalmi-gazdasági tényezőket figyelembe venni, mely valóban összefüggésben áll a szélessávú hálózatok meglétével. A cikkben bemutatom az index alapjául szolgáló NRI (Networked Readiness Index) mutatót, és vázolom az általam tervezett indexbe bevonható azon gazdasági, technológiai és társadalmi mutatók körét, melyek összefüggést mutatnak a szélessávú hálózatok hatásaival.
(Kulcsszavak: szélessávú hálózat, regionális, rangsor, beruházási döntéstámogatás)

ABSTRACT

The methodological basis and applicability of a regional ICT index

Sz. Botos

University of Debrecen, Centre for Agricultural and Applied Economic Sciences, Faculty of Applied Economics and Rural Development, Institute of Economic Analytical Methodology and Applied Informatics, H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

Access networks are important part of ICT sector. Its speed essentially defines the utility of the system. In Hungary, in 2009 the average guaranteed download speed was just 1 Mbit/s, and a little more than the tenth part of subscribers had 4 Mbit/s or more data rate. Only broadband – capacity of at least 50 Mbit/s – infrastructure is suitable for the satisfaction of claims of immediate future. It is not provided by the own investments of service providers, which based on business, so in regions, which less attractive commercially, state intervention is necessary. Although EU support also available, it is not enough to the necessary developments. Therefore would be worthy to select the target of developments on the basis of usefulness aspects. My aim is to rank regions based on the ICT development of them, because it is worthy to focus time and resources, where these will be return as quickly as possible. In this case it is important to take into

consideration such socio-economic factors, which really correlate with existence of broadband networks. In this article I present NRI (Networked Readiness Index) which is the basis of my index and I sketch the planned scope of economical, technological and social data which can be involved in my index and they correlate with effects of broadband networks.

(Keywords: broadband network, regional, rank, investment decision support)

BEVEZETÉS

A szélessávú infrastruktúra terjedése nemcsak a hagyományos ICT szektorok, de a társadalom egészét is átformálja. A nagy sáv szélesség növekvő elérhetősége üzleti növekedési lehetőséget nyújt a szolgáltatóknak (Triple Play) (Picot és Wernick, 2007), továbbá növelheti a gazdasági lehetőségeket a vidéki térségekben azáltal, hogy ösztönzi a helyi vállalkozások és a távmunka fejlesztését, valamint elősegíti az oktatáshoz és továbbképzéshez való hozzáférést (LaRose et al., 2011).

A lehetőségek ellenére a vidéki térségekben számos ellentmondás van a szélessávú infrastruktúra fejlesztését illetően. Ezek a következők:

- Állampolgári jogként emlegetik a szélessávú hozzáférést és a legújabb technológiát akarják telepíteni amely évtizedekig biztosítja a szükséges, illetve igényelt kapacitást. De sokan az e-írásutadás hiánya miatt, ha lenne elérhető infrastruktúra sem használnák, illetve csak évek múlva használnák ki;
- Mindenkihez el kell juttatni elérhető áron a gyors kapcsolatot, de ez ellentétben áll a beruházás megtérülésével;
- Sok helyen kellene beruházásokat kezdeni, de a finanszírozás nem megoldott;
- Az állami beavatkozás szükséges, de a finanszírozási nehézségek miatt csak bizonyos területeken valósulhat meg ilyen módon fejlesztés.

Ezen ellentmondások részbeni feloldására a cikkemben egy hatékonyabb szélessávú hálózatfejlesztést segítő mutatószám módszertani-elméleti alapjait mutatom be. Kiindulásom alapját jelentette az a tény, hogy a vállalatok különböző mutatószámokra alapozva határozzák meg a stratégiájukat, mely a hatékonyságot és az elérhető legmagasabb profitot biztosítja. Regionális szinten is hasonló mutatószámokra kellene alapozni a fejlesztéseket, az infrastruktúra-bővítéseket, hiszen egyre nagyobb teret nyer a regionális fejlesztések hatékonyságának kérdése, az, hogy mely térséget kell támogatni. Az indikátorba beépítendő tényezők körét pedig a témában releváns irodalmak alapján határozom meg.

Az országok fejlesztési stratégiái általában erősen kapcsolódnak a szélessávú lefedettség mértékéhez, a vidéki és elmaradott térségekben élő népesség nagyságához. Főként a magas lefedettségű aránnyal rendelkező régiók fókuszálnak arra, hogy ez az arány ne változzon, illetve növekedjen (Bouras et al., 2009). Az országos statisztikák szinte 100%-os szélessávú lefedettséget mutatnak, azonban ez a mai igények szintjén megtévesztő lehet. Az ilyen nagy arány annak a következménye, hogy a 128 kbit/s átviteli kapacitást már szélessávú hálózatnak tekintik. Tény, hogy a vidéki térségek szélessávú ellátottsága legtöbb esetben alacsonyabb színvonalú, nem egyenletes minőségű, ráadásul az árak is magasabbak (Moutafides és Economides, 2011).

Az egyik fő tényező, hogy a gazdasági teljesítmény rosszabb azon régiókban melyek a mezőgazdasági és termelői ágazatokhoz erősen kötődnek, így alacsonyabb a jövedelem is. Ez kisebb IKT költsést és beruházást (infrastruktúra és szolgáltatás-fejlesztés) eredményez (Preston et al., 2007).

A második tényezőcsoport a népességjellemzők, ide tartozik a népsűrűség és az oktatás színvonala (Turk et al., 2008), továbbá egyéb kulturális és foglalkoztatási jellemzők is. A vidéki városok – főként az alacsonyabb népsűrűségük és az épületek szórtsága miatt – kevésbé vonzóak a szélessávú infrastruktúra kialakítására, hiszen ezek technikai megvalósítása magasabb árszinten oldható csak meg (Preston et al., 2007). Emiatt – hasonlóan az USA-hoz – nálunk is a hálózati szolgáltatást nyújtó nagy- és közép vállalatok tipikusan a nagyvárosi területeken működnek, a kis kábelszolgáltatók viszont szinte kizárólagosan a vidéki térségekben. Az infrastruktúrájuk gyakran elavult és mindössze néhány száz vagy ezer háztartásnak szolgáltatnak (Wood, 2008). Az infrastruktúra kiépítése erős méretgazdaságosságot kíván és kulcstényező a költségekben a felhasználók közötti távolság. A nagyobb népsűrűségű területek kevésbé drágák az egy felhasználóra jutó beruházási költséget tekintve (Höffler, 2007). A telekommunikációs szolgáltatók ezeken a területeken nem hajlandók befektetni modern infrastruktúra-fejlesztésbe, hiszen az elvárt profit magas bizonytalanságú (Moutafides és Economides, 2011). Másik oldalról ha kiépítenék is az új generációs infrastruktúrát, valószínűleg töredékét sem használnák ki a kapacitásának.

A fenti okok miatt állami beavatkozás szükséges a piaci hibák kompenzálására, hogy mindkét oldalon segítsen megoldani a problémákat. Azonban a pénzügyi források szűkösek, így egyre nagyobb a hangsúly a fejlesztések hatékonyságán. Jelenleg a telekommunikációs piacon világszerte az egyik legnagyobb projekt területet jelentik a szélessávú hálózatfejlesztések. Az EU szintén kiemelt kérdésként kezeli a témakört, különböző hálózatfejlesztési stratégiákat, programokat dolgozott ki, és a megvalósításhoz pénzügyi forrásokat is biztosít.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A fejlesztési elemzések fő célja, hogy választ adjanak a kérdésre vajon a beruházás egy kiválasztott szélessávú hozzáférési technológiába jövedelmező-e, vagy sem (Zagar és Krizanovic, 2009). Ennek megítélésére a hálózati indikátorok részletes leírása szükséges, hiszen a piaci teljesítmény-mérések és a nemzetközi összehasonlítások egyaránt alapvető fontosságúak.

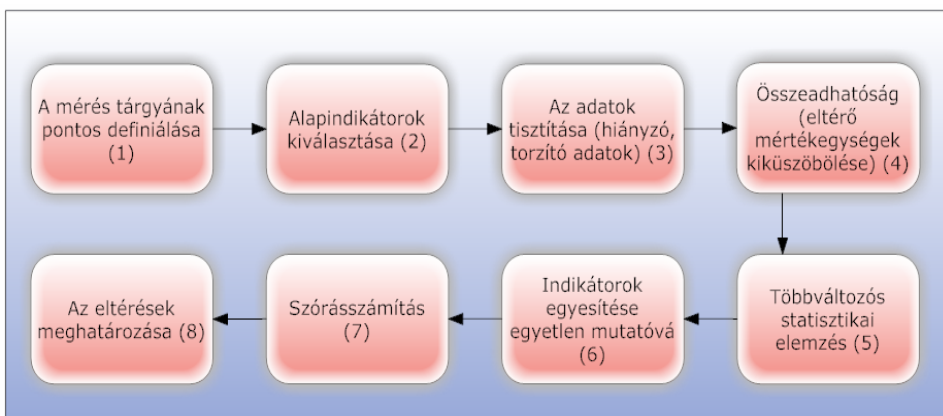
Széles az IKT fejlettség méréséhez köthető azon összetett indexek köre, melyek az információs társadalom különböző oldalait vizsgálják (Emrouznejad et al., 2010) és számszerűsítik, országos szinten. Véleményem szerint fontos lenne vizsgálni az IKT fejlettség szintjét regionális (esetleg települési) szinten is, mert ez segíthetne a gazdaságilag megalapozott régióbeli fejlesztési irány kijelöléséhez. Azon tényezők, melyek szignifikánsak a nemzetközi penetrációs különbségek magyarázatára, országon belüli, regionális különbségek magyarázatában szintén lényegesek lehetnek (Bouckaert et al., 2010).

Mindezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az elkészítendő regionális IKT indikátorba részben az országos összehasonlításokra alkalmazott NRI alapján határozok meg összetevőket, továbbá az ebben szereplő összetevőkhöz hasonló, regionális szinten is mérhető adatokat vonok be az index összetevői közé. Választásom azért esett erre az NRI mutatóra, mert hálózatfejlesztési beruházások döntéstámogatásához készülő indexről van szó és az NRI szélessávú hálózathoz kötődő társadalmi, gazdasági és technológiai összetevőket tartalmaz.

Munkám első fázisában az összetett index készítésének lépéseit tekintettem át, a folyamatot az 1. ábra szemlélteti.

1. ábra

Index készítésének folyamata



Forrás (Source): (Based on) Hanafizadeh et al. (2009) alapján

Figure 1.: The process of constructing index

Exactly definition of the subject of measure(1), Selection of basic indicators(2), Replacing and filtering the missing and distorting data(3), Additivity of the indicators (elimintaing the different units)(4), Multiple statistical analyses (correlation, regression, factor analyze)(5), Synthesis of indicators, determination the value of the index(6), Computation of deviation(7), Define the differences(8)

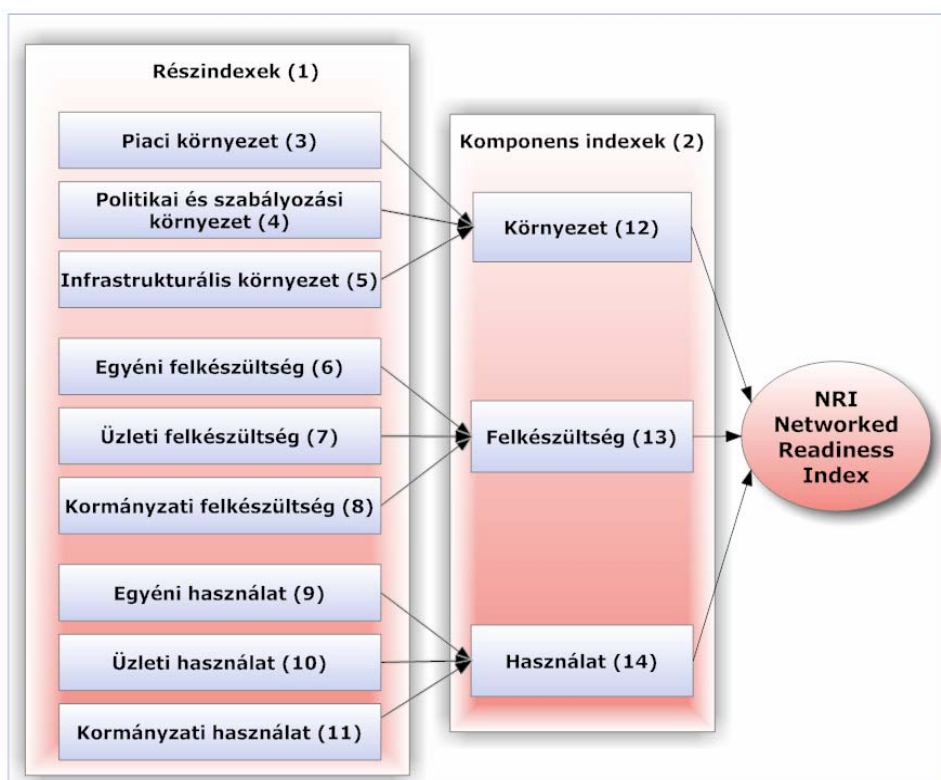
Mivel nem egy általános IKT index készítéséről van szó, hanem hálózati infrastruktúrához kötődő indikátorról, ezért az ehhez közvetlenül kapcsolódó közvetlen hálózati adatokra van szükség. Jelen esetben a hozzáféréshez, használathoz és az infrastruktúrához kapcsolódó adatokra. Az összetevők kiválasztásához az NRI jelenti az alapot, illetve saját adatgyűjtésből származó adatok, mely regionális szinten is rendelkezésre állnak. A hiányzó adatok pótlása és a torzító adatok eltávolítása után az eltérő mértékegységeket is ki kell küszöbölni. Ezután többváltozós statisztikai elemzéssel (klaszteranalízis) ellenőrizni kell az adathalmaz helyességét. Az adathalmazból még az elemzés előtt törlésre kerülnek azok a tényezők, melyek esetében van hiányzó vagy túlságosan torzító adat. Ezért az alkalmazandó módszerek megbízhatóságát az elérhető adatok megoszlása nem befolyásolja. Majd az önálló indikátorok egyesítése következik, végül a minden régióra kiszámított index szórásának mértéke adja meg az elmaradás szintjét.

A Világgazdasági Fórum évente jelenteti meg NRI rangsorát, mely azt reprezentálja, hogy az egyes országok mennyire képesek kihasználni az IKT eszközökben rejlő lehetőségeket, mennyire tudják azokat a nemzetgazdasági versenyképesség növelésének szolgálatába állítani.

Az index számot ad a vállalkozások technológia-integrációjáról, az infrastruktúrák elérhetőségéről, sőt, a kormányzati irányelvekről, technológiai és innovációs támogatásáról is (Dutta et al., 2010). A 2. ábra az NRI számításába bevont tényezőcsoportokat mutatja

2. ábra

Az NRI felépítése



Forrás (Source): (Based on) Dutta et al. (2010) alapján

Figure 2.: Structure of NRI

Subindexes(1), Component Indexes(2), Market(3), Political and Regulatory(4), Infrastructure(5), Individual Readiness(6), Business Readiness(7), Government Readiness(8), Individual Usage(9), Business Usage(10), Government Usage(11), Environment(12), Readiness(13), Usage(14)

Az NRI három fő területen (komponensben) összesen 68 számításba vett tényező segítségével vizsgálja, hogy az egyes országok mennyire készültek fel a hálózatos gazdaságra és az IKT-ben rejlő lehetőségek kiaknázására.

A három terület (komponens):

- az infokommunikáció általános gazdasági, szabályozási és infrastrukturális környezete,
- a magánszemélyek, a vállalkozások és a kormányok felkészültsége az IKT alkalmazására és hasznosítására,
- a rendelkezésre álló legújabb informatikai és kommunikációs technológiák tényleges alkalmazása.

A komponens indexbe és a végső NRI pontszámba is egyharmad arányban épülnek be az összetevők értékei.

Egy adott régió fejlettségét három tényező határozza meg, akárcsak nemzeti szinten. Az első a magánszemélyek szélessávú hálózathoz való viszonya, használata és a rendelkezésre álló IKT eszközök. A második tényezőcsoportot, mely a legnagyobb súllyal szerepel egy régió gazdasági életében a vállalati szféra, különös tekintettel a kis- és középvállalatokra, mivel ez a vállalkozói kör foglalkoztatja a nemzetgazdaság dolgozóinak 70 százalékát és a GDP-ből való részesedésük eléri az 50 százalékot (MTI, 2008). A harmadik tényező az állami szektor, mely regionális szinten az önkormányzatok és a közintézmények IKT helyzetét foglalja magában.

Regionális szinten a következő táblázat tartalmazza a már meglévő adatokat, melyek egy részét az NRI összetevői alapján határoztam meg, az adatkör másik részét pedig olyan statisztikai adatok képezik, melyek regionális szinten is rendelkezésre állnak, vagy kiszámíthatóak, vagy kérdőíves felmérés segítségével beszerezhetőek. Egy regionális index számításához szükséges tényezőket és adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

Szélessávú hálózati infrastruktúrához kötődő index tervezett összetevőinek köre

Egyéni jellemzők (1)	Vállalati jellemzők (2)	Közfélra jellemzői (3)
Optikai eléréssel rendelkező háztartások száma	Vállalkozások mérete	Eszközpark
Internet-előfizetések száma	Hozzáférési technológiák	Optikai eléréssel rendelkező települések száma
Internetkapcsolattal rendelkező háztartások száma	Vállalkozások honlapja	e-önkormányzattal rendelkező települések száma
e-business használat	Eszközállomány	e-önkormányzati szolgáltatások
Rendszeres internet használat	Kommunikációs jellemzők	Önkormányzatok szélessávú pályázati jellemzői
Munkanélküliek száma	Vállalkozások IT beruházásai, kutatás-fejlesztés	Közintézmények pályázati lehetőségei, jellemzői
Felsőfokú végzettséggel rendelkezők száma	Vállalkozások száma régióként	Szélessávú hálózat prioritása a többi programhoz képest
Szélessávú hálózathoz kötődő népességjellemzők	Vállalkozások bruttó hozzáadott értéke	Helyi, regionális szélessáv-stratégiák

Table 1.: The scope of planned components to the index which related to broadband network infrastructure

Individual characteristics(1), Enterprise characteristics(2), Characteristics of public sector(3)

A rendelkezésre álló statisztikai adatok egységesítéséhez, összehadhatóvá tételéhez, és az eltérő mértékegységgel rendelkező adatok kompatibilitásának megoldásához az NRI

által alkalmazott képletet használok, melynek számítási metodikáját az (1) egyenlet mutatja (Dutta et al., 2010).

$$6 \times \left[\frac{\text{adott terület adata} - \text{minta minimális értéke}}{\text{minta maximális értéke} - \text{minta minimális értéke}} \right] \quad (1)$$

Az adatok elemzése, alkalmazhatóságának ellenőrzése után a három komponens súlyozása következik, azaz meg kell határozni, hogy milyen arányban szerepeljenek a teljes indikátorban az egyes tényezők. Választásom előzetesen a vállalati, állami és háztartási szféra makrogazdasági teljesítményhez való hozzájárulására esett. Mivel regionálisan ez más-más érték lenne, ezért a teljes nemzetgazdasági hozzájárulást veszem alapnak, és ebből százalékosan kifejezve mennyi jut a vállalkozási, a magán és az állami szektorra. Eszerint a súlyban a vállalati szektor szerepelne legnagyobb arányban 60% (a foglalkoztatásban és a GDP hozzájárulásban betöltött jelentős szerepe miatt), a magánszektor és az állami szektor pedig azonos, 20%-os arányban lenne jelen a végső index értékében. Ez az arány az elemzési folyamat megtervezésének előzetes értéke, ez a végső fázisban – ha szükséges – a legkönnyebben változtatható tényező.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

Az indexben nem csupán a közvetlenül mérhető adatokat használnám fel, mint ahogy jelenleg a régiókat jellemzik, (például a hozzáférések száma vagy sebessége), hanem figyelembe vehetjük, hogy milyen ezek tényleges használata, a hálózat kihasználtsága, az emberek felkészültsége, a különböző elektronikus szolgáltatások elterjedtsége. Továbbá a számításokba a hazánkban létszámukat tekintve az egyik legnagyobb üzleti táborot jelentő kis-és közepes méretű vállalatok jellemzői is beépíthetők.

A cikkben egy regionálisan alkalmazható, szélessávú hálózati infrastruktúrához kötődő index számítási metodikáját vázoltam fel. Az index kiszámításához szükséges adatkör begyűjtése után a végeredmény várhatóan egy olyan indikátor, melynek segítségével pontosabban meghatározható az egyes régiók, települések szélessávú helyzete, valamint még az infrastruktúra kiépítése előtt meg lehet határozni, hogy milyen területeken van hátrányban az adott térség, mit kell fejlesztenie, hogy hatékonyan tudja kihasználni az infrastruktúra által nyújtott lehetőségeket.

Az adatkör felépítéséből következően két irányból is meg lehet határozni az elmaradottságot. Egyrészt pontosan meg lehet határozni mely résztvevő csoport mutatja a legnagyobb hiányosságot (háztartási szektor, vállalati szektor, vagy a közszféra), ezek alapján könnyebb a fejlesztési célcsoport kiválasztása. Másrészt pontosan behatárolható a fejlesztési terület, azaz infrastrukturális beruházásokra, informatikai eszközök beszerzésére, vagy a humán erőforrás fejlesztésére van szükség.

KÖVETKEZTETÉSEK

Ryszard Struzak (2010) egy tanulmányában a következőképpen fogalmaz: a tény, miszerint a megkérdezett emberek felének nincs szüksége, vagy nem akar szélessávú hozzáférést otthonra, azt jelezheti hogy a társadalom egy jelentős részének más szükségleti hierarchiája és értékrendje van és nem tudja, vagy nem érti, és/vagy nem értékeli az előnyöket, melyeket a hozzáférés kínálni tud. A szűk keresztmetszetet a háztartások és a kis-és közepes méretű vállalkozások jelentik a vidéki térségekben és a szegényebb társadalmi rétegekben. Ezen hozzáállás megváltoztatásához, további ösztönző programok és források szükségesek.

Magyarországnak is lehetősége volt hogy jelentős összegeket fordítson fejlesztésekre az operatív programokon keresztül. A fejlesztési elképzelések szoros kapcsolatban vannak a kormányzati támogatásokkal, amelyek azokat a szélessávval ellátatlan területeket támogatják, ahol a beruházás megtérülése a piaci feltételek alapján nem biztosított (*Commission of the European Communities*, 2006). Problémás azonban az ellátatlan területek pontos értelmezése, az egyes régiók szélessávú infrastruktúrához köthető jellemzői nagymértékben eltérhetnek, ezért a régiók fejlettségi szintjének mérése ebből a szempontból is fontos lehet. Erre a szélessávú fejlesztések hazai támogatási gyakorlatában még nem sikerült egyértelmű módszertant és monitoring rendszert kidolgozni. Ennek megoldására kívánok kialakítani egy olyan mutatórendszert, mely alkalmas regionális és területi elemzésekre, és annak segítségére, hogy a fejlesztési források a leghatékonyabb felhasználási helyekre kerüljenek. Ezáltal elkerülhető az indokolatlan beavatkozás a piaci folyamatokba, és lehetővé válik, hogy az állami fejlesztési elképzelések olyan módon valósuljanak meg, hogy azok célzottak és hatékonyak legyenek.

IRODALOM

- Bouckaert J., Dijk T., Verboven F. (2010): Access regulation, competition, and broadband penetration: An international study. In: *Telecommunication Policy* 34. 661-671. p.
- Bouras C., Giannaka E., Tsiatsos T. (2009): Identifying best practices for supporting broadband growth: Methodology and analysis. In: *Journal of Network and Computer Applications* 32. 795-807. p.
- Commission of the European Communities (2006): Bridging the Broadband Gap. [Online] <URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0129:FIN:EN:PDF>> [2007.09.02.]
- Dutta S., Mia I., Geiger T., Herrera E.T. (2010): The Global Information Technology Report 2009-2010. SRO-Kundig, Geneva, Switzerland
- Emrouznejad A., Cabanda E., Gholomi R. (2010): An alternative measure of the ICT-Opportunity Index. In: *Information&Management* 47. 246-254. p.
- Hanafizadeh M.R., Saghaei A., Hanafizadeh P. (2009): An index for cross-country analysis of ICT infrastructure and access. In: *Telecommunication Policy* 33. 385-405.
- Höffler F. (2007): Cost and benefits from infrastructure competition. Estimating welfare effects from broadband access competition. In: *Telecommunications Policy* 31. 401-418. p.
- LaRose R., Strover S., Gregg J.L., Straubhaar J. (2011): The impact of rural broadband development: Lessons from a natural field experiment. In: *Government Information Quarterly* 28. 91-100. p.
- Magyar Távirati Iroda (MTI) (2008): A hazai GDP felét a KKV-k adják. [Online] <URL: http://www.vallalkozoinegyed.hu/20080212/a_hazai_gdp_felet_a_kkv-k_adjak> [2011.01.15]
- Moutafides G.M., Economides A.A. (2011): Demand for broadband access in Greece. In: *Telematics and Informatics* 28. 125-141. p.
- Picot A., Wernick C. (2007): The role of government in broadband access. In: *Telecommunication Policy* 31. 660-674.
- Preston P., Cawley A., Metykova M. (2007): Broadband and rural areas in the EU: From technology to applications and use. In: *Telecommunications Policy* 31. 389-400. p.
- Struzak R. (2010): Broadband Internet in EU countries – Limits to growth. In: *IEEE Communication Magazine*, 52-57. p.

- Turk T., Blazic B.J., Trkman P. (2008): Factors and sustainable strategies fostering the adoption of broadband communications in an enlarged European Union. In: *Technological Forecasting & Social Change* 75. 933-951. p.
- Wood L. E. (2008): Rural broadband: The provider matters. In: *Telecommunications Policy* 32. 326-339. p.
- World Economic Forum. (2010): The Global Information Technology Report 2009-2010. [Online] <URL: <http://www.networkedreadiness.com/gitr>> [2010.09.02]
- Zagar D., Krizanovic V. (2009): Analyses and Comparisons of Technologies for Rural Broadband Implementation. 2009 International Conference on Software, Telecommunications & Computer Networks – (SoftCOM 2009). Croatia, Hvar, 292-296. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Botos Szilvia

Debreceni Egyetem, Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar
4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

*University of Debrecen, Faculty of Applied Economics and Rural Development
H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.*

Tel.: 36-30-337-8625

e-mail: botos.szilvia@gmail.com



IT üzemeltetésű ügyfélszolgálati rendszer kialakítása

Kupai B.

Debreceni Egyetem, Agrár és Műszaki Tudományok Centruma, Gazdálkodástudományi- és Vidékfejlesztési Kar
Gazdasági- és Agrárinformatikai Tanszék, 4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

ÖSSZEFOGLALÁS

A szervezetek egyre jobban függenek az információs technológiai szolgáltatásoktól, még abban az esetben is, ha nem ez a fő profiljuk. A felhasználók is pontosabban képesek meghatározni IT szolgáltatási követelményeiket és minőségi igényeiket, ezzel új szolgáltatásokat generálva. Az informatikai szolgáltatást nyújtó vállalatoknál - az ITIL és egyéb keretrendszerek megjelenése előtt- az incidensek, problémák elhárítását nem rendszerbe foglalva, hanem ad-hoc módon oldották meg. A modern telefonos ügyfélszolgálatnál a beérkező hívások számos adatát elemzik, kulcs teljesítménymutatókat vizsgálnak. Ezek alapján tervezhető egy help desk rendszer humán erőforrás szükséglete, javítható a munka hatékonysága, ezáltal az ügyfelek elégedettsége. A beérkező hívások különféle eloszlást mutathatnak. Egy call center a szolgáltatási szintjét a hívások hatékonyságmutatóinak, többek közt az átlagos várakozási időt vizsgálva növelheti. Ilyen sorbanállási rendszereknél különböző modellek, így az Erlang C segítségével határozhatjuk meg az átlagos várakozási időt. Ebből a formulából kiindulva meghatározható egy ügyfélszolgálat optimális alkalmazotti létszáma. Azonban az Erlang C figyelmen kívül hagy számos olyan tényezőt, melyek miatt eredménytelen lehet az alkalmazása. Munkámban szeretném bemutatni, milyen módon határozhatóak meg egy ügyfélszolgálati rendszer olyan paraméterei, melyek jelentősen befolyásolják a szolgáltatási minőséget, színvonalat, a szolgáltatást igénybevevők elégedettségét.
(Kulcsszavak: ügyfélszolgálat, Erlang C, sorbanállási rendszer, információs technológia)

ABSTRACT

The formation of a service desk based on information technology

B. Kupai

University of Debrecen, Centre of Agricultural Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural Economics and Rural Development, Business and Agricultural Informatics Department, H-4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

Today's organizations depend on information technology services, even if their main tasks are dissimilar. End-users are capable to define their IT service requirements and quality claims which results in the initiation of new services. Problems and incidents used to be solved in an ad-hoc manner and not according to any regime. Streamlined call centers analyze data of incoming calls including key performance indicators. Based on this data the human resource need of the company can be designed, while the efficiency of work exceeds past results which issues in the contentment of users. The distribution of incoming calls is diverse. The service level of a service desk can be enhanced on the grounds of the audit of efficiency indicators. In such queuing systems the average waiting time can be determined by means of the Erlang C formula. Thus the ideal and appropriate number of agents can be stipulated. Nevertheless Erlang C

neglect several factors because of which its implementation can be inefficient. I am going to introduce the allocation of important key performance indicators of a call center that significantly influence the service quality, service level and users' satisfaction.

(Keywords: service desk, Erlang C, queuing systems, information technology)

BEVEZETÉS

A service desk esetében elmondható, hogy a mennyiségi mutatók vizsgálata vezet a minőségi szolgáltatáshoz. Amikor az ügyfél az ügyfélszolgálatot szeretné elérni, minőségi szolgáltatást, gyors és magas színvonalú kiszolgálást vár el. A gazdasági válságban a minőség növelésével javíthatóak a kis- és középvállalkozások esélyei (Herdon *et al.*, 2009). Ennek elérése érdekében egy Call Center legfontosabb meghatározó jellemzője a minél több egyidejű hívásfogadás képessége, azaz a humán erőforrás és a vele összefüggésben a trunk vonalak száma.

Egy átlagos service desk költségeinek 67%-át a munkára fordított költségek (többek közt bérköltségek) jelentik. Ahhoz, hogy a vállalati humánerőforrás-szükségletet meghatározhassuk, számos tényezőt kell figyelembe venni. Rendkívül fontos az aktuális állapot tanulmányozása, az igények meghatározása. A munkaerő-szükséglet meghatározásakor a termelési-szolgáltatási tervből és a munkaköri elemzésekből indulunk ki (Vámosi, 2005). Az ügyfélszolgálat emberi erőforrás szükségletének meghatározásakor azonban egyéb tényezőkről sem szabad megfeledkeznünk, melyeket a későbbiekben ismertetek. A trunk vonalak megfelelő számának meghatározása kiemelkedő szerephez jut, mivel befolyásolják, hogy hány vonal képes hívást fogadni, mely hat az ügyfél-elégedettségre.

A vállalatok ügyfélszolgálati rendszerei eltérő méretűek lehetnek. Meghatározott számú dolgozót alkalmaznak a csökkenő hozadék elve alapján (Lazear, 2006), mely azt az összefüggést jelenti, hogy egy termelési célú ráfordítás minden újabb egységének felhasználása – egyébként változatlan feltételek mellett – csökkenő határterméket eredményez. A továbbiakban bemutatom a munkaerő szükséglet meghatározásra alapvetően használt Erlang C formulát és további számítási módokat. Munkámban ismertetem a gyakorlati alkalmazás lehetőségeit és az alkalmazotti létszám meghatározásában rejlő hibalehetőségeket.

ANYAG ÉS MÓDSZER

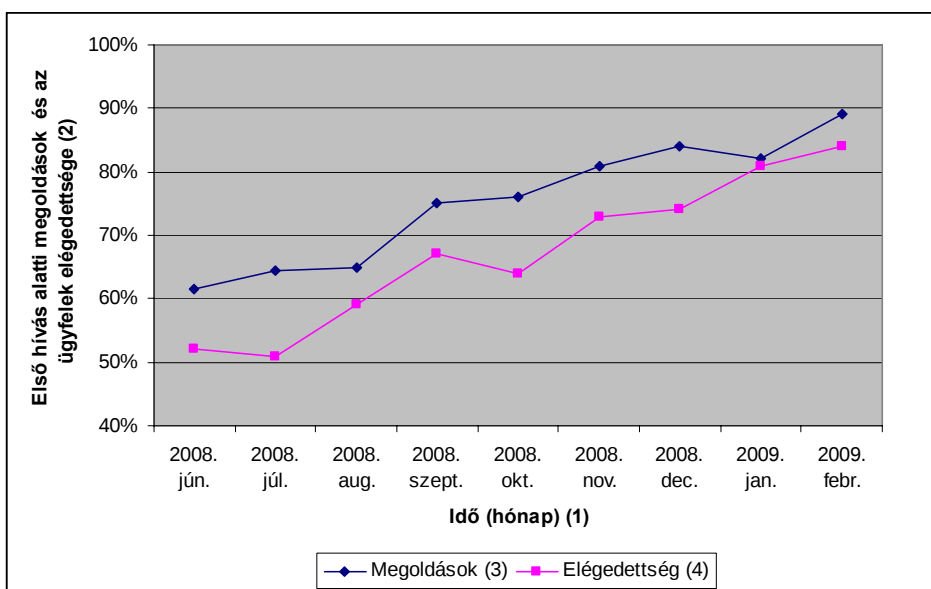
Munkámat a megbízható forrásból származó és naprakész szakirodalmi források nagymértékben segítették, de véleményem szerint a gyakorlati alkalmazás tanulmányozásával realisabb képet kaphatok. Ezért felkerestem olyan magyarországi vállalatokat, melyek számára a változás és a korszerű folyamatszemlélet bevezetésével, az információs technológia jelentőségét felismerve tettek szert hatalmas előnyökre. Mélyinterjúkat készítve ismertem meg IT szolgáltatást nyújtó vezető vállalatok ügyfélszolgálati helyzetét. Mivel ez stratégiai kérdés a vállalatoknál, nem járultak hozzá nevük feltüntetéséhez.

Az ügyfélszolgálatok funkciója, hogy hívásokat fogadjanak, incidenseket rögzítsenek és továbbítsanak, tájékoztassák az ügyfelet az incidens megoldási státuszáról. Ehhez általában több kiszolgálási szintet vezetnek be. A beérkező hívásokat igyekeznek az első vonalban megoldani. Ha az incidens nem tartozik a hatáskörükbe, a második vonalba továbbítják azt, ahol vagy megoldják, vagy a harmadik vonalba

továbbítják az incidenst (1. ábra). A szolgáltatási és a tréning típusú kérések is az ügyfélszolgálatba érkeznek be. Az incidensek bejelentése történhet az ügyfelek által vagy automatikus monitoring rendszer jelzése által.

1. ábra

Az első telefonhívás során megoldott incidensek aránya és az ügyfelek elégedettsége közti összefüggés



Forrás (Source): Zbikowski és Rumburg (2009)

Figure 1: Relation between the rate of the incidents solved during of the first phone call and the clients' satisfaction

Solved incidents during of the first phone call and the clients' satisfaction(1) Time (month)(2), Solutions(3), Satisfaction(4)

A kulcs teljesítménymutatók segítségével megérthetők a service desk erősségei és gyenge pontjai, mérhető a teljesítmény, a rendelkezésre állás folyamatossága. Számos mutatót határozhatunk meg, azonban ezeknek csak egy része eredményez költségsökkenést vagy jelentősebb pozitív változást az ügyfelek elégedettségében. A legfontosabb ügyfélszolgálati teljesítménymutatók közé tartozik: a kapcsolásonkénti költség, a felhasználói elégedettség, az alkalmazottak hasznosítása, az első telefonhívás alatti megoldások aránya, az első vonalas megoldások aránya, az alkalmazottak elégedettsége, valamint a service desk globális teljesítménye. (Zbikowski és Rumburg, 2009) Ezek a mutatók segítik a 80/20-as cél megvalósulását, mely az ügyfélszolgálat teljesítményére vonatkozik. Eszerint a hívások 80%-t 20 mp-n belül fogadniuk kell, melyet az SLA-ban (Service Level Agreement), azaz szolgáltatási szint megállapodásban rögzítettek. Az SLA-mutatót vállalatunként eltérően határozhatják meg.

A Call Centerekre tekinthetünk sorbanállási rendszerként, amikor adott szám (k db) trunk vonalon érkeznek be hívások. A munkaállomások száma (w) lehet kevesebb vagy a bejövő vonalak számával azonos. A hívásokat (N számú) kiszolgáló fogadja, ahol N kevesebb vagy megegyezik a munkaállomások számával. Ha rögzítjük az N -t, létrehozhatunk egy sorbanállási modellt, melynek bemenetei a beérkező hívások, feladott hívások, kimenete a kiszolgálók foglaltságának hosszú távú alakulása, a feladott hívások számának hosszú távú alakulása és a várakozás idejének egyensúlyi eloszlása. Az Erlang C modell segítségével meghatározható a munkaerő létszám, az Erlang B modell segítségével pedig meghatározható a trunk vonalak száma.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

A call center modelleknek, többek közt az Erlang C-nek kiemelkedő szerepe van az ügyfélszolgálatok menedzsmentjében. A sorbanállási modelleket Kendall háromrészes A/B/c jelölésével is meghatározhatjuk. Így a hívások beérkezése közötti idő eloszlásáról (A), a kiszolgálási idő eloszlásáról (B) és a kiszolgáló egységek számáról (c) tájékoztat, ahol például M a kiszolgálás vagy beérkezés exponenciális eloszlását jelenti. A továbbiakban ismertetem az Erlang A ($M/M/N+M$), az Erlang B ($M/G/N/N$), az Erlang C ($M/M/N$) modellt, valamint a négyzetgyökös biztonsági létszámfeltöltést (M/GN) (Gyarmati, 1976).

Az Erlang C formula

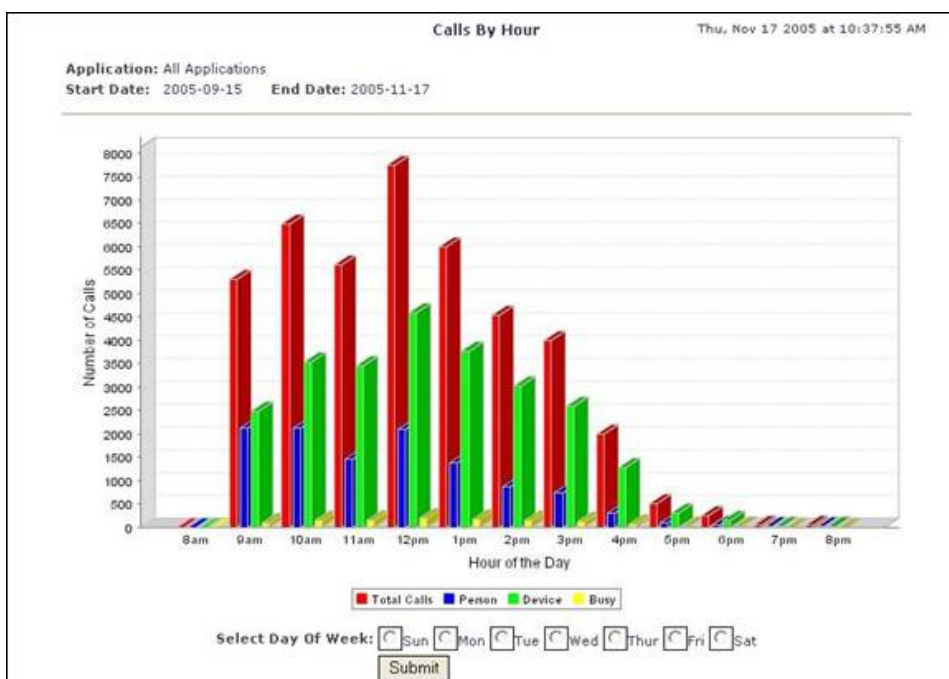
A matematikai modellek esetén feltételezzük, hogy a forgalom véletlenszerű, tehát a hívások beérkezése és befejezése egymástól független (2. ábra). A rendszer statisztikai egyensúlyban van, tehát a forgalom jellemzői vizsgált rövid periódusban nem változnak. Ezekből következik, hogy a beérkező hívások száma Poisson eloszlást mutat. A hívások érkezése közötti T idő véletlenszerűen változik és negatív exponenciális eloszlást mutat. Agner Krarup Erlang 1917-ben publikálta Erlang C formuláját (Angus, 2001). Erlang határozta meg a szolgáltatás minőségét arra az esetre, amikor k csatornára bocsátunk A forgalmat. Az a hívás, amelyik a k számú csatorna foglalt állapotában érkezik, nem kerül kiszolgálásra, hanem elvész. Tehát feltételezi, hogy minden hívás bármely csatornát el tudja érni. Így tehát meghatározható a veszteség valószínűsége (Házman, 2005). Az Erlang formula használható továbbá az átlagos várakozási idő (AWT/ Average Waiting Time), illetve a szükséges alkalmazotti létszám meghatározására.

Az Erlang C hiányosságai

Az Erlang C alkalmazhatósága számos helyen megkérdőjelezhető, mivel nem kalkulál a hívások feladásával, sem az újratárcsázó ügyfelekkel. Azonban a valóságban gyakoriak ezek az esetek, az Erlang C továbbfejlesztése, az Erlang A foglalkozik a feladott hívásokkal. Az Erlang C alkalmazásakor az általunk megadott adatok pontossága sokat számít. Így a már fent említett szolgáltatási intenzitás pontos megadása kiemelkedő szerephez jut, mivel egy rossz becslés rossz eredményhez vezet. Az Erlang C nem veszi figyelembe azt a teljes időtartamot, amikor egy kiszolgáló nem tud hívást fogadni. Ez azt jelenti, hogy egy kiszolgáló nem csak akkor nem fogad hívást, amikor éppen vonalban van. A zsugorodás (azaz shrinkage) azokra az alkalmazottakra utal, akik éppen nem fogadnak hívást, de be vannak jelentkezve a rendszerbe és készen állnak a hívásfogadásra. Ezt a mutatót %-ban szokás megadni: meghatározva ezzel a teljes munkaidőnek azt a százalékát, amikor nem voltak vonalban. A zsugorodási százalék végigkövetését, megértését további mutatók segítik. (DeHaan, 2004)

2. ábra

Egy nap során beérkező hívások eloszlása



Forrás (Source): http://www.skycreek.com/_imgs/ivr-reporting-doc.jpg

Figure 2: Distribution of the incoming call in a day

A pontos betartás a szünetek hosszán múlik, az ideális a mintegy 90%-os betartás. Ezt meghatározzák a szünetek, a hiányzások, késői érkezések, vagy ha az alkalmazottak hamar mennek haza a munkából, vagy bármilyen egyéb szünet vagy esemény, ami miatt a dolgozók nem fogadnak hívásokat. (Reynolds, 2009)

Az elfoglaltság megmutatja, hogyan viszonyul az ügyintézők telefonálással töltött ideje ahhoz az időtartamhoz, amikor rendelkezésre állnak. Azonban nem kedvező a 100%-os elfoglaltság elérése, mivel ez nem eredményez kiváló minőségű szolgáltatást, sokkal inkább a dolgozók fáradtságát okozza. Ezt a mutatót kiszámíthatjuk egy alkalmazottra vagy az egész szervezetre vonatkoztatva (DeHaan, 2009). Az elfoglaltság több tényezőtől függ. Egyrészt a call center funkciója és megvalósulása befolyásolja: az olyan vállalati service desk-ek, melyekhez nem csak telefonhívások, hanem e-mailek is beérkeznek, magasabb elfoglaltsági arányszámot mutatnak. Az Erlang C alkalmazása ahhoz vezethet, hogy túl sok operátort alkalmaz egy call center.

Az Erlang C nem számol azzal, hogy a hívások száma eltér az egyes időszakokban. Ezen adatok alapján elkészíthető a trendanalízis, mely segítségével meghatározható a szükséges alkalmazotti létszám. Elsődleges, hogy megfelelő létszámmal lássa el az ügyfélszolgálat a feladatát és kielégítse az ügyfelek igényeit nem utolsó sorban szakképzett munkaerővel. Ez történhet olyan módon, hogy az ügyfélszolgálat nem növeli a call center-ben dolgozók számát, hanem technikai megoldásokkal próbálja áthidalni ezt

a problémát: tehát bevezeti az AVR (Automatic Voice Response) technológiát, e-mailben fogadja az incidens-bejelentéseket, az ügyfelek üzenetet hagyhatnak a hangpostán. Ezek általában áthidaló megoldásként alkalmazzák, de előfordulhat, hogy nem túl nagy ügyfélkört kell kiszolgálnia a vállalatnak, és sikeresen, hosszú távon tud működtetni egy ehhez hasonló rendszert. Azonban nem ez az általános tapasztalat, mivel egy ilyen formában működő, és ilyen módon, ilyen módszereknek köszönhetően alacsony elfoglaltsági arányszámot mutató cégnél a szolgáltatási szint bántja a nem megfelelően megválasztott alkalmazotti létszámot, esetleg az attól nem megfelelő, nem hozzáértő módon való eltérést.

Összetett sorok vizsgálata és a különböző típusú hívások

Az Erlang C azt feltételezi, hogy egy call center egy típusú hívást fogad, mind ugyanabba a sorba érkeznek. A valóságban a legtöbb ügyfélszolgálatra ezek az állítások nem igazak. Ennek az oka, hogy általában külön sorokba érkeznek a hívások. A gyakorlatban ez úgy valósul meg, hogy bizonyos hívástípusokat elsősorban megfelelő képzettségű alkalmazottak fogadnak. Amennyiben éppen egy másik hívást intéznek vagy nem elérhetőek, egy másik szakterületre szakosodott operátor fogadja a hívást. Ebben az esetben összekapcsolt sorokról beszélhetünk. Összekapcsolt sor esetén a különféle trunk vonalak elkülönülnek mindaddig, amíg kiszolgálási kapacitás szabadul fel. Ebben az esetben összekapcsolódnak, így időben választ kap az ügyfél, még ha a felmerülő incidenst nem is sikerült megoldani. Ritkább esetben teljesen különálló sorokról beszélhetünk, melyek nem kapcsolódnak. A call centerek erőforrás igényeinek meghatározásakor minden különféle sor erőforrás igényét külön-külön kell meghatároznunk.

A modern, információs technológián alapuló ügyfélszolgálatban az ACD, azaz Automatic Call Distributor feldolgozza a beérkező hívásokat és kiosztja azokat bizonyos csoportoknak vagy mellékekből álló csoportoknak. (NSIT, 2005) Az ACD rendszer kezeli a bejövő hívásokat, így meghatározható, hogy melyik operátor milyen képesítéssel rendelkezik, milyen típusú hívásokat képes kezelni. Napjainkban gyakoribbak azok az ügyfélszolgálati rendszerek, melyekben többféle hívás fogadására szakosodott alkalmazottak dolgoznak. Kevesebb alkalmazott ugyanazt a szolgáltatási szintet tudja nyújtani, miközben különböző prioritással rendelkező, illetve többféle típusú hívásokat fogadnak. Ezekben a call centerekben minden hívástípusra külön számítjuk ki az operátor igényt.

Az Erlang C módosítása, egyéb számítási módok

Az Erlang C hiányosságaira megoldást jelenthet a négyzetgyökös biztonsági létszámfeltöltés (Tijms, 2003). Ez a módszer alkalmas nagy rendszerek szükséges alkalmazotti létszámának meghatározására, ahol elsődleges a minőségi szolgáltatásnyújtáshoz és a költséghatékony működéshez. Így pontos eredményt kaphatunk. A négyzetgyökös létszámfeltöltési szabály rendkívül pontos, forgalomtól függetlenül. Eszerint nagyon terhelt rendszerek esetén is alkalmazható.

Az Erlang B formula lényege, hogy számol a blokkolás valószínűségével. Az Erlang C formula határtalan számú sorban álló ügyfelet engedélyez. A valóságban limitált számú trunk áll rendelkezésre, ezért ez nem lehetséges. Ha nem vesszük figyelembe a blokkolást, az csökkenti a produktivitást.

Az Erlang A magában foglalja a foglalt jelzéseket és a hívásfeladást is. Vannak olyan ügyfelek, akik nem sokkal azután elhagyják a sort, hogy tárcsáznak, míg mások

egy ideig várnak, mielőtt letennék a telefont. Tapasztalatok alapján a legtöbb ügyfélnek fogadják a hívását, mielőtt elhagyná a sort (Koole, 2001).

Csúcsok a terhelésben

Az automatikus híváselosztó, azaz ACD rendszer megőrzi, visszakereshetővé teszi a hívásokat. Így meghatározhatóak a csúcsidők egy napon illetve héten belül, a beérkező hívások mennyisége, a befejezetlen hívások száma és egyéb statisztikai adatok. Csak azokat a mutatókat érdemes vizsgálni, melyek javításával jelentős eredményeket érhetünk el, a szolgáltatási szint lényegesen magasabbá válik. A legfontosabb adatok, melyeket mérnünk kell *Detwiler* (1999) szerint: az összes call centerbe bejövő hívás, az összes feladott hívás (azok a hívások, melyeket megszakított a hívó fél, mielőtt azt felvették volna, illetve az ügyfélszolgálaton csörgött a telefon), az összes 60 mp célidőn belül megválaszolt hívás száma, 60 mp célidőn belül megválaszolt hívások százalékos aránya, az átlagos hívásmegválaszolási idő, valamint az átlagos várakozási idő a sorban.

Véleményem szerint fontos azokat a hívásokat is külön kiemelni, melyek a legtovább várakoztak, mielőtt megválaszolták volna azokat, mivel ezek mutatják, mennyire túlterhelt a rendszer bizonyos időszakokban. Minden várakozással töltött hosszabb időtartam növeli annak az esélyét, hogy az ügyfél leteszi a telefont, mielőtt beszélhet egy operátorral, illetve ez az elégedettségi mutatókon is megmutatkozik. Ez jelentheti azt, hogy az ügyfél kivárta, amíg megválaszolják a hívását, vagy azt is, hogy egy idő után letette a telefont. Tapasztalatom alapján a hosszú várakozási idő megelőzhető, ha az AVR (Automatic Voice Response) technológiát alkalmazzák. Így az ügyfélszolgálat tájékoztat egy automatikus hangfelvétel segítségével arról, ha előreláthatóan többet kell várni. A gyakorlat azt mutatja, hogy ebben az esetben kisebb valószínűséggel gondolja meg magát az ügyfél, teszi le időközben a telefont.

A sorokban várakozó ügyfelek kezelése az ACD rendszerek térhódítása előtt nehezen volt nyomon követhető. Azonban napjainkban ezek a rendszerek jelzik a sorokban várakozókat. A sorok számos adatát megjelenítik, jelzi többek közt, ha minden trunk foglalt, vagy ha egy trunk nem érzékel 5 órán át hívást, vagy ha az összes trunk nem észlel hívást egy órán keresztül. A sorokról jelzés is tájékoztathat, ami lehet egy fény- vagy hangjelzés is. Így az ügyfélszolgálat értesül arról, ha nincsenek várakozó hívások a sorban, a sorban lévő hívások egy meghatározott számú ügyfélhatárt érnek-e.

Az ACD rendszerek segítségével a beérkező hívásokat fogadó operátorok munkáját a szervezetben a csoportvezetők közvetlenül irányítják, monitorozhatják, be- hallgathatnak az alkalmazottak beszélgetéseibe. A mutató rendszer segítségével szabályozhatják a sorokat, hogy a különböző munkacsoportoknak mikor fontos készen állniuk a hívásfogadásra. A statisztikai adatok, a trendanalízis segítségével vizsgálják a humánerőforrás-szükségleteket bizonyos periódusokban. Ezen felül a rendelkezésre álló kapacitást és a célul kitűzött szolgáltatási szintet el nem érő időszakokat, azaz kiégett SLA-kat vizsgálva látható, hogy alul- vagy túlméretezték-e a kapacitást, és ez alapján tervezhetnek.

KÖVETKEZTETÉSEK

A call centerek esetében a tervezéskor nem a minimumra, hanem a maximumra kell terveznünk. A nap folyamán beérkező hívások eloszlása eltérő munkaterhelést eredményez. Ebben az esetben rendkívül fontos figyelembe venni, hogy nem minden alkalmazott fogadja mindig a hívásokat. Tapasztalatom alapján minden ügyfélszolgálatban elengedhetetlen egy olyan módszer kidolgozása, melynek

segítségével az operátoroknak minimum 75-80%-a be van jelentkezve a rendszerbe, tehát fogad hívásokat, készen áll hívásfogadásra.

A tisztán matematikai képletek alkalmazása nem megfelelő a különböző képzettségű szakembereket alkalmazó ügyfélszolgálatok esetén, túlzott humánerőforrás igény tervezéséhez, felvételéhez vezetnek. Nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy napjainkban már nem a véletlenszerűen beérkező hívások és terhelési csúcsok irányítják a modern ügyfélszolgálat működését. Sokkal inkább igaz az az állítás, hogy képesek vagyunk a rendszert irányítani, ebben segítségünkre vannak az automatikus híváselosztó (ACD) rendszerek. A túlzott munkaerő felvételét az okozza, hogy nem számolnak a modern ACD rendszerek elosztási módszereivel és hatékonyságával a több szakterület ismerő operátorok esetén. Ez a rendszer nem csak feltételezi, hogy valaki mindig rendelkezésre áll, hogy fogadja a hívásokat, ugyanakkor lehetővé teszi, hogy alacsony létszámú alkalmazott képes legyen hatékonyan dolgozni.

Véleményem szerint a legnagyobb gonddal, legpontosabban megtervezett és kialakított ügyfélszolgálatot veszélybe sodorhatja a humán erőforrás. Egy call centerben a pontosan kiszámított munkaerő szükséglet következtében elért előnyöket eggyel több vagy kevesebb alkalmazott nagymértékben befolyásolhatja, beleértve az átlagos választási és az ügyfél elégedettséget. A megoldást az jelentheti, ha az alkalmazottakkal megismertetjük, mennyire fontos szerepe van egy személynek a szolgáltatási szint elérésében. Továbbképzéssel és motiválással ez elérhető. A már említett zsugorodási idő figyelmen kívül hagyása drasztikus következményekkel járhat. Mivel a dolgozók munkaidejük közel 20%-t nem az ügyfélszolgálatba beérkező hívások lebonyolításával töltik, ezzel az idővel is számolnunk kell. Amennyiben ezt figyelmen kívül hagyjuk, túl alacsony humánerőforrás-igényt fogunk eredményül kapni.

Meglátásom szerint nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy milyen eredményeket érünk el a munka során, ugyanakkor nem szabad túl sok, felesleges mutatót sem használni. Hiba lehet az is, amikor az egyes ügyfélszolgálatok bizonyos eredmények elérését célozzák meg, melyhez túlzottan ragaszkodnak, miközben számos tényező negatív irányban változik.

IRODALOM

- Angus, I. (2001): An introduction to Erlang B and C. In: Telemanagement 187. 6-8. p.
- DeHaan, P. (2004): Call center Shrinkage. Connections Magazine, July/August 2004. [Online] <<http://www.connectionsmagazine.com/articles/2004/call-center-shrinkage.html> >
- DeHaan, P. (2009): But boss, it all depends. AnswerStat Magazine, JUNE/JULY '09. [Online] <<http://www.answerstat.com/issues/2009/june.pdf>>
- Detwiler, B. (1999): Managing help desk call volume and scheduling. TechRepublic, November 4, 1999. <http://www.techrepublic.com/article/talking-shop-managing-help-desk-call-volume-and-scheduling/5033048>>
- Gyarmati G.P. (1976): Néhány gyakoribb várakozósoros modell rendszertervezéshez. Budapest : SZÁMOK 11. p.
- Házman I. (2005): Távközlés. INOK Kft. : Budapest: 345-350. p.
- Herdon M., Kaderják Gy, Simon A. (2009): Ügyfélkapcsolat menedzsment rendszerek nyílt forráskódú szoftverekkel. Summer University on Information Technology in Agriculture and Rural Development. Konferencia kiadvány. 149-156. p.
- Koole, G. (2001): The mathematics of call centers. Research highlight, Biennial report Stieltjes Institute, 31-35 p. [Online] <<http://www.math.vu.nl/~koole/publications/2001highlight/art.pdf>>

- Lazear, E. P. (2006): A humán erőforrás közgazdaságtana vállalati vezetők részére. Nemzeti Tankönyvkiadó : Budapest 44. p.
- NSIT (2005): Automatic Call Distributor User Guide. [Online]
<https://itservices.uchicago.edu/sites/itservices.uchicago.edu/files/uploads/ITSFiles/acd/ACD_Manual_Final_9-18-061.pdf
- Reynolds, P. (2009): The benefits and perils of team scheduling. [Online]
<<http://www.thecallcenterschool.com/call-center-articles/the-benefits-and-perils-of-team-scheduling/>> <<http://www.thecallcenterschool.com/wp-content/uploads/2010/10/Self-Scheduled-Call-Center-Teams.pdf>>
- Vámosi Z. (2005): Humán erőforrás menedzsment. INOK Kft. : Budapest: 127. p.
- Tijms, H.C. (2003): A first course in stochastic models. E-book. John Wiley & Sons Ltd : Chichester, 200-201. p. [Online] <[http://books.google.hu/books?id=RK9yFrNxom8C&pg=PA81&lpg=PA81&dq=Tijms,+H.C.+\(2003\):+A+first+course+in+stochastic+models.&source=bl&ots=-6dKIb57yg&sig=kUgnfrvVrRFfujphRfxi_ZyPjaI&hl=hu&sa=X&ei=GYI4UY_aGOjj4QTPnIDIDQ&ved=0CE0Q6AEwBA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.hu/books?id=RK9yFrNxom8C&pg=PA81&lpg=PA81&dq=Tijms,+H.C.+(2003):+A+first+course+in+stochastic+models.&source=bl&ots=-6dKIb57yg&sig=kUgnfrvVrRFfujphRfxi_ZyPjaI&hl=hu&sa=X&ei=GYI4UY_aGOjj4QTPnIDIDQ&ved=0CE0Q6AEwBA#v=onepage&q&f=false)>
- Zbikowski, E., Rumburg, J. (2009): The Seven Most Important Performance Indicators for the Service Desk. [Online] <<http://ebookbrowse.com/ec-seven-important-kpis-pdf-d416469867>>

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Kupai Boglárka

Debreceni Egyetem, Gazdálkodástudományi- és Vidékfejlesztési Kar
4032 Debrecen Böszörményi út 138.

*University of Debrecen, Faculty of Agricultural Economics and Rural Development
H-4032 Debrecen Böszörményi út 138.*

e-mail: kupai boglarka@gmail.com



Régészeti szakértői rendszer adatbázisának fejlesztése a Csörsz-árok példáján

Benő D.

Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Geodéziai és Bányamérési Intézet Tanszék, 3515 Miskolc, Egyetemváros

ÖSSZEFOGLALÁS

A szakértői rendszerek a mesterséges intelligencia kutatásából származnak, tudásbázisban és adatbázisban tárolt információkból vonnak le következtetéseket matematikai logika alapján. Jelen munkámban egy régészeti célú szakértői rendszer adatbázisának alapjait fektetem le a Csörsz-árok példáján. A Csörsz-árok egy Kárpát-medencei építmény, mai tudásunk szerint római-szarmata sánc-árok rendszer, ami végighúzódik Magyarország területén. Átlagosan 8 m széles és 2,5 m mély volt, mára több szakasz beszántásra került, de fennmaradtak jó állapotban lévő vonalak is. Bemutatom a rendszer elkészítéséhez szükséges kiindulási adatokat, adatforrásokat, a térinformatikai rendszer felépítését, és a későbbi szakértői rendszert, annak felépítését, kialakítását.

(Kulcsszavak: szakértői rendszer, Csörsz-árok, térinformatika)

ABSTRACT

Reposing of Archeological expert system based on Csörsz ditch

D. Benő

University of Miskolc, Faculty of Earthscience, Department of Geodesy and Minesurveying, H-3515 Miskolc, Egyetemváros

Expert systems are originated from the research of the artificial intelligent, drawn conclusion from information stored in knowledgebase and database by mathematical logic. In this paper the base of an archeological expert system's database is reposed a model of Csörsz Ditch. Csörsz Ditch is a buildup in the Carpathian basin, according to our present-day knowledge that was a Roman-Sarmatian fortification system, run through Hungary. Its mean width is 8 m, mean depth 2,5 m, to recently many segments have been ploughed down, but there are some lines with good condition. In this paper it is shown the take-off data, datasources to the build up of the expert system, the building of the geoinformatic system, the structure, and making of the latest expert system.

(Keywords: expert system, Csörsz Ditch, geoinformatics)

BEVEZETÉS

A szakértői rendszerek kialakulása az 1950-es években kezdődött mesterséges intelligencia kutatásához köthető. (Sántáné et al., 2008)

Utóbbival olyan általános problémamegoldó módszereket kerestek, melyekkel a problémák széles körét lehet megoldani. Mivel nem sikerült egységes megoldó algoritmust találni, szűkíteni kellett szakterületekre, s ezekből alakultak ki a szakértői rendszerek (pl.: környezetvédelmi, biokémiai, gazdasági).

A rendszer részei:

- adatbázis – térbeli és alfanumerikus adatok, pl.: lelet helye, kora,
- tudásbázis – az adott területen dolgozó szakemberek tudásának gyűjteménye a számítógép nyelvére lefordítva matematikai logika felhasználásával,
- következtető mechanizmus – az adatbázis és a tudásbázis alapján következtetéseket von le (matematikai logika), milyen teendőket kell elvégezni, milyen jelenség, esemény várható. (Sántáné et al., 2008)

A szakértői rendszerek „ha-akkor” (If-then) szabályokkal, illetve matematikai logikával dolgoznak. Ha egy esemény bekövetkezik, akkor annak következménye egy másik esemény. Hétköznapi példával: **ha** esik az eső **és nincs** nálunk esernyő, **akkor** megázunk (Sántáné et al., 2008).

A szakértői rendszerek adatbázisát képezhetik térinformatikai rendszerek, segítve a térbeli adatok és térhez köthető tudásanyag hatékony felhasználását, elemzését, lekérdezését.

A Csörsz-árok a legmonumentálisabb Kárpát-medencei építmény a Dunakanyar vidékéről indul ki, és végighalad az Alföld északi részén, majd délre fordul és az Al-Dunánál éri el a folyamot (1.ábra) (Soproni, 1969). A sánc nem minden helyen követhető nyomon egyértelműen, egyes szakaszok megsemmisültek, betemették, beszántották, így csak fúrásokkal, kartográfiai módszerekkel, légi felvételek segítségével lehet következtetni a nyomvonalra (Garam et al., 2003). Az egész árokrendszer hossza 1260 km, szélessége 3,4 – 10 m között változik, mélysége 1,5-3 m a jelenlegi szinttől mérve. A megmaradt sáncok kb. 2 méter magasságúak (Istvánovits és Kulcsár, 2000). A sánc Ny–K irányú szakaszán (Dunakanyar – Debrecen, Újfehértó vonala) az árok a sánc északi oldalán, míg az É–D irányú (Debrecen – Al-Duna vonala) esetén a keleti oldalon található (Soproni, 1969).

1. ábra



Figure 1: The Csörsz Ditch in Hungary

The Csörsz Ditch in Hungary(1), Line of the Csörsz Ditch(2)

A régészek mai álláspontja szerint a sánc-árokrendszert a rómaiak irányításával, az Alföldön akkoriban élő szarmaták építették a Kr.u. 4. század első felében, I. (Nagy) Constantinus (uralkodása: Kr.u. 306-337) alatt (Soproni, 1969).

A Csörsz-árok kutatása az 1960-as években kezdődött Patay Pál régész vezetésével. Munkatársaival végigjárta az egész sánc-árok rendszert, feltérképezte a régi katonai felmérések, légi felvételek, talajfúrások alapján. Ásatásokat végeztek Tarnaszadány közelében, illetve több helyen átvágták a Csörsz-árok vonalát (Garam *et al.*, 2003).

Munkám céljait az alábbi pontokban fogalmaztam meg:

- Olyan térinformatikai rendszer létrehozása, mely segíti a régészek munkáját a Csörsz-árok kutatásában;
- A rendszer szabad szoftverekkel is felépíthető legyen;
- Kibővíthető legyen szakértői rendszerré;
- A szakértői rendszer tervezése.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Térinformatikai rendszer felépítése

Az előkészítés során összegyűjtöttem a régészeti szakértői rendszerhez szükséges térbeli adatokat. Ehhez legfőbb forrásom Garam Éva, Patay Pál, és Soproni Sándor Csörsz-árokról írt régészeti összefoglalója (Garam *et al.*, 2003) volt. A fenti publikációban a Csörsz-árok 48 darab M=1:50000 térképrészleten ábrázolták, megkülönböztetve a láthatóság szerint (2. ábra). Ez az alapja a rendszer térbeli adatainak. Ezen térképeken jelölték az átvágásokat, talajfúrásokat, melyek adatait táblázatba gyűjtötték:

- árok szélessége,
- árok mélysége,
- sánc magassága,
- talaj fizikai félesége.

A fenti adatsor képezi a rendszer alfanumerikus részét, melyek az átvágások, talajfúrások földrajzi helyéhez fognak csatlakozni a rendszer felépülése során.

Az említett térbeli adatok mivel csak papírformában voltak meg, első lépésként szkennelni kellett a további feldolgozáshoz.

2. ábra

A Csörsz-árok egy szakasza Patay Pál térképén (Garam *et al.*, 2003)



Figure2: Peace of segment of Csörsz ditch by Pál Patay (Garam *et al.*, 2003)

A régészetben fontos egy adott objektumról fénykép, metszetrajz, ezek helye szintén be van jelölve a térképeken. Az e pontokhoz tartozó fényképeket, melyek a sánc-árok rendszert, illetve átvágásokat ábrázolják, szintén beszkeneltem.

A digitalizált térképeket Erdas Imagine segítségével georeferáltam a GoogleEarth alapján. A kutatás későbbi szakaszában EOVS M=1:10000 topográfiai térképekkel ellenőriztem a georeferálást, a legnagyobb eltérés 80 m volt (az eredeti nyers térkép M=1:50.000) A koordinátákkal ellátott raszteres állományt Quantum GIS 1.3.0 Mimas szabadszoftverrel megnyitottam majd vektorizáltam a sánc-árok rendszer nyomvonalát és az átvágások, talajfúrások helyét. A Csörsz-árok vonalát Patay Pál térképezése (Garam et al., 2003) alapján láthatóság és elhelyezkedés alapján osztályoztam.

Láthatóság szerint:

- jól látható (vastag vonal),
- még felismerhető (vékony vonal),
- csak légifotó, katonai felmérés, talajfúrás alapján bizonyítható (szaggatott vonal).

Elhelyezkedés szerint:

- alsó,
- középső,
- korai középső,
- felső,
- legbelső,
- belső,
- külső.

Az átvágások, talajfúrások digitalizálása során azok attribútum tábláját feltöltöttem az előkészítés során említett adatokkal.

Következő lépésként digitalizáltam a fényképek helyét, ezeket oda helyeztem el, ahonnan a fénykép készült, a Csörsz-árok jobb vagy bal oldalára, vagy rajta. A fotózást jelölő pontok attribútum táblájába bevitettem a fényképek elérési útját. Ezek után egy speciális kurzorral a pontra kattintva a kép megjeleníthető (3. ábra). A megjelenített kép földrajzi helyét egy piros csillag alakzat jelzi.

Ugyanezzel az eljárással készítettem a keresztmetszetek megjelenítését is.

Szakértői rendszer tervezése

Munkámban a kialakított adatbázis egy későbbi szakaszban szakértői rendszerre fog összeállni. Ezzel később a Csörsz-árok morfológiai, szerkezeti, elhelyezkedési kérdéseivel kapcsolatos kérdések vizsgálhatók. Emiatt rendszer adatbázisát kiegészítettem az egyes Csörsz-árok szakaszok és a hozzájuk tartozó morfológia adatokkal, ábrázoltam a mélységet, szélességet, illetve ezek hányadosát, mint mutatószámot (4. ábra). Ez később talajtani, régészeti adatokkal fogom bővíteni.

A szakértői rendszer felépítésének első lépéseként a tudásbázist fogom felépíteni, melyhez a szaktudás részt egy szakavatott régésszel való konzultációk adják meg. Ezt a tudást le kell fordítani a számítógép számára érthető formába, és csatlakoztatni kell a meglévő térinformatikai adatbázishoz majd el kell végeztetni a kétféle adatbázisból a következtetést. E rendszer felépítéséhez két lehetőséget terveztem: az egyik a hagyományos imperatív programozási nyelven alapuló C++ QT4 fejlesztési környezetben (5. ábra), a másik a deduktív adatbázisokon alapuló Visual Prolog.

Az előbbi esetben egy fejlesztő környezettel (QT4) C++-ban megírt QGIS-hez kapcsolható plug-in (script) adja a komplett szakértői rendszert. A másik esetben a Prolog tartalmazza a tudásbázist és végzi a következtetést, az adatbázist SQL táblákon éri el.

3. ábra

Fotó és keresztmetszet megjelenítése a térinformatikai rendszerben

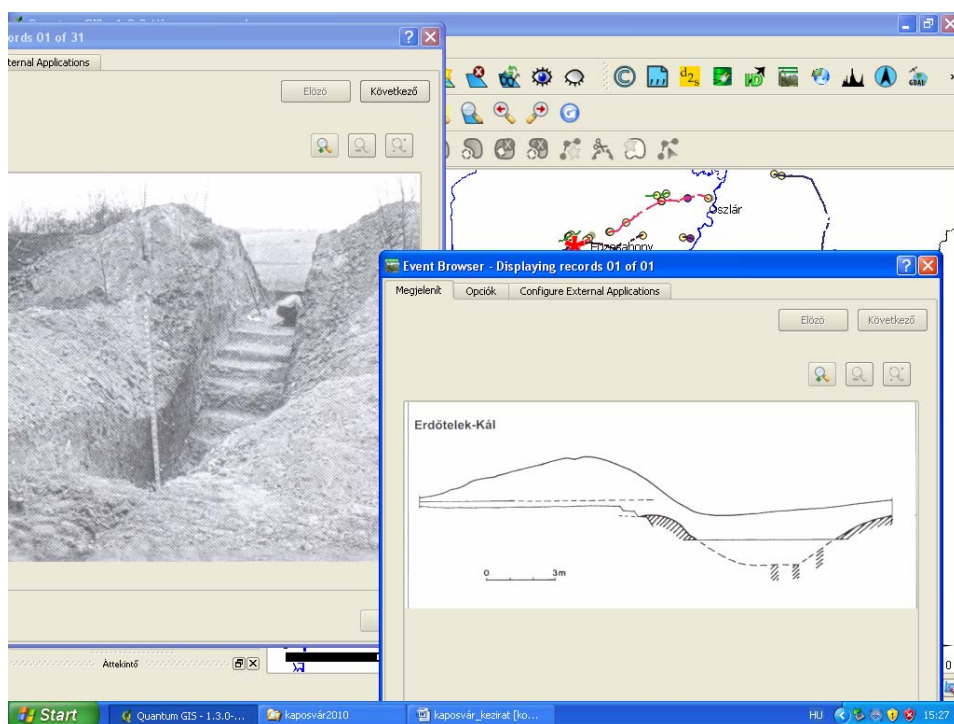


Figure 3: View of photo and cross-section in the geoinformatical system

A rendszer további részeit, a tudásbázist és következtető rendszert, a későbbi publikációk fogják taglalni, ezeket a további fejezetekben a lehetséges kutatási irányként mutatom be.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELES

Munkám során elkészítettem egy térinformatikai kiindulási alapot egy régészeti szakértői rendszer létrehozásához a Csörsz-árok példáján. A térinformatikai rendszer felépítéséhez csak papíralapú térbeli, és alfanumerikus adatok álltak rendelkezésre, ezért a rendszer további pontosításához helyszíni felmérés is szükséges. A rendszert a Quantum GIS nevű szabadszoftverrel készítettem, előnye, hogy a felhasznált adatmennyiség nincs korlátozva, egyaránt kezel raszteres és vektoros téradatokat, illetve képes GPS eszközt fogadni, mely nagy segítség lehet terepen.

Elkészítettem a szakértői rendszer adatbázisát, a Csörsz-árok szakaszainak térinformatikai modelljét és a morfológiát bemutató rétegeket (4. ábra). Az utóbbiakon végzett előzetes vizsgálatok alapján elmondható, hogy mélység/szélesség arány tekintetében a legtöbb minta 0,1-0,4 tartományba esik, ennél nagyobb érték csak elvétve fordul elő.

Bemutattam, milyen technikai lehetőségek állnak rendelkezésre a szakértői rendszerre való bővítésre, milyen eszközök állnak rendelkezésre ennek megvalósítására.

4. ábra

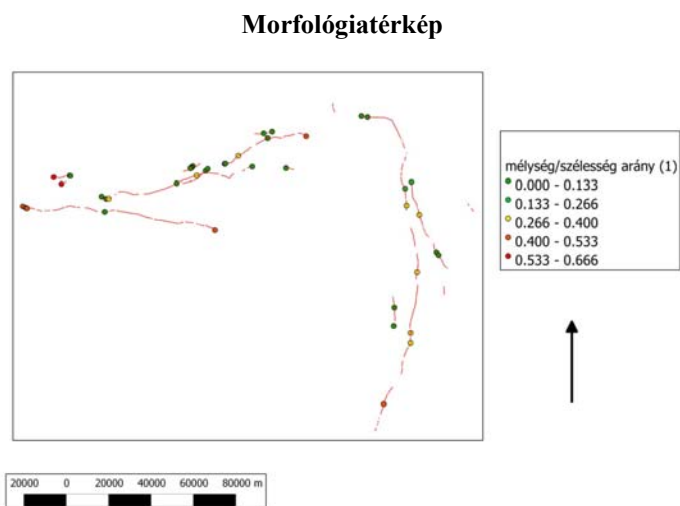


Figure 4: Morphology map

Depth/width ratio(1)

5. ábra

A QT4 fejlesztőkörnyezete

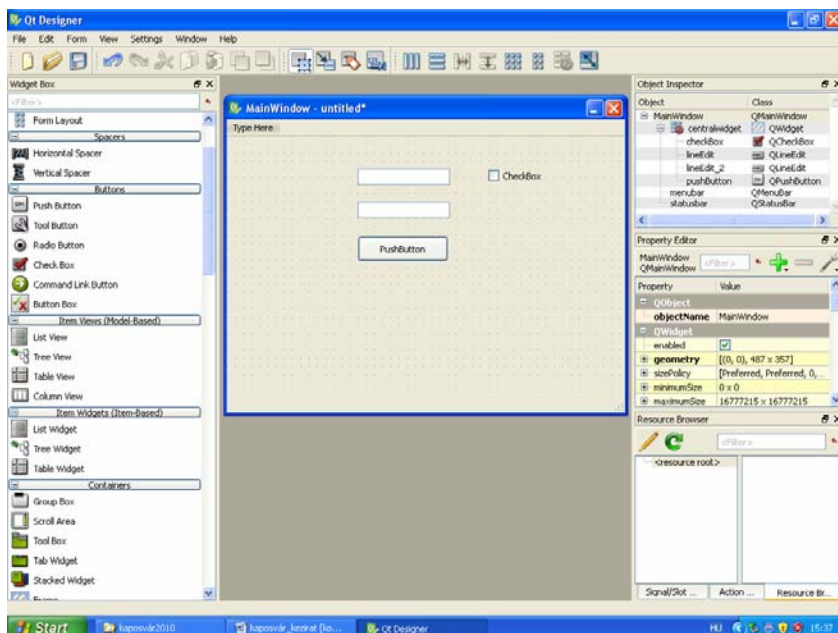


Figure 5: Developmental enviroment of Qt4

KÖVETKEZTETÉSEK

Az elkészült térinformatikai rendszer alkalmas a sánc-árok rendszer vonalainak felderítésére, az eddigi ásatásokból kinyert információ megjelenítésére, fényképek, keresztmetszetek bemutatására. Terepi GPS-re feltöltve a sánc-árok szakaszok behatárolása hatékonyabbá vált.

Az elkészült eredmény térkép megjeleníti a sánc-árok rendszer morfológiáját, azonban további objektív vizsgálatra önmagában nem alkalmas, ezért szükséges az elkészült GIS-t egy a témát teljes körűen átfogó szakértői rendszerre bővíteni.

Ezzel párhuzamosan az adatbázis további bővítéseket igényel régészeti, talajtani adatok szempontjából.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Ezúton mondok köszönetet Dr. Kulcsár Valéria régésznek, aki kutatásaimat segítette a Csörsz-árok terén.

IRODALOM

- Garam É., Patay P., Soproni S. (2003): Sarmatischen Wallsystem im Karpatenbecken. Régészeti Füzetek 2. 23. 191. p.
- Istvánovits E., Kulcsár V. (2000): The history and perspectives of the research of the Csörsz Ditch. Proceeding of the XVIIIth Internatinal Congress of Roman Frontier Studies Held in Amman, Jordania
- Sántáné-Tóth E., Bíró M., Gábor A., Kő A., Lovrics L. (2008): Döntéstámogató rendszerek, Panem Kft. : Budapest, 406 p.
- Soproni S. (1969): Limes sarmatiae. Archeológia Értesítő 96. 43-52. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Benő Dávid

Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar
Geodéziai és Bányaméréstani Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Egyetemváros
University of Miskolc, Faculty of Earthscience
Department of Geodesy and Minesurveying
H-3515 Miskolc, Egyetemváros
Tel.: 36-46-565-111/16-45, 36-30-551-0332
e-mail: gbmbd@uni-miskolc.hu



A monomer kezdeti cseppméret-eloszlásának hatása a polimer termékek átlagos molekulatömegére

Bárkányi Á., Németh S., Lakatos G.B.

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Vegyészmérnöki és Folyamatmérnöki Intézet, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során vinil-klorid szuszpenziós polimerizációjának vizsgálatával foglalkozunk. Ilyen polimerizáció esetén a szerves monomer fázist diszpergáltatják a folytonos vizes fázisban. Ahhoz, hogy a diszperz állapot fennmaradjon intenzív kevertetést alkalmaznak és felületaktív anyagokat (stabilizátorokat) adagolnak a reaktorba. Ebben a munkában bemutatjuk, hogy a monomer és a monomerben oldódó egyéb komponensek, mint pl. az iniciátor kezdeti diszpergáltatása milyen fontos szerepet játszik a polimerizáció lejtátszódásában. A vizsgálathoz létrehoztunk egy szimulációs programot, melyben azt feltételeztük, hogy kezdetben azonos méretű cseppek vannak a rendszerben, majd a kevertetés hatására ezek a cseppek agglomerálódnak és töredeznek. Térfogatuk változik, azonban a darabszámuk állandó marad. Korábbi munkáinkban a polimerizáció modellezésénél a kezdeti monomer cseppek mérete azonos volt, ebben a munkában egy véletlenszerűen kialakított kezdeti cseppméret-eloszlást határoztunk meg a monomer cseppekre. Az eredmények azt mutatják, hogy jelentős átlagos molekulatömegbeli változások tapasztalhatók attól függően, hogy milyen a kezdeti cseppméret-eloszlás.

(Kulcsszavak: vinil-klorid polimerizáció, populáció-mérleg modell, momentum módszer, mikrokeveredés, cseppméret-eloszlás)

ABSTRACT

Effect of the initial drop size distribution of monomer on the average molecular weight of polymer products

Á. Bárkányi, S. Németh, B.G. Lakatos

University of Pannonia, Faculty of Engineering, Institute of Chemical Engineering and Process Engineering, Department of Process Engineering, H-8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

In the paper suspension polymerization is investigated. In a typical suspension polymerization system the water-insoluble monomer is dispersed in the continuous aqueous phase by combining the intensive stirring with the use of a small amount of stabilizers. The process was studied by simulation using a computer program in MatLab environment. It was assumed that droplets of the same size break-up and coalesce continuously in the turbulent flow field generated by intensive stirring of the suspension. The volumes of droplets have been changed but their numbers were kept constant. The results of simulation revealed that the dispersion of monomer and of the soluble components in the polymerization process plays rather important role. When the process is started with an initial drop size distribution of monomer significant difference in the average molecular weight is observed compared with the initially mono-sized droplets.

(Keywords: polymerization of vinyl chloride, population balance equation, momentum method, micromixing, drop size distribution)

BEVEZETÉS

A szuszpenziós polimerizáció a polivinil-klorid egyik legfontosabb előállítási típusa. A tipikus szuszpenziós polimerizációs rendszerekben egy vagy több vízben oldhatatlan monomert és a szerves fázisban oldódó iniciátort diszpergáltatják a folytonos vizes fázisba (Yuan *et al.*, 1991). Először a monomert diszpergáltatják intenzív kevertetéssel és stabilizátorok alkalmazásával, majd az így kialakult rendszerhez adják hozzá a monomerben oldódó iniciátort.

A polimerizációs folyamatok a diszpergált monomer cseppekben játszódnak le. Vinil-klorid szuszpenziós polimerizációja során a monomer cseppekben lejátszódó reakciók révén kialakul a szilárd polimer szemcse, ami kiválik a rendszerből és diszperz szilárd fázist eredményez.

Az egyik legfontosabb feladat a folyamat kezdetén, hogy a monomert megfelelően eloszlassák a folytonos vizes fázisban. Nagyon fontos, hogy ismereteink legyenek a kialakuló cseppméret-eloszlásról, mert ez befolyással van a kialakuló polimer termék minőségére. Így a végtermék minőségét nem csak a polimerizáció körülményei, hanem a monomer cseppek keveredésének mértéke is befolyásolja (Ni *et al.*, 1998).

Vinil-klorid polimerizációját általában szakaszos tank reaktorban végzik, ennek több oka is van, mint például az üzemeltetési paraméterek flexibilitása, könnyű karbantarthatóság és tisztítás, könnyű váltás a termékek között, könnyebb a hőmérsékletet kézben tartani (Yuan *et al.*, 1991). Kevert közegben mind a cseppek mérete, mind a diszperz fázis cseppméret-eloszlása nagymértékben a cseppek koaleszcenciájától és töredezésétől függ, ami függ a stabilizátor, iniciátor és a folytonos fázis fajtájától, összetételétől valamint koncentrációjától. Ezen kívül természetesen a reaktor tervezési paramétereitől, a keverő típusától és a kevertetés intenzitásától, valamint az üzemeltetési paramétereiktől, mint a hőmérséklet, nyomás, a diszperz fázis aránya a folytonos fázishoz képest (Ni *et al.*, 1998).

Egy kevert reaktorban a cseppek nyíró hatásnak, turbulenciának és nyomásnak vannak kitéve a határfelületükön. Ezek a hatások deformálják a cseppeket, például, ha a dinamikus erők meghaladják a határfelületi erők nagyságát, akkor a csepp töredezni fog, ami kisebb cseppeket eredményez. Azonban ezekkel a folyamatokkal egy időben ezek a cseppek a kevertetés hatására ütköznek is egymással. Ha az ütközés hatására a két csepp olyan hosszú ideig tapad össze, hogy a két határfelület felhasad, akkor a két csepp összeolvad. Egy bizonyos idő elteltével ezek a folyamatok dinamikus egyensúlyba kerülnek, és a végső csepp méretet és cseppméret-eloszlást a kevertetés intenzitása és a folyadékkegy fizikai tulajdonságai fogják meghatározni.

A kialakult monomer cseppek töredezése és összetapadása folyamatos a teljes folyamat során, és ezeknek a folyamatoknak egyértelmű hatása van a kialakuló termék szemcseméret-eloszlására (Hashim and Brooks, 2004; Kotoulas and Kiparissides, 2006).

Több publikáció foglalkozik a vinil-klorid szuszpenziós polimerizációjának modellezésével. Az olyan makroszemcsés-diszperz rendszereket, mint amilyen a polimerizáció során is kialakul nagyon nehéz megfelelően leírni. Ezek a rendszerek nem-lineáris és nem-egyensúlyi rendszerek, sőt komplex több-léptékű rendszerek. Az ilyen rendszerek leírására és modellezésére populáció-mérleg modelleket alkalmaznak (Ahmed *et al.*, 1972; Alexopoulos *et al.*, 2007; Endo, 2002; Kiparissides, 1990; Saeki *et al.*, 2002; Smallwood, 1985; Talamini *et al.*, 1998; Lakatos *et al.*, 2006; Lakatos, 2008).

A populációmérleg-modellek megoldása nagyon számításigényes feladat, hiszen ezek a modellek minden egyes szemcse tulajdonságát leírják és számolják, azonban a gyakorlatban legtöbbször nincs szükség az egyes elemek ismeretére, csak a teljes rendszer tulajdonságaira

vagyunk kíváncsiak. Ilyen esetekben megfelelő megoldást nyújt az úgynevezett momentum módszer, ami jóval kisebb számításigényű, de segítségével a rendszer átlagtulajdonságai számíthatók, mint például az átlagos molekulatömeg (Tavare, 1995).

Az olyan összetett mechanizmusú és kinetikájú folyamatok, mint amilyen a szuszpenziós polimerizáció is, nagyon érzékenyek az úgynevezett mikrokeveredésre. Ez az a keveredési szint, amelyen a cseppek közötti anyagátadás megy végbe. A mikrokeveredés leírásához szintén összetett integro-differenciálegyenlet megoldásán keresztül jutunk, aminek numerikus megoldása nagyon bonyolult és számítás igényes. Ezen probléma megoldására megfelelő megoldást nyújt a Monte Carlo módszer, ami egy sztochasztikus megoldó módszer. A módszer alapja véletlenszám generálás, ami elég nagy elemszám és elég nagyszámú ütközés esetén jól közelítheti a valóságot.

Ezen munka célja, hogy bemutassa, hogy milyen hatása van a monomer cseppek kezdeti eloszlásának a kialakuló polimer átlagos molekulatömegére. Ehhez különböző fordulatszámokra jellemző cseppméret-eloszlást generálunk és összehasonlítjuk a kialakuló tömegátlagos molekulatömegeket.

A MODELL ÉS A SZIMULÁTOR BEMUTATÁSA

Ahogy már korábban kifejtettük vinil-klorid szuszpenziós polimerizációja során a vízben oldhatatlan monomert diszpergáltatják a folytonos vizes fázisban, majd a kialakult monomer cseppekben oldják az iniciátort, és ebben a diszperz rendszerben kezdődik a polimerizáció. A polivinil-klorid oldhatatlan a saját monomerjében, így azonnal kiválik a rendszerből. Ez alapján a szakirodalom három fő szakaszt különít el a polimerizáció folyamán (Xie *et al.*, 1991; De Roo *et al.*, 2005). Minden egyes szakaszt a reaktorban jelenlévő fázisok száma alapján határozzák meg.

Az első szakaszban a polimerizáció a monomerben zajlik, ezt monomerben gazdag fázisnak nevezik. Mivel a polimer oldhatatlan a monomerben, szinte azonnal kiválik a képződött polimer, és egy polimerben gazdag fázist alkot. Legtöbbször ez a fázis is tartalmaz kis mennyiségben monomert, ami bezáródott a polimer láncba. Ez a szakasz körülbelül 0,1%-os monomer konverzióig tar.

A második szakaszban a polimerizáció, mind a monomerben gazdag fázisban, mind a polimerben gazdag fázisban zajlik. A monomerben gazdag fázisban képződő polimer molekulák a polimerben gazdag fázisba kerülnek, és stabilizálódik egy körülbelül 30 térfogat %-os monomer arány a fázisban. Ennek a folyamatnak köszönhetően a monomerben gazdag fázis folyamatosan csökken, míg a polimerben gazdag fázis folyamatosan növekszik.

Az úgynevezett kritikus monomer konverzió elérésével, ami körülbelül 65%, a monomerben gazdag fázis teljesen eltűnik, és ezzel elkezdődik a harmadik szakasz. A polimerizáció ezután már csak a polimerben gazdag fázisban folytatódik, körülbelül 90%-os monomer konverzióig.

Munkánk során kialakítottuk a vinil-klorid polimerizációjának leírására alkalmas részletes matematikai modellt. A modell paramétereit, a kinetikai adatokat szakirodalom alapján határoztuk meg (De Roo *et al.*, 2005). Részletes anyag, térfogat és momentum mérleget írtunk fel a lejátszódó reakciókra. Az 1. táblázatban összefoglalt reakciókat vettük figyelembe a modellezés és számítás során.

A reaktorban két fő folyamat zajlik egymás mellett, egymást befolyásolva. A polimerizációs reakció mellett figyelembe kell venni a mikrokeveredés hatását is. A monomer cseppek, mint ahogy már korábban volt róla szó, egymással folyamatosan ütköznek, és a cseppek koaleszcenciája és töredezése megy végbe.

1. táblázat

A modellben figyelembe vett vinil-klorid polimerizációs reakciók

Iniciátor termikus bomlása (1):	$I \xrightarrow{k_d} 2I^*$		
Láncinicializálás (2):	$I^* + M \xrightarrow{k_d} R_1$		
Növekedés (3):	$R_1 + M \xrightarrow{k_p} R_2$	$R_2 + M \xrightarrow{k_p} R_3$	
Lánc átadás (4):	$R_1 + M \xrightarrow{k_{tM}} R_1 + P_1$	$R_2 + M \xrightarrow{k_{tM}} R_2 + P_2$	
Letörés (5):	$R_i \xrightarrow{k_t} P_i$	$R_i + R_j \xrightarrow{k_{tc}} P_{i+j}$	$R_i + R_j \xrightarrow{k_{td}} P_i + P_j$

Table 1: Vinyl chloride polymerization reaction used in model

Decomposition of the initiator(1), Chain initiation(2), Propagation(3), Chain transfer(4), Termination(5)

Ezen folyamatok kombinációjaként alakul ki a komplex több-léptékű rendszer. Mikroszinten, a cseppek szintjén zajlik a polimerizáció, és a cseppek közötti anyagcsere. A mezoszint teremt kapcsolatot a mikro- és makroszint között, a makroszinten keletkező örvények a mezoszinten keresztül jutnak a mikroszintre, ahol a cseppek ütközését idézik elő. A makroszintre feltételeztük, hogy a reaktor tökéletesen kevert. Így a szimuláció során a mikroszintű folyamatokat vesszük figyelembe, azok hatását vizsgáljuk a teljes rendszerre.

A populáció mérleg modellt a cseppek ütközésére a következő alakban adhatjuk meg (Lakatos, 2010):

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial n(v, \mathbf{c}, t)}{\partial t} + \nabla_{\mathbf{c}} \cdot \left[\frac{d\mathbf{c}}{dt} n(v, \mathbf{c}, t) \right] = & -n(v, \mathbf{c}, t) \alpha_b(v) + \int_v^{\nu_m} \beta_b(v, \nu) \alpha_b(\nu) n(v, \mathbf{c}, t) d\nu \\
 & - S_{eff} \int_0^{\mathbf{c}_m} \int_0^{\mathbf{c}_m} \int_0^{\nu_m} \beta_a(v, \nu) \delta\left(\mathbf{c}'' - \frac{\mathbf{c} + \mathbf{c}'}{2}\right) n(v, \mathbf{c}, t) n(\nu, \mathbf{c}', t) d\nu d\mathbf{c}' \\
 & + S_{eff} \int_0^{\mathbf{c}_m} \int_0^{\mathbf{c}_m} \int_0^{\nu} \beta_a(v - \nu, \nu) \delta\left(\mathbf{c} - \frac{\mathbf{c}' + \mathbf{c}''}{2}\right) n(v - \nu, \mathbf{c}', t) n(\nu, \mathbf{c}'', t) d\nu d\mathbf{c}' + \mathbf{M}_i^K [n(v, \mathbf{c}, t)]
 \end{aligned} \quad (1)$$

ahol

$$\begin{aligned}
 \mathbf{M}_i^K [n(v, \mathbf{c}, t)] = & -\frac{(1 - S_{eff})}{\mu_0(t)} \int_0^{\mathbf{c}_m} \int_0^{\mathbf{c}_m} \int_0^{\nu_m} \beta_a(v, \nu) \prod_{k=1}^{k=K} \frac{2^K}{\omega_k} \delta_{c_k'} \left[\left(\frac{2(c_k' - c_k)}{\omega_k} + c_k \right) - c_k \right] \times \\
 & \times F_{\omega}(d\omega) n(v, \mathbf{c}', t) n(\nu, \mathbf{c}'', t) d\nu d\mathbf{c}' d\mathbf{c}'' + \frac{(1 - S_{eff})}{\mu_0(t)} \int_0^{\mathbf{c}_m} \int_0^{\mathbf{c}_m} \int_0^{\nu_m} \beta_a(v, \nu) \times \\
 & \times \prod_{k=1}^{k=K} \frac{2^K}{\omega_k} \delta_{c_k} \left[\left(\frac{2(c_k - c_k')}{\omega_k} + c_k' \right) - c_k'' \right] F_{\omega}(d\omega) n(v, \mathbf{c}', t) n(\nu, \mathbf{c}'', t) d\nu d\mathbf{c}' d\mathbf{c}''
 \end{aligned} \quad (2)$$

Az (1)-es egyenlet bal oldalának első tagja a darabszám sűrűség függvény időbeli megváltozását írja le, a második tag adja meg a darabszám sűrűség megváltozását a cseppekben lejátszódó polimerizációs reakciók révén. A jobb oldal első két tagja írja le a cseppek széteséséből származó megváltozást, míg a 3. és 4. tag az összepadásukból adódó megváltozást írja le. Az utolsó tag írja le a cseppek között ütközés révén létrejövő anyagátadást. Ebben az esetben nincs összetapadás, csak ütközés. Az utolsó tagot a (2)-es egyenlettel adhatjuk meg, ahol az első tag írja le a c koncentrációjú és v térfogatú cseppek számának csökkenését, míg a második tag a c koncentrációjú és v térfogatú cseppek számának növekedését adja meg.

Belátható, hogy a fent bemutatott populációmérleg-egyenlet megoldása nagyon összetett és számítás igényes. Ennek a problémának a megoldására alkalmazható egy úgynevezett sztochasztikus megoldó módszer, a Monte Carlo módszer. Ennek az a lényege, hogy a folyamat során véletlen elemeket és véletlen kiegyenlítődést generálunk, így elég nagy elemszám és elég nagyszámú ütközés esetén jól megközelíti a megoldás a valóságot.

Ahhoz, hogy az átlagos molekulatömeget számolni tudjuk, ami megmutatja a végtermék minőségét, szükséges számolni a növekvő- és lezárt lánc nulladik, első és második momentumait. A növekvő lánc nulladik momentuma adja meg a polimer gyökök koncentrációját a rendszerben, az első momentum a monomer koncentrációját adja meg a polimer gyökökben. A lezárt lánc nulladik momentuma a polimer láncok koncentrációját adja a rendszerben, az első momentum a monomer koncentrációját adja meg a polimer láncokban. A második momentumoknak fizikai értelme már nincsen, azonban a polimer tulajdonság meghatározásához számításuk szükséges.

Az általunk kialakított szimulátor két fő részből épül fel. Az első rész, amikor a monomer konverzió kisebb, mint a kritikus konverzió, azaz kisebb, mint 65%. Ekkor a monomer koncentrációját állandónak tekintjük. Ezt azért tehetjük meg, mert a polimer azonnal kiválik a monomer cseppben, így a csökkenő monomer mennyiség és csökkenő monomer térfogat közel azonos koncentrációt eredményez. Ebben a részben az ütköző elemek között anyagcsere zajlik le, ezzel véve figyelembe a mikrokeveredés hatását. A második részében vesszük figyelembe azt az esetet, amikor a monomer konverzió már meghaladja a kritikus konverziót. Ebben az esetben a monomer koncentrációja folyamatosan csökken, ugyanis a csepp határfelületén egy szilárd polymerréteg alakul ki, ami megakadályozza a további térfogatváltozást és anyagcserét. Tehát, ha olyan elem ütközik, amiben a konverzió már meghaladta a kritikus konverziót, akkor nem jön létre a két elem között anyagcsere.

A szimuláció során alkalmazott egyenleteket a 2. táblázat tartalmazza. A táblázat második oszlopa, csak azokat az egyenleteket tartalmazza, ami eltér az első oszlopbeli egyenletektől.

A vizsgálatok során azt feltételeztük, hogy a reaktor makroszinten tökéletesen kevert. A számításokat abból az állapotból indítottuk, amikor a monomercseppeknek már kialakult a kezdetleges cseppméret eloszlása, tehát különböző méretű cseppek vannak a rendszerben. Az iniciátort véletlenszerűen osztottuk el a monomercseppekben, meghatározva egy maximális iniciátor koncentrációt, ami megengedett a cseppben. A szimulációk során a véletlenszám generálásnál minden esetben egyenletes eloszlást használtunk. Ez a módszer biztosítja, hogy adott lépésben bármelyik elembe kerülhet az iniciátor. Azt feltételeztük, hogy a reaktor fel van melegítve a reakció hőmérsékletére, és izoterm állapotban van a teljes folyamat alatt. Így hő mérleggel még nem számoltunk. Az 1. ábrán látható a kialakított szimulátor elvi vázlata.

Első lépésként definiáljuk a kezdeti monomercsepp-eloszlást, ami megadja a kezdeti populációt. Ehhez egy kisegítő programot használtunk, ami először generál egy ezelelemű halmazt megadott mérettartományban, majd ütközések lejátszódása után ebből a

populációból alakul ki az a rendszer, amivel majd a főprogram számolni fog. A kisegítő program eredményeit a főprogram átveszi, és a véletlen iniciátor elosztás után indul a polimerizáció, valamint a mikrokeveredés szimulálása. Végeredményként kétfajta diagramot kapunk, az egyiket nyomon követhetjük az egyes elemekben lezajló folyamatokat, tehát, hogy az egyes elemekben hogyan alakul az iniciátor, a monomer koncentráció változás, a momentumok értéke, a konverzió és a térfogatváltozások. A másik fajta ábra az átlagértékeket adja meg a teljes populációra. A momentumok alapján a tömegátlagos molekulatömeget számoltuk, és a kezdeti eloszlás hatását ez alapján figyeltük.

2. táblázat

A modellben alkalmazott mérleg egyenletek

[illegible]

Table 2: Balance equations used in model

Monomer conversion is smaller than critical conversion(1), Monomer conversion is higher than critical conversion(2)

1. ábra

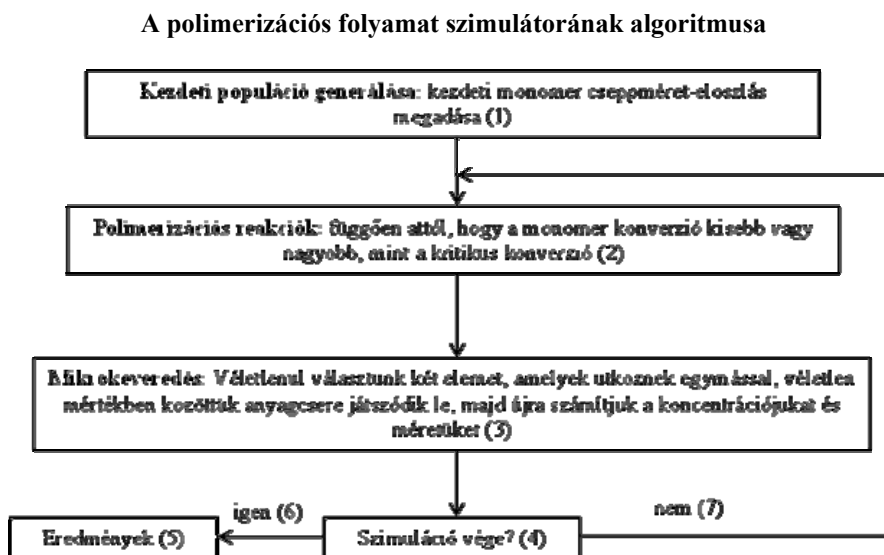


Figure 1: Algorithm of simulation of suspension polymerization process

Generation of initial population: initial drop size distribution of monomer(1), Polymerization reactions: depending on whether conversion is higher or smaller than critical conversion(2), Micromixing: randomly select of two drops, that collide and coalesce with each other; randomly distribute their concentration and calculate their new concentration and size(3), End of simulation?(4), Results(5), Yes(6), No(7)

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELES

Azzal, hogy az iniciátor elosztása a kialakult monomer cseppekben véletlenszerű, több olyan paraméter is van, ami változtatható, és hatással van a folyamatra. Megadható, hogy maximálisan mekkora iniciátor koncentráció lehet az egyes cseppekben, hogy egy elosztás alkalmával mennyi iniciátort helyezzen el a program egy cseppbe. Ezek a paraméterek befolyásolják azt, hogy kezdetben mennyi monomer csepp fog iniciátort tartalmazni.

Ebben a munkában azonban nem az iniciátor elosztásának hatásának vizsgálata volt a célunk, hanem a kezdeti cseppméreteloszlás hatásának vizsgálata. Ezért a fent említett paraméterek hatását nem is vizsgáltuk, azokat adott értéken tartottuk, és csak a kisegítő program által generált eloszlásokat változtattuk. Ezt a programban megadható cseppméret tartomány változtatásával értük el.

Előzetes számításokat végeztünk arra vonatkozóan, hogy mekkora az a cseppméret tartomány, ami vinil-klorid szuszpenziós polimerizációja során az intenzív kevertetés hatására kialakul. Ehhez elsősorban irodalmi adatokat használtunk fel. (Zerfa and Brooks, 1996; Zerfa and Brooks, 1998)

Az irodalmakban lévő adatok labor reaktorra és labor körülményekre vonatkoztak, ami azt jelenti, hogy nagyobb keverő fordulatszámra voltak mérési adatok, mint ami az iparban jellemzően előfordul. A mérési adatok azonban lineáris tendenciát követtek,

ezért számításokat végeztünk kisebb keverő fordulatszáma. Az így kapott eredmények alátámasztották az elképzelést, miszerint körülbelül 100 μm nagyságú cseppek alakulnak ki egy ipari reaktorban.

A 3. táblázatban a különböző kezdeti cseppméret eloszlások láthatók. D jelöli az átlagos csepp méretet, mértékegysége μm . A cseppméret eloszlást a keverő fordulatszáma nagymértékben befolyásolja, ezért az irodalmaknak megfelelően a különböző fordulatszámokhoz tartozó eloszlásokat használtuk fel a polimerizációs szimulátornál, és vizsgáltuk a tömegátlagos molekulatömeg alakulását.

A polimerizációs szimulátor futtatása után a momentumok segítségével kiszámoltuk a tömegátlagos molekulatömeget, és ezt ábrázoltuk az idő függvényében. A 2. ábra az iniciátor beadagolása utáni 1000 másodpercet mutatja. Az ábrán M_w a tömegátlagos molekulatömeg, és t az idő.

Bár úgy tűnik, hogy nem olyan nagy az eltérés az egyes esetek között, azonban, ha figyelembe vesszük azt, hogy a tömegátlagos molekulatömeg összefüggésben van a végtermék mechanikai és egyéb tulajdonságaival, akkor ez az eltérés is jelentős lehet. Az egyik olyan mutatószám, ami összefüggést teremt a tömegátlagos molekulatömeg és a termék felhasználási tulajdonságai között az úgynevezett Fikentscher féle K-érték (Titow, 1984; Kollár, 2010). Ez az az érték, ami alapján a PVC por termékeket osztályozzák, minősítik. A publikációkban talált diagramok alapján kiszámoltuk a K-értékeket. Természetesen ezt az értéket nagyon sok minden befolyásolja, egyik ilyen fő befolyásoló tényező a hőmérséklet, ezért a számítások csak közelítő adatokat eredményeznek. Azonban így is azt tapasztaltuk, hogy a legkisebb és legnagyobb átlagos molekulatömegű termékek K-értékei alapján közöttük tulajdonságbeli eltérés van. Ez azt jelenti, hogy nem mindegy az, hogy kezdetben milyen méretű monomer cseppek vannak a rendszerben, milyen kezdeti feltételekkel indul a polimerizáció.

Jelentős eltérés látható a diszperzitás-index (D_n) alakulásában is, attól függően, hogy mekkora a keverő fordulatszáma. A D_n értéke mindig egynél nagyobb, de minél egységesebbek, egyforma hosszúak a láncok, annál jobban közelít értéke az egyhez. Lépcsős polimerizációnál ez az érték közel 2. A 3. ábra mutatja az egyes fordulatszámokhoz tartozó diszperzitás-index értékeket. Látható, hogy a folyamat elején nagyon jelentős eltérés van az értéke között, ami az idő előrehaladtával csökken, azonban a végső értékekben is tapasztalható eltérés.

A különbség egyik oka az, hogy mivel az iniciátor elosztását nem változtattuk, vagyis minden egyes lépésben ugyanakkora nagyságrendnyi iniciátort oszt a szimulátor az egyes cseppekbe, ezért attól függően, hogy mekkora a cseppméret, kezdetben különböző mennyiségű cseppbe kerül iniciátor. Minél kisebb a cseppméret, annál kevesebb csepp tartalmaz kezdetben iniciátort, azonban ezekben a cseppekben az iniciátor koncentráció nagyobb (4. ábra). Az ábrán N jelöli a fordulatszámot.

Ez azt eredményezi, hogy az amúgy is kevés monomert tartalmazó kis cseppekben, amelyekbe került iniciátor, a polimerizáció lezajlik és a monomer konverzió gyorsan eléri azt a kritikus konverziót, amely felett már szilárd polimer szemcsék alakulnak ki, és ezután már nem képes anyagátadásra. A leírtak szemléltetésére a 4. táblázat ad lehetőséget.

Az ábrákon látható, hogy azokban a cseppekben, amelyekben már kezdetben is van iniciátor, már 1000 másodperc elteltével eléri a monomer konverzió a kritikus konverziót. Ez alatt az idő alatt látható, hogy csak kevés cseppnek sikerült átadni iniciátort, ezért azokban az elemekben, amiben van iniciátor ott lezajlott a polimerizáció, azonban sok elemben csak kis mértékben zajlott le. Ez eredményezi a kisebb tömegátlagos molekulatömeget. Ebben az esetben, mint ahogy az ábrán is látható, a szimuláció végén is még az iniciátor koncentráció elég magas, tehát sok iniciátor marad a szemcsékbe zárva.

3. táblázat

Különböző kezdeti monomer cseppméret-eloszlások

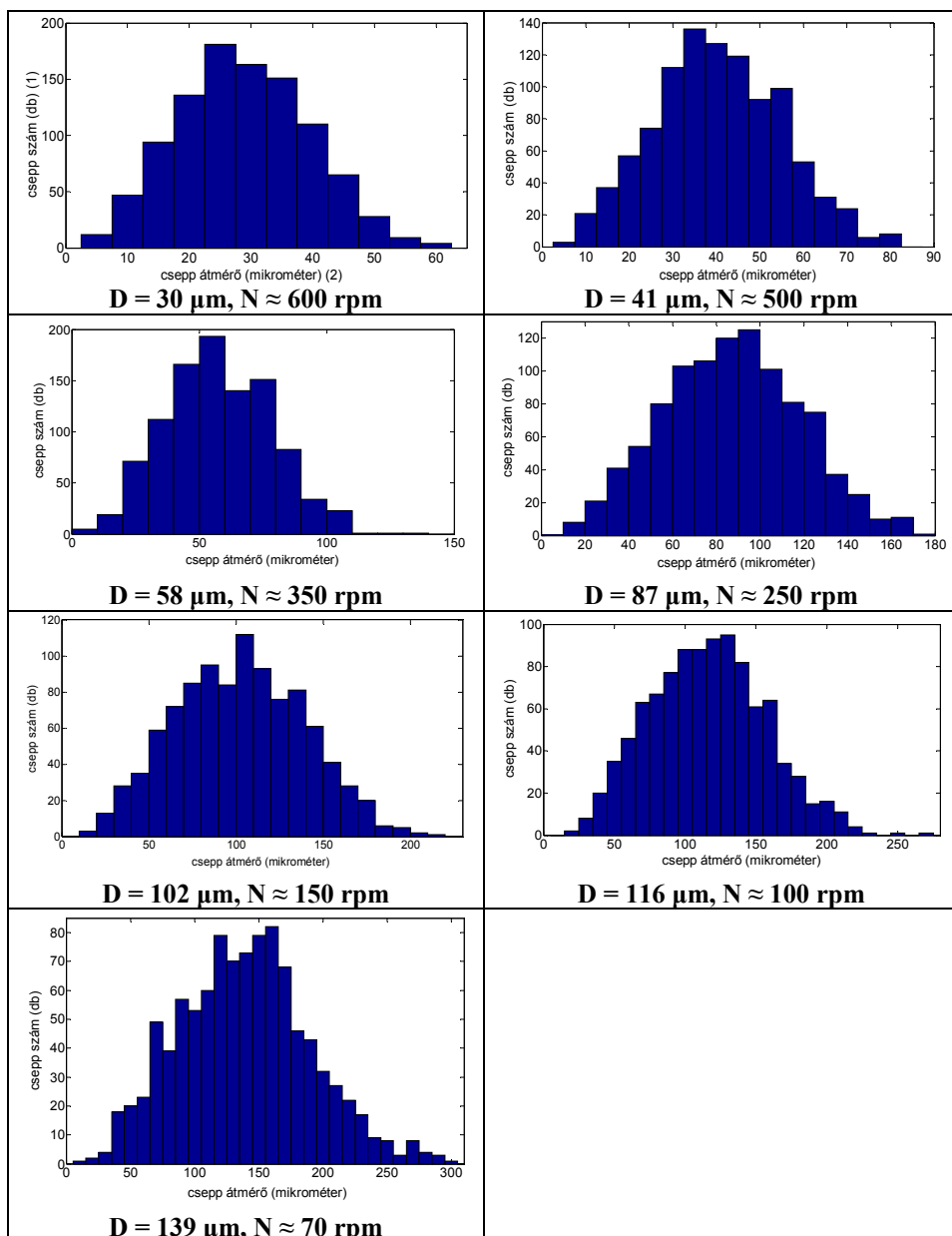


Table 3: Different initial monomer drop size distribution

Drop number(1), Drop diameter (μm)(2)

2. ábra

A tömegátlagos molekulatömeg alakulása különböző kezdeti cseppméret-eloszlások esetén

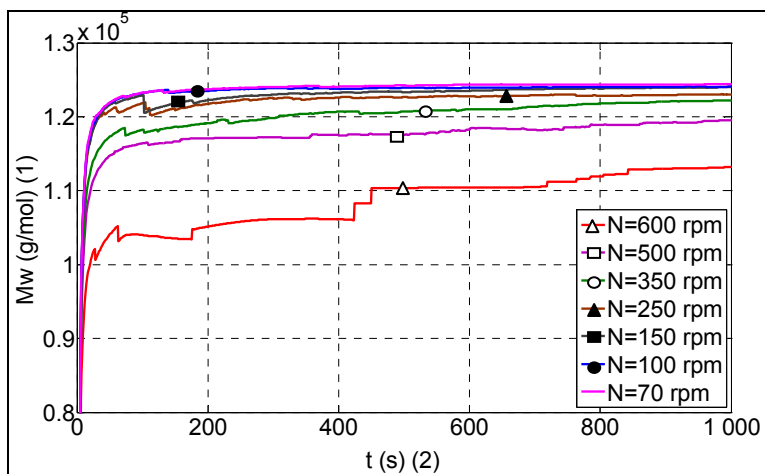


Figure 2: The change of the weight average molecular weight in case of different initial drop size distribution

Weight average molecular weight (g/mol)(1), Time (s)(2)

3. ábra

A fordulatszám hatása a diszperzitás-index időbeli változására

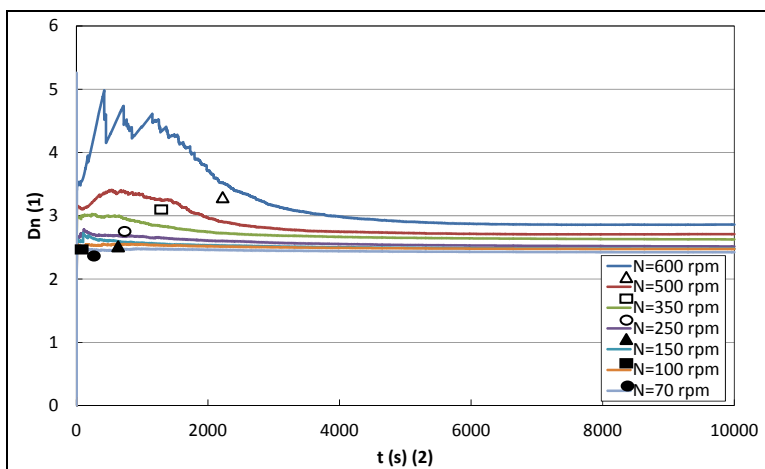


Figure 3: The effect of agitator speed on the evolution in time of dispersity index

Dispersity index(1), Time (s)(2)

4. ábra

A kezdetben iniciátort tartalmazó cseppek számának változása a fordulatszámmal

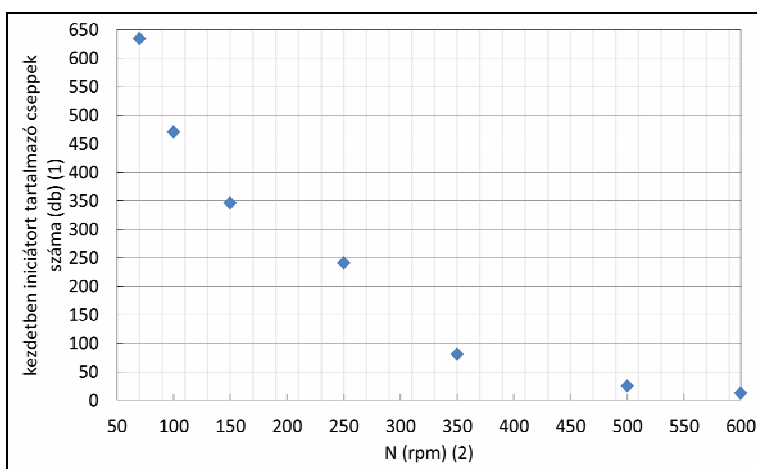
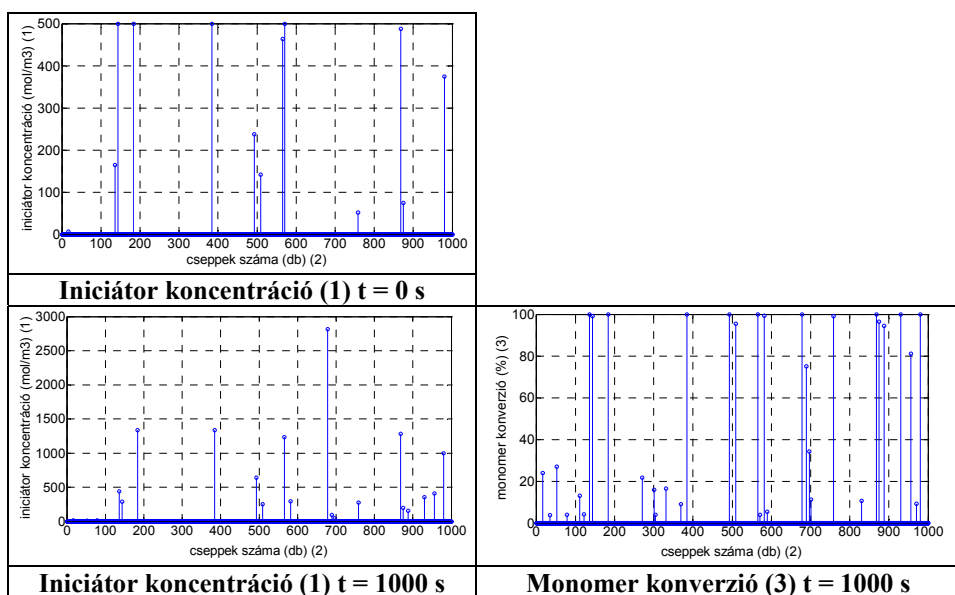


Figure 4: The change of the drop number which initial contain initiator with agitator speed

Drop number which initial contain initiator(1), Agitator speed (rpm)(2)

4. táblázat

Az iniciátor koncentráció és a monomer konverzió alakulása
600 rpm fordulatszám esetén



Folytatás a következő oldalon (Continued on next page)

Folytatás az előző oldalról (Continued from previous page)

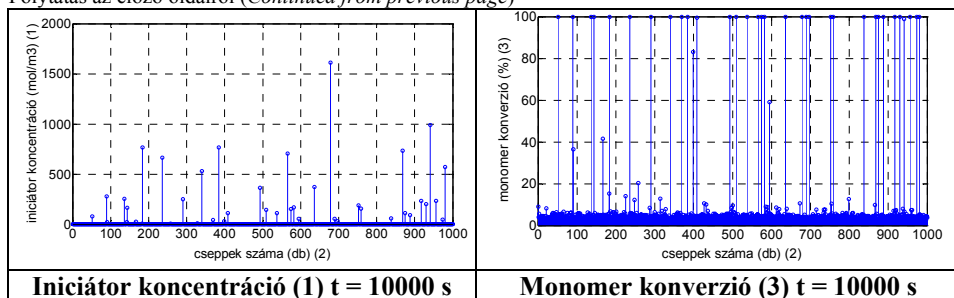


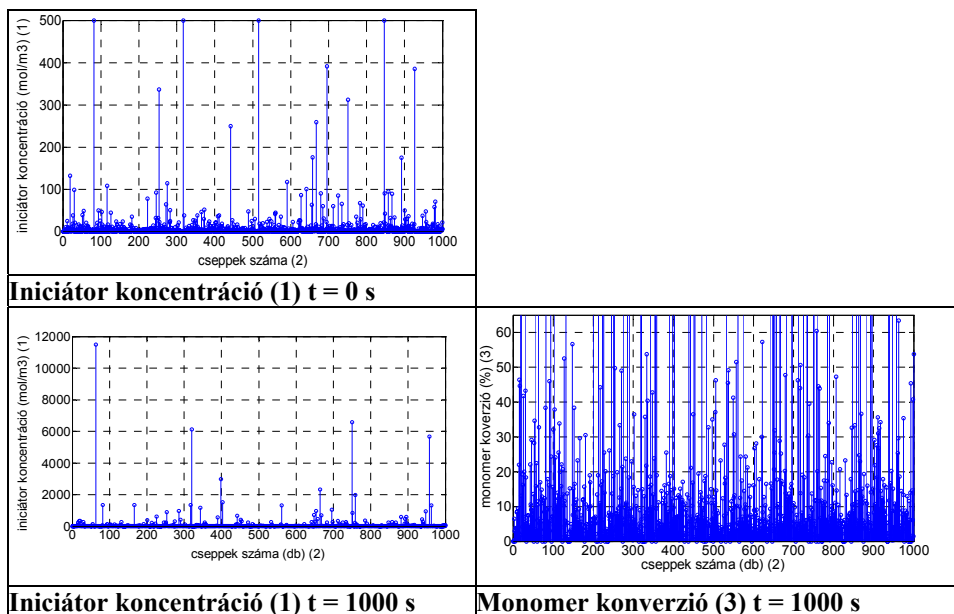
Table 4: Evolution of initiator concentration and monomer conversion in case of 600 rpm agitator speed

Initiator concentration (mol/m^3)(1), Drop number(2), Monomer conversion (%) (3)

Ezzel szemben, ha nagyobb kezdeti cseppméretek vannak, akkor több elem tartalmaz iniciátort, bár az egyes elemekben az iniciátor kezdeti koncentrációja kisebb. Az iniciátorhoz képest nagyságrendekkel több monomer van a cseppekben, ezért átlagosan hosszabb idő telik el a kritikus monomer konverzió eléréséig, így a cseppek sokáig képesek egymással anyagtranszportra, ami hosszabb és nagyobb molekulatömegű polimer láncok kialakulását eredményezi. Ez látható az 5. táblázatban.

5. táblázat

**Az iniciátor koncentráció és a monomer konverzió alakulása
70 rpm fordulatszám esetén**



Folytatás a következő oldalon (Continued on next page)

Folytatás az előző oldalról (Continued from previous page)

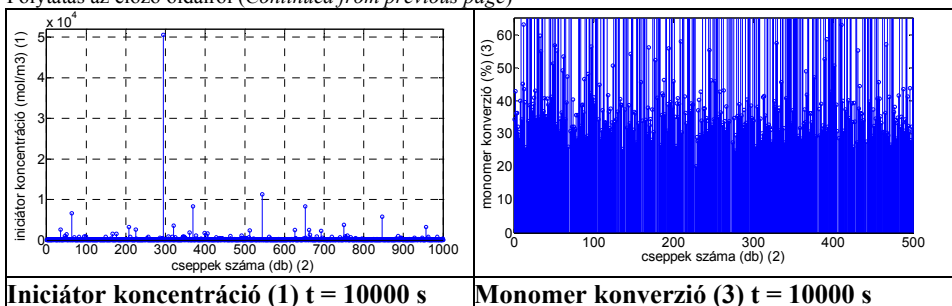


Table 5: Evolution of initiator concentration and monomer conversion in case of 70 rpm agitator speed

Initiator concentration (mol/m^3)(1), Drop number(2), Monomer conversion (%) (3)

Az ábrákon az látható, hogy már kezdetben több csepp tartalmaz iniciátort, bár ezekben az iniciátor koncentráció kisebb. Ennek köszönhetően sok elemben megkezdődhet a polimerizáció és a folyamat előrehaladtával is még sok elem van, amelyek még nem érték el a kritikus konverziót, tehát több ideig zajlik a polimerizáció és az anyagátadás lehetőségének köszönhetően egyre több elemben indulhat meg a polimerizáció.

Az eredmények alapján elmondható, hogy adott szimulációs paraméterek mellett az egyenletesebb lánc hossz kialakításának a kisebb fordulatszám kedvez, azonban további vizsgálatokat igényel az iniciátor elosztásának és a keverő fordulatszámának együttes vizsgálata, hogy teljes képet kapjunk a polimerizáció során lejátszódó folyamatokra gyakorolt hatásukról.

KÖVETKEZTETÉSEK

Ebben a munkánkban bemutattuk, hogy milyen szerepet játszik a szuszpenziós polimerizáció lejátszódásában és a termék minőségében a kezdeti monomer cseppméret-eloszlás. A végtermék tulajdonságai szempontjából nem mindegy, hogy kezdetben milyen méretű monomer cseppeket alakítunk ki a reaktorban, hiszen ettől függően, különböző felhasználási tulajdonságokkal rendelkező polimer terméket kapunk. Szakirodalmi adatokra támaszkodva, különböző keverő fordulatszámokra jellemző cseppméret-eloszlásokat generáltunk, és ezekkel a kezdeti eloszlásokkal indítottuk a polimerizációs szimulátort. Az eredmények bemutatták, hogy fontos szerepet játszik a kezdeti diszpergáltatása a monomer fázisnak. Számításokat végeztünk a felhasználásra jellemző K-érték meghatározására, és ez alapján minőségbeli eltérést tapasztaltunk az egyes termékek között.

További kutatási lehetőséget rejt magában az, hogy nem vizsgáltuk az iniciátor elosztásának paramétereinek változtatását, azaz egyenletesebb iniciátor eloszlást kell biztosítani a különböző cseppméret-eloszlások esetén. Ezen kívül valószínűleg a különböző cseppméret-eloszlással rendelkező rendszerekben a cseppek más-más valószínűséggel ütköznek egymással, ami minden bizonnyal befolyásolja a polimer végtermék tulajdonságait. Mivel a felhasználás minőségét nagymértékben befolyásolja a polimerizáció hőmérséklete, ezért a modell kibővítése hőmérleggel elengedhetetlen a továbbiakban, hiszen a reakciók erősen exotermek.

A későbbiekben szeretnénk valós ipari adatokkal a kialakított modell és szimulátor validálásának lehetőségét megteremteni.

JELÖLÉSJEGYZÉK

$\mathbf{c}$	koncentráció vektor
c_i	iniciátor koncentrációja, mol/m ³
c_M	monomer koncentrációja, mol/m ³
D	szemcse átmérője, μm
F_{ω_k}	ω_k eloszlás függvénye
f	faktor
I	iniciátor
I^*	aktív iniciátor gyök
k_d	iniciátor bomlási sebességi állandója, 1/s
k_p	növekedési sebességi állandója, m ³ /(mol·sec)
k_t	letörési reakció sebességi állandója, m ³ /(mol·sec)
k_{tM}	láncátadási állandó, m ³ /(mol·sec)
k^{th}	koaleszcenciában résztvevő komponensek
M	monomer
$M_i^K [n(v, c, t)]$	operátor, diffúziós anyagátadás két csepp között
M_w	monomer moláris tömege, g/mol
N	fordulatszám
n_M	monomer anyagmennyisége, mol
$n(v, c, t)$	populáció sűrűség függvény
$n(v, c, t)dvdc$	populáció darabszáma a $(v, v+dv)$ intervallumban, a $(c, c+dc)$ koncentráció tartományban, t időben
P_i	az i hosszúságú lezárt láncok
R_i	az i hosszúságú növekvő láncok
S_{col}	cseppek koaleszcenciájának frekvenciája
S_{eff}	cseppek koaleszcenciájának effektív koefficiense
t	idő, s
V	monomer térfogat, m ³
V_0	monomer cseppek kezdeti térfogata, m ³
V	csepp térfogata, m ³
V_{pol}	polimer szemcsék térfogata, m ³
X	konverzió
X_f	kritikus konverzió, amelynél a monomer fázis eltűnik
<i>Görög jelek:</i>	
α_b	függvény
β_a	cseppek összetapadásának korlátozó függvénye
β_b	függvény
δ	Dirack delta függvény
ρ_{mon}	monomer sűrűség, g/m ³
ρ_{pol}	polimer sűrűség, g/m ³
v_0	növekvő lánc nulladik momentuma
v_1	növekvő lánc első momentuma
v_2	növekvő lánc második momentuma
μ_0	lezárt lánc nulladik momentuma
μ_1	lezárt lánc első momentuma
μ_2	lezárt lánc második momentuma
ω_k	véletlen változó

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a munka az OTKA támogatásával a K77955 számú kutatási projekt keretében készült. Ugyanakkor köszönetet mondunk a TAMOP-4.2.2-08/1/2008-0018 (Élhetőbb környezet, egészségesebb ember - Bioinnováció és zöldtechnológiák kutatása a Pannon Egyetemen, MK/2) projekt anyagi támogatásáért.

IRODALOM

- Abdel-Alim, Ahmed H., Hamielec, A.E. (1972): Bulk Polymerization of Vinyl Chloride. In: Journal of applied polymer Science 16. 783-799. p.
- Alexopoulos, A.H., Kiparissides, C. (2007): On the prediction of internal particle morphology in suspension polymerization of vinyl chloride. Part I: The effect of primary particle size distribution. In: Chemical Engineering Science 62. 3970-3983. p.
- De Roo T., Wieme J., Heynderickx, G.J., Marin, G.B. (2005): Estimation of intrinsic rate coefficients in vinyl chloride suspension polymerization. In: Polymer 46. 8340-8354 p.
- Endo, K. (2002): Synthesis and structure of poly(vinyl chloride). In: Progress in Polymer science 27. 2021-2054. p.
- Hashim S., Brooks B.W. (2004): Mixing of stabilised drops in suspension polymerisation. In: Chemical Engineering Science, 59. 2321-2331. p.
- Kotoulas C., Kiparissides C. (2006): A generalized balance model for the prediction of particle size distribution in suspension polymerization reactors. In: Chemical Engineering Science, 61. 332-346. p.
- Kiparissides, C. (1990): Prediction of the primary particle size distribution in vinyl chloride polymerization. In: Macromolecular Chemistry Macromolecular Symposium, vol. 35/36. 171-192. p.
- Kollár, M. (2010): PVC-alapú polimer keverékek előállítása és vizsgálata, Doktori (Ph.D) értekezés.
- Lakatos, B.G. (2008): Population balance model for mixing in continuous flow systems. In: Chemical Engineering Science, 63. 2. 404-423. p. IF: 1.629.
- Lakatos, B.G. (2010): Moment method for multidimensional population balance models. Proc. 4th International Conference on Population Balance Modelling, 885-903. p.
- Lakatos, B.G., Mihálykó, Cs., Blickle, T. (2006): Modelling of interactive populations of disperse systems. In: Chemical Engineering Science, 61. 54-62. p. IF: 1.629.
- Ni, X., Zhang, Y., Mustafa, I. (1998): An investigation of droplet size and size distribution in methylmethacrylate suspensions in a batch oscillatory-baffled reactor. In: Chemical Engineering Science, 53. 16. 2903-2919. p.
- Saeki, Y., Emura, T. (2002): The technical progresses for PVC production. In: Progress in Polymer Science 27. 2055-2131.
- Smallwood, P.V. (1985): Vinyl chloride polymers polymerization. In: Marc, H. (Ed.), Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. Wiley : New York. 295 p.
- Talamini, G., Visentini, A., Kerr, J. (1998): Bulk and suspension polymerization of vinyl chloride: the two-phase model. In: Polymer 39. 10. 1879-1891. p.
- Tavare N.S., (1995): Industrial crystallization Process Simulation Analysis and Design. Plenum Press : New York.
- Titow, W.V. (1984): PVC Technology. Elsevier Applied Science Publishers : New York.
- Yuan, H.G., Kalfas, G., Ray, W.H. (1991) Suspension Polymerization, JMS-Rev. Macromol. In: Chem. Phys., C31(283), 215-299. p.

- Xie, T.Y., Hamielec, A.E., Wood, P.E., Woods, D.R. (1991): Suspension, bulk, and emulsion polymerization of vinyl chloride mechanism, kinetics, and reactor modelling. In: Journal of Vinyl Technology 13. 1. 2-25. p.
- Zerfa, M., Brooks, B.W. (1996): Vinyl chloride dispersion with relation to suspension polymerisation. In: Chemical Engineering Science 51. 14. 3591-3611. p.
- Zerfa, M., Brooks, B.W. (1998): Experimental investigation of PVA adsorption at the vinyl chloride/water interface in monomer suspensions. In: Colloids and Surfaces 132. 267-273.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Bárkányi Ágnes

Pannon Egyetem, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

*University of Pannonia, Department of Process Engineering
H-8200 Veszprém, Egyetem u. 10.*

Tel.: 36-88-624-447, Fax: 36-88-624-171

e-mail: barkanyia@fmt.uni-pannon.hu



Hűtéses kristályosítás dinamikus folyamatainak vizsgálata tűszerű kristályok esetén

Borsos Á., Lakatos G.B.

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Vegyészmérnöki és Folyamatmérnöki Intézet, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék
8200 Veszprém, Egyetem út 10.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk egy kétdimenziós populációs modellt mutat be folyamatos hűtéses kristályosítók dinamikus folyamatainak matematikai leírására. A modell egyenleteinek numerikus megoldása a két méretváltozó vegyes momentumait alkalmazó momentumok módszerével történt Matlab környezetben kidolgozott számítógépi programokkal. A peremeloszlások populációs sűrűségfüggvényeit az állandósult állapotokban kapott momentumok felhasználásával a gamma eloszlás alkalmazásával becsültük meg. A numerikus kísérletekben részletesen vizsgáltuk a hűtési profil és a kristályosítási kinetika kölcsönhatásait, valamint a szabályozásban fontos tranziensek viselkedését, a megjelenő oszcillációkat. A vizsgálatokat tűszerű kristályok esetén folytattuk, de a bemutatott és elemzett modell alkalmas a lapka formájú kristályokat produkáló folyamatok modellezésére is.

(Kulcsszavak: Hűtéses kristályosítás, tűszerű kristályok, kétdimenziós populációs modell, momentum egyenletek, szimuláció)

ABSTRACT

Investigation of dynamic processes in cooling crystallizer in case of needle-shape crystal production

Á. Borsos, B.G. Lakatos

University of Pannonia, Department of Process engineering, H-8200, Veszprém, Egyetem út 10.

A mathematical model is presented for investigating the dynamics of continuous cooling crystallizers, developing a bi-dimensional population balance model. The mixed set of ordinary and partial differential equations of the population balance model is solved by applying the moment method and developing computer programs in MATLAB environment. The marginal population density functions are approximated by means of the gamma distribution using the steady state marginal moments. Numerical experiments involve a detailed study of interactions of the cooling profile and the crystallization kinetics, as well as investigation of transients being important in control, and the oscillations arising in those. Application of the bi-dimensional population balance model allows studying crystallization processes producing either needle- or plate-like habit crystalline products.

(Keywords: Cooling crystallization, Needle-like crystals, Bi-dimensional population balance model, Moment method, Simulation)

BEVEZETÉS

Az oldatból történő kristályosítás a folyamatipar egyik fontos művelete, melyet szilárd szemcsék formázására, kémiai komponensek szétválasztására és tisztítására használnak.

A kristályosítási gyakorlat fejlődésével előtérbe került az előre megadott, speciális tulajdonságú kristályhalmazok előállításának az igénye, ami a kristályosítási folyamatok részletesebb és pontosabb leírását, a célként megadott tulajdonságok előállításához szükséges folyamat-vezetési feltételek megfelelő elemzését és tervezését feltételezi. Ennek a gyakorlatnak hatásos eszköze a kristályosítási folyamatok adekvát és prediktív modelljeinek a kidolgozása és alkalmazása.

A kristályosítás matematikai modellezésének központi eleme a kristályhalmazok tulajdonságainak jellemzését és időbeli evolúcióját leíró populációs mérlegegyenlet (Randolph and Larson, 1988; Tavaré, 1995; Ramkrishna, 2000; Blickle et al., 2001; Lakatos et al., 2006), amelyet többnyire egydimenziós alakban, azaz a kristályok egyetlen belső tulajdonságának (jellemző méret, térfogat, hőmérséklet, stb.) leírására használnak. Azonban a szerves komponensek, de a szervetlen anyagok kristályosítása esetén is gyakran találkozunk komplex habitusú kristályokkal, melyek formai jellemzése már nem lehetséges egydimenziós modellekkel. Ezért az utóbbi időben jelentős figyelmet kapott a többdimenziós populációs modellek kidolgozása és alkalmazása (Blickle et al., 2001; Lakatos et al., 2006), amelyek alkalmasak a komplex kristályformák adekvát leírására is (Ma et al., 2002, 2007; Puel et al., 2003a, 2003b; Lakatos, 2007).

Jelen munka célja a kielégítően csak két mérettel jellemezhető tú-alakú kristályok hűtéses kristályosítással történő előállításának modellezési és szimulációs vizsgálata. A kétdimenziós populációs mérlegegyenletet a momentum módszer alkalmazásával oldjuk meg, és a momentum modell alkalmazásával, szimulációval vizsgáljuk a rendszer dinamikus viselkedését és tulajdonságait.

KÉTDIMENZIÓS POPULÁCIÓS MODELL

Egy mind makroszinten, mind mikroszinten tökéletesen kevert kristályosítóban egyes felületek eltérő nevedései sebessége következtében kialakuló, két jellemző mérettel leírható habitusú kristályok esetén, ahogy ezt az 1. ábra szemlélteti.

1. ábra

Két méretváltozóval jellemezhető kristályformák: a) tűszerű, b) lapka

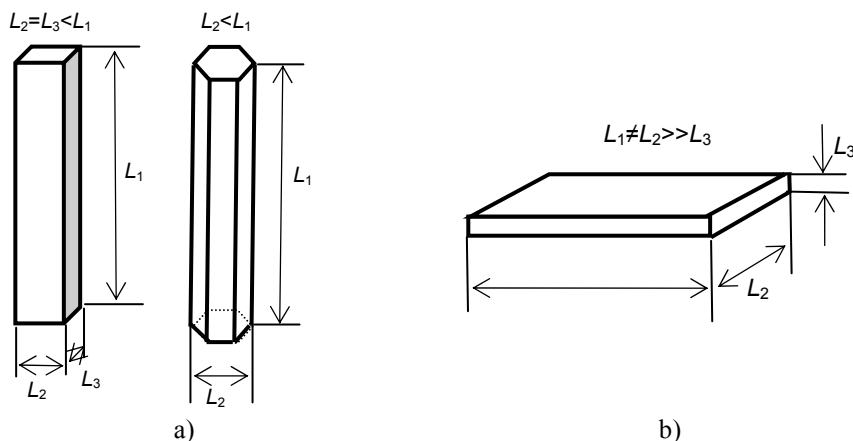


Figure 1: Crystal shapes which could be described by two sizes: a) needle shape, b) plate like

A populációs mérlegegyenlet az alábbi formában írható fel:

$$\frac{\partial n(L_1, L_2, t)}{\partial t} + \frac{\partial G_1(L_1, c(t), c_s(t))n(L_1, L_2, t)}{\partial L_1} + \frac{\partial G_2(L_2, c(t))n(L_1, L_2, t)}{\partial L_2} = \frac{q}{V}(n_{in}(L_1, L_2, t) - n(L_1, L_2, t)) + B(L_0, c(t), c_s(t)) \quad (1)$$

ahol a kétdimenziós $n(.,.,t)$ populációs sűrűségfüggvénnyel az $n(L_1, L_2, t)dL_1dL_2$ kifejezés megadja a $((L_1, L_1+dL_1) \times (L_2, L_2+dL_2))$ mérettartományba eső kristályok számát a kristály-szuszpenzió egységnyi térfogatában a $t \geq 0$ időpontban. Itt G_1 és G_2 jelölik a két különböző kristályfelület növekedési sebességét, míg a B írja le kristályok keletkezési sebességét az elsődleges és másodlagos gócképződés során a $t \geq 0$ időpontban. A G_1 és G_2 egymáshoz viszonyított értékei alapján alakulhatnak ki tűszerű vagy lapka formák. A B függvényt a

$$B(L_0, c(t), c_s(t)) = e_p B_p(L_0, c(t), c_s(t)) + e_b B_b(L_0, c(t), c_s(t)) \quad (2)$$

általános formában használjuk, ahol B_p és B_b jelölik az elsődleges és másodlagos gócképződés sebességeit, míg az $e_p \in \{0,1\}$ és $e_b \in \{0,1\}$ bináris egzisztenciaváltozókkal a gócképződés aktuális formáját tudjuk megadni az $e_p + e_b \geq 0$ formában. A c és c_s szimbólumok az oldott komponens koncentrációját és az egyensúlyi telítési koncentrációt jelölik.

A teljes modell felírásához meg kell adnunk a tömeg és energiamérleget is. Ezeket a következő mérlegegyenletek adják meg.

A kristályosodó komponensre vonatkozó tömegmérleg

$$\frac{d[\varepsilon c + (1-\varepsilon)\rho_c]}{dt} = \frac{q}{V}[\varepsilon_{in}c_{in} + (1-\varepsilon_{in})\rho_c] - \frac{q}{V}[\varepsilon c + (1-\varepsilon)\rho_c] \quad (3)$$

és az oldószer tömegmérlege

$$\frac{d(\varepsilon_{sv})}{dt} = \frac{q}{V}(\varepsilon_{in}c_{sv,in} + \varepsilon_{sv}) \quad (4)$$

ahol $0 \leq \varepsilon \leq 1$ jelöli az oldat térfogathányadát a kristályos szuszpenzióban, q a teljes térfogatáram, és V jelöli a kristályos szuszpenzió térfogatát a kristályosítóban.

A kristályos szuszpenzió hőmérlege:

$$\frac{d[\varepsilon(C_{sv}c_{sv} + C_c c) + (1-\varepsilon)C_c \rho_c]T}{dt} = \frac{q}{V}[\varepsilon_{in}(C_{sv}c_{sv,in} + C_c c_{in}) + (1-\varepsilon_{in})C_c \rho_c]T_{in} - \frac{q}{V}[\varepsilon(C_{sv}c_{sv} + C_c c) + (1-\varepsilon)C_c \rho_c]T - Ua(T - T_h) + (-\Delta H_c)R_{mc} \quad (5)$$

és a hűtőközegre vonatkozó hőmérleg:

$$\frac{d(C_h \rho_h T_h)}{dt} = C_h \rho_h \frac{q_h}{V_h}(T_{h,in} - T_h) + \frac{UaV}{V_h}(T - T_h) \quad (6)$$

Az (1)-(6) vegyes differenciálegyenlet-rendszer alkotja a hűtéses kristályosítók populációs modelljét, amikor a kristálypopuláció két méretváltozóval jellemezhető. A modell konstitutív és folyamat-paramétereit megadva a zárt rendszerhez lényegében csak az ε térfogathányad meghatározása szükséges, amely lényegében alapvető kapcsolatot ad az oldat- és a kristályos fázisok között

$$\varepsilon(t) = 1 - \int_0^\infty \int_0^\infty v_c(L_1, L_2)n(L_1, L_2, t)dL_1dL_2 \quad (7)$$

ahol $v_c(L_1, L_2)$ jelenti egy kristály térfogatát az L_1 és L_2 méretváltozók függvényében. Az (1)-(5) vegyes differenciálegyenlet-rendszer egyértelmű megoldását a megfelelő kezdeti és peremfeltételek megadásával kaphatjuk meg.

KÉTDIMENZIÓS MOMENTUM MODELL

A populációs modell segítségével a kristályszemcsék tulajdonságainak dinamikáját figyelhetjük meg, ám a populációs mérlegegyenlet megoldása még egy-dimenziós esetben is komplex feladat (Ramkrishna, 2001; Ulbert, 2002; Ulbert és Lakatos, 2008), így itt a megoldáshoz a diszperz rendszerek kezelésében gyakran alkalmazott momentumok módszerét használjuk fel. Ehhez a $v_c(L_1, L_2)$ függvény aktuális formájának megadásával meghatározzuk azt a vegyes momentumot, amellyel meg lehet adni az oldott anyag tömegmértékét, majd a többi – természetesen főleg alacsonyabb rendű – momentumra vonatkozó egyenletet kell ki-dolgozni, amelyek a tömegmérték felírásához szükséges momentumot meghatározzák.

A két méretváltozó vegyes momentumainak általános alakja

$$\mu_{k,m}(t) = \int_0^\infty \int_0^\infty L_1^k L_2^m n(L_1, L_2, t) dL_1 dL_2, \quad k, m = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

és így egy kristály térfogatát a k_V térfogati formafaktorral a $v_c(L_1, L_2) = k_V L_1 L_2^2$ kifejezés adja meg, ezért a tömegmérték meghatározásához szükséges vegyes harmadrendű momentum a

$$\mu_{1,2}(t) = \int_0^\infty \int_0^\infty L_1 L_2^2 n(L_1, L_2, t) dL_1 dL_2, \quad k, m = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

alakú (Lakatos, 2008; Borsos, 2009). Ezért a kétdimenziós momentum modellt az (1) egyenlet alapján az alábbi momentum egyenletek alkotják:

$$\frac{d\mu_{0,0}}{dt} = \frac{q}{V} (\mu_{0,0,in} - \mu_{0,0}) + e_p B_p + e_b B_b \quad (10)$$

$$\frac{d\mu_{1,0}}{dt} = \frac{q}{V} (\mu_{1,0,in} - \mu_{1,0}) + G_1 \mu_{0,0} \quad (11)$$

$$\frac{d\mu_{0,1}}{dt} = \frac{q}{V} (\mu_{0,1,in} - \mu_{0,1}) + G_2 \mu_{0,0} \quad (12)$$

$$\frac{d\mu_{1,1}}{dt} = \frac{q}{V} (\mu_{1,1,in} - \mu_{1,1}) + G_1 \mu_{0,1} + G_2 \mu_{1,0} \quad (13)$$

$$\frac{d\mu_{2,0}}{dt} = \frac{q}{V} (\mu_{2,0,in} - \mu_{2,0}) + 2G_1 \mu_{1,0} \quad (14)$$

$$\frac{d\mu_{0,2}}{dt} = \frac{q}{V} (\mu_{0,2,in} - \mu_{0,2}) + 2G_2 \mu_{0,1} \quad (15)$$

$$\frac{d\mu_{1,2}}{dt} = \frac{q}{V} (\mu_{1,2,in} - \mu_{1,2}) + G_1 \mu_{0,2} + 2G_2 \mu_{1,1} \quad (16)$$

Ezen momentumok közül tehát a $\mu_{1,2}$ a térfogattal arányos, a $\mu_{0,0}$ pedig a szemcsék térfogat-egységenkénti teljes számát adja meg. A (10)-(16) egyenletrendszer a (3)-(6) egyenletekkel kiegészítve szolgáltatja a hűtési kristályosítók kétdimenziós modelljét.

LÉPTÉKEZÉS ÉS NUMERIKUS MEGOLDÁS

Az egyenletek numerikus megoldásához léptékeznünk kell azokat, mert az egyes tagok között több nagyságrendnyi különbségek vannak, aminek következtében az egyes folyamatok megváltozásának sebessége egymáshoz képest túl gyors vagy lassú. A léptékezési eljárást és a szükséges átalakításokat *Borsos* (2009) részletesen leírta, ezért itt csak a végeredményként kapott egyenletrendszert adjuk meg. Definálva tehát az alábbi léptéktfaktorokat (*Lakatos*, 2007; *Borsos*, 2009)

$$z = s_T T, \quad \beta_{g_1} = \frac{E_{g_1} s_T}{R}, \quad s_{0,2} = k_V \psi_1, \quad s_{1,1} = 2k_V \psi_2, \quad s_{0,1} = s_{1,1} \psi_1, \quad s_{1,0} = s_{1,1} \psi_2,$$

$$s_{0,1} = 2s_{0,2} \psi_2 = 2k_V \psi_1 \psi_2, \quad x_{1,2} = k_V \mu_{1,2}, \quad z = s_T T, \quad s_{0,0} = 2k_V \psi_1 \psi_2^2, \quad s_{2,0} = \frac{s_{1,0}}{2 \cdot \psi_1},$$

$$\alpha = \rho_c s_c, \quad \kappa = \frac{s_c U a}{s_t C_h}, \quad \gamma = \frac{s_T}{C_h}, \quad s_V = 1, \quad \psi_1 = \frac{k_{g_1 0}}{s_t s_c^{g_1}}, \quad \psi_2 = \frac{k_{g_2 0}}{s_t s_c^{g_2}}$$

a teljes léptékezett másodrendű momentum egyenlet modell az alábbi:

$$\frac{dx_{0,0}}{d\xi} = \frac{1}{\xi} (x_{0,0m} - x_{0,0}) + e_p \Theta_p + e_b \Theta_b \quad (17)$$

$$\frac{dx_{0,1}}{d\xi} = \frac{1}{\xi} (x_{0,1,in} - x_{0,1}) + \Theta_{g_2} x_{0,0} \quad (18)$$

$$\frac{dx_{1,0}}{d\xi} = \frac{1}{\xi} (x_{1,0,in} - x_{1,0}) + \Theta_{g_1} x_{0,0} \quad (19)$$

$$\frac{dx_{1,1}}{d\xi} = \frac{1}{\xi} (x_{1,1,in} - x_{1,1}) + \Theta_{g_1} x_{0,1} + \Theta_{g_2} x_{1,0} \quad (20)$$

$$\frac{dx_{0,2}}{d\xi} = \frac{1}{\xi} (x_{0,2,in} - x_{0,2}) + \Theta_{g_2} x_{0,1} \quad (21)$$

$$\frac{dx_{2,0}}{d\xi} = \frac{1}{\xi} (x_{2,0,in} - x_{2,0}) + \Theta_{g_1} x_{1,0} \quad (22)$$

$$\frac{dx_{1,2}}{d\xi} = \frac{1}{\xi} (x_{1,2,in} - x_{1,2}) + \Theta_{g_1} x_{0,2} + \Theta_{g_2} x_{1,1} \quad (23)$$

Léptékezett tömegmérleg a kristályos fázisra

$$\frac{dy}{d\xi} = \frac{1}{\xi} \frac{1 - x_{1,2in}}{1 - x_{1,2}} (y_{in} - y) + \frac{\alpha - y}{1 - x_{1,2}} [\Theta_1 \mu_{0,2} + \Theta_2 \mu_{1,1}] \quad (24)$$

valamint az oldószerre

$$\frac{dy_{sv}}{d\xi} = \frac{1}{\xi} \frac{(1 - x_{1,2in})}{(1 - x_{1,2})} (y_{sv,in} - y_{sv}) + \frac{y_{sv}}{(1 - x_{1,2})} (\Theta_1 x_{0,2} - \Theta_2 x_{1,1}), \quad (25)$$

míg a léptékezett energiamérleg a kristályos fázisra

$$\frac{dz}{d\xi} = \frac{1}{\xi} \frac{\phi_{in}}{\phi} (z_{in} - z) - \frac{\kappa}{\phi} (z - z_h) + \frac{\alpha\gamma}{\phi} \psi_{1,2} \quad (26)$$

és a hűtőközegre

$$\frac{dz_h}{d\xi} = \frac{1}{\xi_h} (z_{h,in} - z_h) + \frac{\kappa\nu}{\nu_h \alpha_h} (z - z_h) \quad (27)$$

A (17)-(27) egyenletrendszerben a kinetikai összefüggések:

$$\Theta_{g_i} = \left(\frac{y - y_s}{y_s} \right)^{g_i} \exp \left(- \frac{\beta_{g_i}}{z} \right), \quad i = 1, 2 \quad (28)$$

$$\Theta_p = D_{ap} \exp \left(- \frac{\beta_p}{z} \right) (1 - x_{1,2}) \exp \left(- \frac{k_e}{\ln^2 \left(\frac{y}{y_s} \right)} \right) \quad (29)$$

$$\Theta_b = D_{ab} \exp \left(- \frac{\beta_b}{z} \right) \left(\frac{y - y_s}{y_s} \right)^b x_{1,2}^j. \quad (30)$$

A kristályosítás során keletkező kristálypopuláció két legfontosabb tulajdonsága a szemcsék átlagos mérete és a populáció méreteloszlása. A momentum modell nem állítja elő közvetlenül az $n(\dots, t)$ populációs sűrűségfüggvényt, de a momentumok ismeretében a két-paraméteres gamma eloszlás segítségével megbecsülhetjük annak alakját a peremeloszlások sűrűségfüggvényein keresztül. A szemcseméret-eloszlást a gamma eloszlás sűrűség-függvényével közelítve

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{ha } x \leq 0 \\ \frac{\lambda^p x^{p-1}}{\Gamma(p)} e^{-\lambda \cdot x}, & \text{ha } x > 0 \end{cases} \quad (31)$$

annak paramétereit a peremeloszlások $E_{1,0} = \frac{\mu_{1,0}}{\mu_{0,0}}$ és $E_{0,1} = \frac{\mu_{0,1}}{\mu_{0,0}}$ várható értékeiből,

valamint a $D_1^2 = \frac{\mu_{2,0}}{\mu_{0,0}} - \left(\frac{\mu_{1,0}}{\mu_{0,0}} \right)^2$ és $D_2^2 = \frac{\mu_{0,2}}{\mu_{0,0}} - \left(\frac{\mu_{0,1}}{\mu_{0,0}} \right)^2$ szórásnégyzetekből a $\lambda = \frac{E}{D^2}$

és $p = E \cdot \lambda$ összefüggések alapján számolhatjuk.

SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATOK ÉS ÉRTÉKELES

A (17)-(27) közönséges differenciálegyenlet-rendszer megoldását Matlab környezetben az ode15s megoldóval végeztük mind folyamatos, mind pedig szakaszos kristályosítók szimulációs vizsgálatát célozva. A numerikus kísérletekben az 1. táblázatban megadott kinetikai és folyamatparamétereket használtuk.

1. táblázat

A vizsgált kristályosítóhoz tartozó kinetikai- és folyamatparaméterek

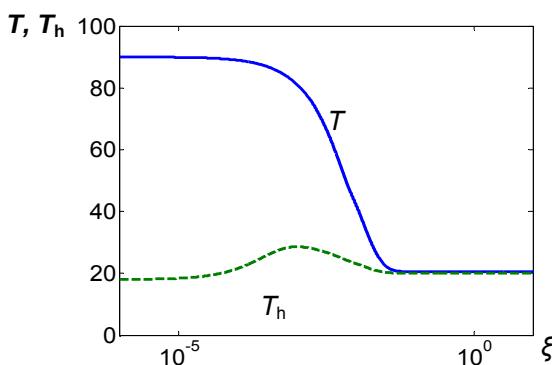
$V=10 \text{ m}^3$	$k_{p0}=1.6 \cdot 10^{30} \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$	$g_1=1.48$
$q_{in}=10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	$k_e=2.1$	$E_b=9.0 \cdot 10^4 \text{ J mol}^{-1}$
$c_{in}=350 \text{ kg m}^{-3}$	$E_p=5.0 \cdot 10^4 \text{ J mol}^{-1}$	$k_{g1}=12.2 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$
$T_{in}=90 \text{ }^\circ\text{C}$	$k_{b0}=1.0 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$	$g_2=1.75$
$T_{h,in}=20 \text{ }^\circ\text{C}$	$b=3.0, j=1.5$	$k_{g2}=10.08 \cdot 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$
$a_0=0.2087 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$	$a_1=-9.76 \cdot 10^{-2} \text{ kg m}^{-3} \text{ K}^{-1}$	$a_2=-9.30 \cdot 10^{-2} \text{ kg m}^{-3} \text{ K}^{-2}$

Table 1: The kinetic and process parameters of the investigated crystallizer

A 2. ábra mutatja be a kristályos szuszpenzió és a hűtőfolyadék hőmérsékletének időbeli változását, amikor a 90°C belépő hőmérsékletű oldat hűtése a 18°C hőmérsékletű hűtőfolyadék (víz) ugrásszerű rákapcsolásával történik. A hűtőfolyadék tranziens felmelegedése után az adott üzemi feltételek mellett a hűtés lényegében teljes, azaz ebben az esetben a hűtési folyamat megfelelő modulálásához elegendő a hűtőfolyadék hőmérsékletének a változtatása.

2. ábra

A kristály szuszpenzió és a hűtőközeg hőmérsékletének időbeli változása

Figure 2: Evolution of temperature of suspension (T) and cooling medium (T_h) in time

Az ugrásszerű hűtessel folytatott vizsgálatok azt mutatták, hogy a folyamatos kristályosító az elsődleges gócképződés dominanciája esetén gyakran mutatott a momentumokban – és az oldott anyag koncentrációjában – oszcilláló viselkedést, ahogy ezt a $\mu_{1,2}$ harmadrendű vegyes momentumra bemutatott 3. ábra szemlélteti. Ugyanakkor a másodlagos gócképződés csillapítja az elsődleges gócképződés által generált oszcillációkat, amit jól illusztrál a 4. ábra, amely ugyancsak a $\mu_{1,2}$ momentum időbeli változását mutatja az előzővel azonos üzemi feltételek mellett.

Az 5. ábra mutatja be a másodlagos gócképződési sebesség b paraméterének a hatását a kristályosító tranziens folyamataira. A b paraméter növekedésével növekszik a másodlagos gócképződés csillapító hatása, azonban némileg csökken a kristályosító

kristálytömeg-termelésre vonatkozó teljesítménye is. Ugyanakkor a 6. ábrán látható módon a b növekedésével növekszik a teljes kristálysúly, azaz a kristálytömeg növekedése is lényegében a másodlagos gócképződés hatásának eredménye.

3. ábra

**A léptékezett (dimenziómentes) vegyes harmadik momentum időbeli változása
elsődleges gócképződés esetén**

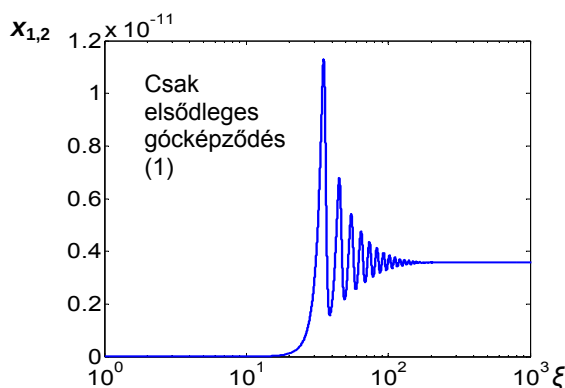


Figure 3: The evolution of the scaled third order joint moment in time when only primary nucleation occurs.

Only primary nucleation occurs(1)

4. ábra

**A másodlagos gócképződés csillapító hatása
a 3. ábrán bemutatott oszcillációkra**

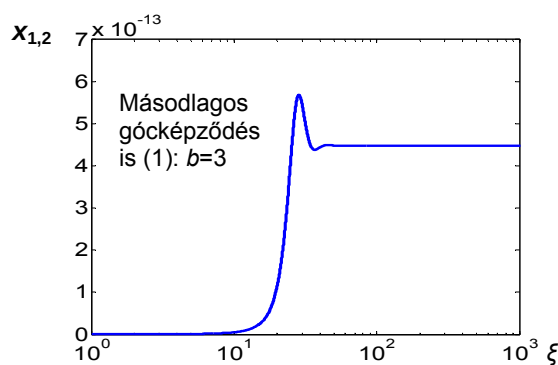


Figure 4: Palliative effect of secondary nucleation on the presented oscillation on figure 3.

Primary and secondary nucleation occur(1)

5. ábra

A másodlagos gócképződés b paraméterének hatása az oszcillációk csillapítására

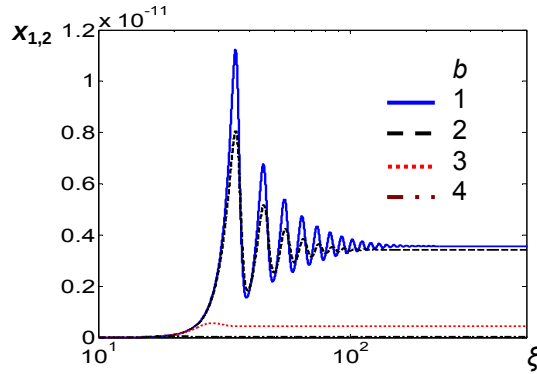


Figure 5: The effect of parameter b on the palliation of oscillation.

6. ábra

A másodlagos gócképződés b paraméterének hatása a teljes kristálysám állandósult értékére

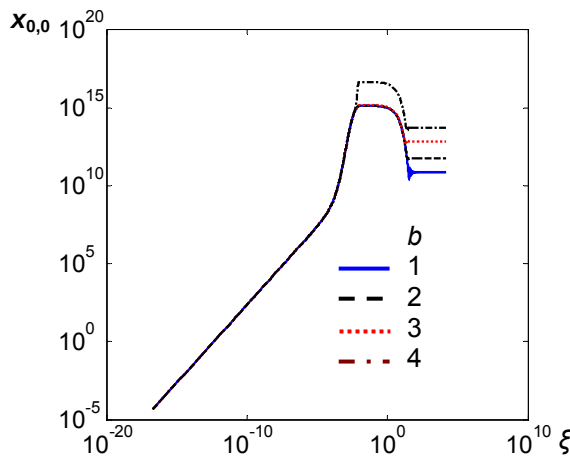


Figure 6: The effect of parameter b on the steady state value of total number of crystal particles

A 7. ábra mutatja be a gamma eloszlás által a momentumok állandósult értékei felhasználásával becsült perem populációs sűrűségfüggvényeket. Jól látható a két perem kristály-méret-eloszlás közötti különbség, ami mind az átlagos méretekben, mind pedig a szórás-négyzetekben jelentős különbségeket jelez. A 2. táblázatban az egyes változók szerinti átlagos méretek láthatók a b paraméter függvényében, amely jól illusztrálja, hogy a másodlagos nukleáció által generált nagyszámú apró szemcse következményeként mind a két változó szerinti átlagméret csökken.

7. ábra

A peremeloszlások populációs sűrűségfüggvényeinek
a gamma eloszlással becsült formái

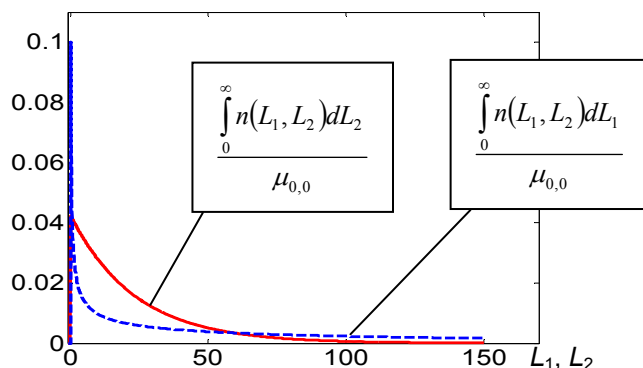


Figure 7: The population density functions approximated by the Gamma distribution forms

2. táblázat

Az egyes él hosszak szerinti átlag méretek (L_1, L_2)
különböző b paraméterek függvényében

$b=1$	$b=2$	$b=3$	$b=4$	$b=5$
$1,591 \cdot 10^{-4}$ m	$1,569 \cdot 10^{-4}$ m	$7,67 \cdot 10^{-5}$ m	$3,22 \cdot 10^{-5}$ m	$1,61 \cdot 10^{-5}$ m
$2,352 \cdot 10^{-5}$ m	$2,325 \cdot 10^{-5}$ m	$1,269 \cdot 10^{-5}$ m	$6,09 \cdot 10^{-6}$ m	$3,38 \cdot 10^{-6}$ m

Table 2: Mean sizes of the different crystal edges in different values of parameter b

A 8. ábra a kristályosító fázistérbeli trajektóriájának a szemcseszám - oldott anyag koncentráció - szuszpenzió hőmérséklet háromdimenziós alterébe való projekcióját mutatja be ugyancsak a másodlagos gócképződés b paraméterének függvényében. Ezt a léptékezett változókkal ábrázoltuk, mivel ez egyszerűbben, de az időbeli változások lényeges elemeit megőrizve mutatja a három változó közötti kapcsolatokat a folyamatidő bármely időpontjában.

KÖVETKEZTETÉSEK

A hűtési kristályosítók matematikai leírása a kielégítően csak két mérettel jellemezhető kristályok esetén kétdimenziós populációs modellel adható meg. Ezt a tűszerű kristályok esetén vizsgáltuk, de a bemutatott és elemzett modell alkalmas a lapka formájú kristályokat produkáló folyamatok modellezésére is. A részletes modell egyenleteinek numerikus megoldását a két méretváltozó vegyes momentumait alkalmazó momentumok módszerével végeztük, és a peremeloszlások populációs sűrűségfüggvényeit az állandósult állapotokban kapott momentumok felhasználásával a gamma eloszlás alkalmazásával becsültük.

8. ábra

A másodlagos gócképződés b paraméterének hatása a szemcseszám - oldott anyag koncentráció - szuszpenzió hőmérséklet altérben való változására

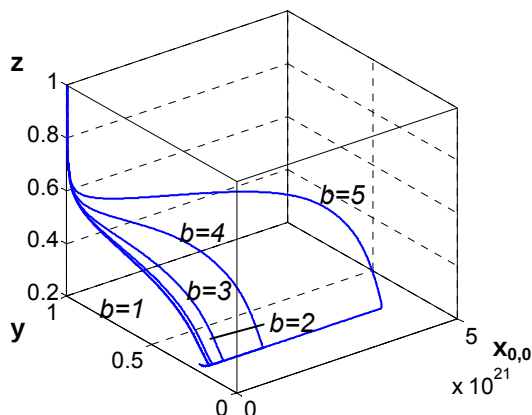


Figure 8: Projection of trajectories into the subspace $(z, y, x_0, 0)$ depending on the parameter b

A folyamatos kristályosítók tranziens folyamatait vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy az elsődleges gócképződés gyakran generál oszcillációkat a momentumokban és az oldott anyag koncentrációjában, ami nehezíti a kristályosítók szabályozását. Ezeket az oszcillációkat a kristályosítókban kialakuló dúsulási és kimosódási jenségek idézik elő. Ugyanakkor a másodlagos gócképződés sok esetben csillapító hatással van, de – bár némileg növeli a kristály-tömeg-termelést – mindegyik méretváltozó szerint csökkenti a kristályok átlagos méretét.

Az egydimenziós populációs modellek kezelésében igen hasznosnak bizonyult momentum módszer a tárgyalt kétdimenziós modell esetében is eredményesnek mutatkozik, és célszerűnek látszik alkalmazása összetettebb folyamatok és rendszerek modellezésében is.

JELÖLÉSJEGYZÉK

B	-	gócképződési sebesség, $\# \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$
b	-	kinetikai paraméter
C	-	hőkapacitás, $\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
c	-	koncentráció, kg m^{-3}
D^2	-	szórásnégyzet
D_a	-	dimenziómentes paraméter
E	-	várható érték
G	-	növekedési sebesség, m s^{-1}
L	-	méretváltozó, m
n	-	populációs sűrűségfüggvény, $\# \text{ m}^{-5}$
p	-	a gamma eloszlás paramétere
q	-	térfogatáram, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$
s	-	léptékező paraméter

T	-	hőmérséklet, K
t	-	idő, s
V	-	térfogat, m ³
$x_{k,j}$	-	k,j -edik dimenziómentes vegyes momentum
y	-	dimenziómentes koncentráció
z	-	dimenziómentes hőmérséklet
β	-	dimenziómentes paraméter
ε	-	az oldat térfogathányada
Θ	-	léptékezett (dimenziómentes) sebesség
λ	-	a gamma eloszlás paramétere
$\mu_{k,j}$	-	k,j -edik vegyes momentum
ζ	-	dimenziómentes idő
ρ	-	sűrűség, kg m ⁻³

Indexek

1	-	nagyobb növekedési sebesség irány
2	-	kisebb növekedési sebesség irány
b	-	másodlagos gócképződés
c	-	kristály
h	-	hűtőközeg
in	-	bemeneti változó
p	-	elsődleges gócképződés
s	-	egyensúlyi telítési koncentráció
sv	-	oldószer

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a munka az OTKA támogatásával a K77955 számú kutatási projekt keretében, továbbá a TAMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003 projekt tártámogatásával valósult meg. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- Blickle T., Lakatos B., Mihálykó Cs. (2001): Szemcsés rendszerek matematikai modelljei. A kémia újabb eredményei-89. Akadémiai Kiadó, Budapest. 173-348. p.
- Borsos Á. (2009): Hűtéses kristályosítók modellezése és optimalizálása. Diplomadolgozat. Pannon Egyetem, Veszprém.
- Lakatos B.G. (2007): Population balance modelling of crystallisation processes. Hung. J. Ind. Chem., 35. 7-17. p.
- Lakatos B.G., Mihálykó Cs., Blickle, T. (2006), Modelling of interactive populations of disperse systems. Chem. Eng. Sci., 61. 54-62. p.
- Ma C.Y., Wang X.Z., Roberts K.J. (2007): Multi-dimensional population balance modelling of the growth of rod-like L-glutamic acid crystals using growth rates estimated from in-process imaging. Advanced Powder Technology, 18. 707-723 p.
- Ma D.L., Tafti D.K., Bratz R.D. (2002): High-resolution simulation of multi-dimensional crystal growth. Ind. Eng. Chem. Res., 41. 6217-6223. p.

- Puel F., F  votte G., Klein J.P. (2003a): Simulation and analysis of industrial crystallization process through multidimensional population balance. Part 1: a resolution algorithm based on the method of classes. *Chem. Eng. Sci.*, 58. 3715-3727. p.
- Puel F., F  votte G., Klein J.P. (2003b): Simulation and analysis of industrial crystallization process through multidimensional population balance equations. Part 2: a study of semi-batch crystallization. *Chem. Eng. Sci.*, 58. 3729-3740. p.
- Ramkrishna D. (2000): *Population Balances, Theory and Applications to Particulate Systems in Engineering*. Academic Press, San Diego.
- Randolph, A.D., Larson M.A. (1988): *Theory of Particulate Processes*. Academic Press, New York.
- Tavare N.S., (1995): *Industrial Crystallization. Process Simulation, Analysis and Design*. Plenum Press, New York.
- Ulbert Zs. (2002): *Kristályosítók dinamikus folyamatainak modellezése   s szimulációja*. Phd dolgozat, Veszpr  mi Egyetem, Veszprém.
- Ulbert Zs., Lakatos G.B. (2007): Dynamic simulation of crystallization processes: Adaptive finite element collocation method. *AIChE Journal*, 53. 3089-3107. p.

Levelezési c  m (*Corresponding author*):

Borsos   kos

Pannon Egyetem, Folyamatmérnöki Intézet, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék
8200 Veszprém. Egyetem   t 10.
University of Pannonia, Department of Process engineering
H-8200, Veszprém, Egyetem   t 10.
Tel.: 36-88-624-770, Fax: 36-88-624-171
e-mail: borsosa@fmt.uni-pannon.hu



Méretfüggő kristálynövekedési sebesség modellezése oldatból történő kristályosítás esetén

Borsos Á., Lakatos G.B.

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Vegyészmérnöki és Folyamatmérnöki Intézet, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék
8200 Veszprém, Egyetem út 10.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk egy folyamatos működtetésű MSMPR kristályosító modelljét mutatja be és veti össze kísérleti adatokkal. A modell tartalmaz méretfüggő növekedés leírására alkalmas tagokat, melyek megfelelő értékek mellett a méretfüggetlentől a nemlineáris, méretfüggő növekedési sebességig képes leírni a kinetikai folyamatot. A numerikus megoldás Matlab környezetben kidolgozott számítógépes programokkal történik. A matematikai modell analitikus leírását állandósult állapotokra irtuk fel. A modellben szereplő paraméterek hangolását a kísérleti adatokhoz történő illesztéssel végeztük. Továbbá megvizsgáltuk, hogy a növekedési sebesség méretfüggését is befolyásoló tagok milyen hatással vannak a kristályos termék tulajdonságaira, részletesen vizsgálva hatását a populáció sűrűségfüggvényre.

(Kulcsszavak: MSMPR kristályosítás, folyamatos kristályosító, populációs modell, momentum egyenletek, méretfüggő növekedési sebesség, paraméter identifikáció, szimuláció)

ABSTRACT

Size dependent crystal growth rate in case of solution crystallization

A. Borsos, B.G. Lakatos

University of Pannonia, Department of Process Engineering, H-8200 Veszprém, Egyetem út 10.

This paper proposes a model of continuous MSMPR crystallizer and compares with the experimental data. The mathematical model is suitable to describe size-dependent kinetic processes, which is able to modelling from the size-independent growth rate to the linear and nonlinear size-dependent growth rate by properly tuned parameters. The numerical solution is developed by computer algorithms in Matlab environment. The result of mathematical model can be solved in steady-state process. We were fitting the kinetic parameters in the model to the experimental data. Furthermore the influence of the parameter of size-dependent growth kinetic model to the population density function was analyzed. Our model was compared with some of widely used crystal growth kinetic model. (Keywords: MSMPR crystallization, continuous crystallizer, population balance model, Moment method, size-dependent growth rate, parameter identification, Simulation)

BEVEZETÉS

Az oldatból történő kristályosítás modellezése és a kristályosítók megfelelő tervezése során meghatározó szerepet tölt be a kristályosítás – göcképződés és kristálynövekedés – kinetikájának ismerete (Randolph et al., 1988). A kristályosítás fent említett két alapvető

folymata a kristályosításnak az iparban gyakran használt jellemzőkre: a kristálytermék szemcseméret eloszlására és átlagos szemcseméretére közvetlen hatással vannak. A kristálynövekedés sebességének meghatározása folyamatos laboratóriumi MSMPR kristályosítóban történő mérés esetén az állandósult állapot értékelésével történhet, amikor is a méretfüggő növekedést kvalitatíve a kristályos termék méreteloszlásának az exponenciális eloszláshoz viszonyított eltérése már vizuálisan is jelzi. A mennyiségi meghatározást az adott modell és paramétereinek identifikációja jelenti (Lakatos *et al.*, 1990).

A kristályosítás matematikai modellezésénél a kristályhalmazok tulajdonságait és időbeli evolúcióját leíró mérlegegyenletek tartalmazzák a kinetikára vonatkozó empirikus modelleket (Ulbert, 2002). A kristályosítás folyamatának bonyolultsága miatt több különböző modellt dolgoztak ki a méretfüggetlen növekedést leíró összefüggésektől (McCabe, 1929) a méretfüggő növekedést leíró összetettebb modellekig.

Jelen munka célja egy a növekedési sebesség leírására, a paraméterek megfelelő beállításával általánosan alkalmazható modell felírása és a kristályosító modelljébe integrálása. A növekedési sebességi egyenlet paramétereinek meghatározása valós mérési adatokhoz (Li *et al.*, 2009) történő illesztés alapján valósítottuk meg.

MATEMATIKAI MODELL

A kristályosítási műveltek során kialakuló méreteloszlás és annak dinamikájának leírása történhet a populációs mérlegek segítségével (Ramkrishna, 2000). A makro- és mikroszinten is tökéletesen kevert kristályosítóban a populációs mérlegegyenlet az alábbi alakkal írható fel (Lakatos, 2007):

$$\frac{\partial n(L,t)}{\partial t} + \frac{\partial G(L,c(t),c_s(t))n(L,t)}{\partial L} = \frac{q}{V}(n_{in}(L,t) - n(L,t)) + B(L_0,c(t),c_s(t)) \quad (1)$$

Az egyenlet tartalmazza a kristályosítás kinetikai paramétereit is. Az elsődleges gócképződésre vonatkozó tag,

$$B_p = k_p(c - c_s)^p \mu_s^j \quad (2)$$

A méretfüggő növekedési sebességet leíró kinetikai paraméter a következő formában írható fel,

$$G = G_0(\alpha_1 + \alpha_2 L^{\alpha_3})$$

ahol a G_0 a hőmérséklettől és a túltelítéstől függő tényező, míg az α_i , $i=1,2,3$ paraméterek a kristályok L méretétől való függését írják le.

A populációs mérlegegyenlet analitikus megoldására ad lehetőséget az általunk vizsgált folyamatos MSMPR kristályosító modell.

Az állandósult állapotra vonatkozó populációs mérlegegyenlet a következő alakban felírható:

$$G_0 \frac{\partial [(\alpha_1 + \alpha_2 L^{\alpha_3})n]}{\partial L} = \frac{1}{t}(n_{in} - n) \quad (6)$$

A populáció sűrűségfüggvényre átrendezve az egyenletet:

$$\frac{dn}{n} = - \frac{\left(G_0 \alpha_2 \alpha_3 L^{\alpha_3-1} + \frac{1}{t} \right)}{G_0(\alpha_1 + \alpha_2 L^{\alpha_3})} dL \quad (7)$$

Integrálás és a további átrendezések után a folyamatos MSMPR kristályosító állandósult állapotára vonatkozó mérlegegyenlet a következő összefüggés mutatja:

$$n(L) = n(0) \left(1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} L^{\alpha_3} \right)^{-1} \exp \left[- \int_0^L \frac{1}{G_0 (\alpha_1 + \alpha_2 \lambda^{\alpha_3})^{\frac{1}{\alpha_3}}} d\lambda \right] \quad (8)$$

A kinetikai paraméterek behelyettesítésével kapjuk a végleges alakot:

$$n(L) = k_b (c - c_s)^b \mu_3^j \left(1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} L^{\alpha_3} \right)^{-1} \exp \left[- \int_0^L \frac{1}{k_g (c - c_s)^g (\alpha_1 + \alpha_2 \lambda^{\alpha_3})^{\frac{1}{\alpha_3}}} d\lambda \right] \quad (9)$$

A folyamatos MSMPR kristályosítóra felírható az anyagmérleg,

$$\frac{d[\varepsilon \cdot c + (1 - \varepsilon) \cdot \rho_c]}{dt} = \frac{q}{V} \cdot [\varepsilon_{in} \cdot c_{in} + (1 - \varepsilon_{in}) \cdot \rho_c] - \frac{q}{V} \cdot [\varepsilon \cdot c + (1 - \varepsilon) \cdot \rho_c] \quad (10)$$

ahol $\varepsilon = 1 - kv \cdot \mu_3$

Az egyenletet a koncentráció időbeli változását leíró tagjára rendezve a következő alakban adhatjuk meg:

$$\begin{aligned} \varepsilon \cdot \frac{dc}{dt} = & \frac{1}{\bar{t}} \cdot [\varepsilon_{in} \cdot c_{in} + (1 - \varepsilon_{in}) \cdot \rho_c] - \frac{1}{\bar{t}} \cdot [\varepsilon \cdot c + (1 - \varepsilon) \cdot \rho_c] + \\ & + (c - \rho_c) \cdot kv \cdot \left[\frac{1}{\bar{t}} \cdot (\mu_{3,in} - \mu_3) + 2k_g (c - c_s)^g \cdot (\alpha_1 \mu_2 + \alpha_2 \mu_{2+\alpha_3}) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

Állandósult állapotban az egyenlet bal oldalán szereplő időfüggő tag nulla. Így az egyenlet

$$\frac{1}{\bar{t}} (c_{in} - c) - (\rho_c - c) \cdot [2k_g kv (c - c_s)^g \cdot (\alpha_1 \mu_2 + \alpha_2 \mu_{2+\alpha_3})] = 0 \quad (12)$$

alakra egyszerűsödik. Az összefüggést a kristályos anyag koncentrációjára átrendezve kapjuk az állandósult állapotra vonatkozó anyagmérleget:

$$c = \frac{3\rho_c k_v G_0 (\alpha_1 \mu_2 + \alpha_2 \mu_{2+\alpha_3}) \cdot \bar{t} - c_{in}}{3k_v G_0 (\alpha_1 \mu_2 + \alpha_2 \mu_{2+\alpha_3}) \cdot \bar{t} - 1} \quad (13)$$

A stacionárius modellt alkotó egyenletekben egész és tört rendű momentumok is megjelennek. Analitikus megoldásuk állandósult állapotban lehetséges:

$$\mu_2 = \int_0^\infty L^2 n(L) dL \quad (14)$$

$$\mu_3 = \int_0^\infty L^3 n(L) dL \quad (15)$$

Tehát a folyamatos MSMPR kristályosító matematikai modelljét a (9) és (13) egyenletek alkotják. Ezek felhasználásával elkészíthető a megfelelő számítógépes szimulátor.

PARAMÉTER ILLESZTÉS

A matematikai modell kialakítása után lehetőség nyílt a modell paramétereinek megfelelő hangolására. A kristálynövekedés sebességének meghatározása folyamatos laboratóriumi MSMPR kristályosítóban történő mérés esetében az állandósult állapot értékelésével történhet (Borsos, 2009) (1. ábra). A modellünk paramétereinek (α_2 , α_3 , k_g ,

g, n_0) hangolását MATLAB környezetben végeztük. Legkisebb négyzetek módszerét alkalmazva a modell egyenlet alapján identifikációval a mért populáció sűrűségfüggvény adatokra (Li et al., 2009) illesztéssel kaptuk a megfelelő paraméter értékeket. A paraméter identifikáció eredményeit az 1. táblázat mutatja:

1. ábra

Mért adatok és a modell által számolt populáció sűrűségfüggvény értékek

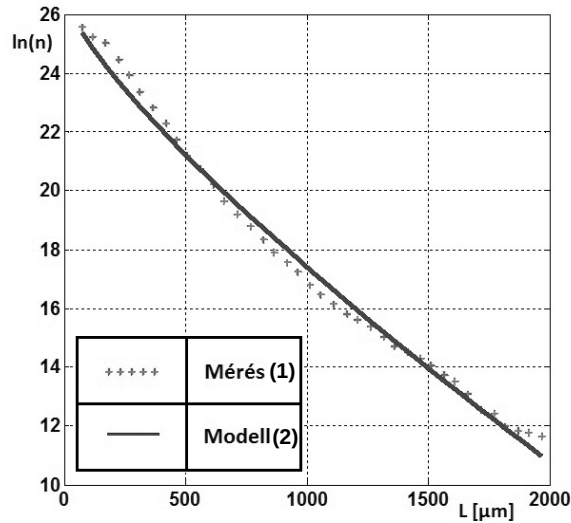


Figure 1: Measured- and calculated data of density function

Measure(1), Model(2)

1.táblázat

Optimális illesztési paraméterek

α_2	α_3	$k_g [\text{m s}^{-1}]$	g	$n_0 [\# \text{m}^{-5}]$
10.958	0.187	0.0132	1.432	$6.72 \cdot 10^{11}$

Table 1: Optimal parameters of the identified model

Vizsgálataink során $\alpha_1=1$ értékkel számoltunk. Az illesztés célfüggvényeként a fizikai mérés és a modell által számított érték közti eltérések minimalizálását adtuk meg. Ezen különbségek összegéből számítható a korrelációs együttható (r):

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right)}} \quad (16)$$

A 2. táblázat mutatja néhány ismert modell és az általunk használt modell pontosságát a korrelációs együttható (r) alapján, a paraméterek megfelelő hangolása után:

2.táblázat

A különböző modellek korrelációs együttható értékei

Modell (1)	Korrelációs együttható (2)
Size-independent	0.9897
ASL	0.9982
C-R	0.9990
Bransom	0.9950
MJ2	0.9937
MJ3	0.9989
Saját modell (3)	0.9962

Table 2: Correlation coefficient of the different mathematical models

Model(1), Correlation coefficient(2), Own model(3)

A különböző modellek összehasonlítását Li és mtsai (2009) vizsgálatai alapján végeztük.

SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATOK ÉS ÉRTÉKELES

A modell illesztését és a paraméterek becslését Matlab környezetben végeztük a legkisebb négyzetek módszere alapján. A modell hangolása után a szimulátor segítségével határoztuk meg a populáció sűrűségfüggvény és a növekedési sebesség szemcseméret értékpárokat.

A mérési adatoknak megfelelő paraméterekkel számolva a 2. ábra szerinti eredményeket kapjuk:

2. ábra

**Mért adatokhoz illesztett modell szimulációs eredményei:
(a.) Populáció sűrűségfüggvény (b.) Növekedési sebesség**

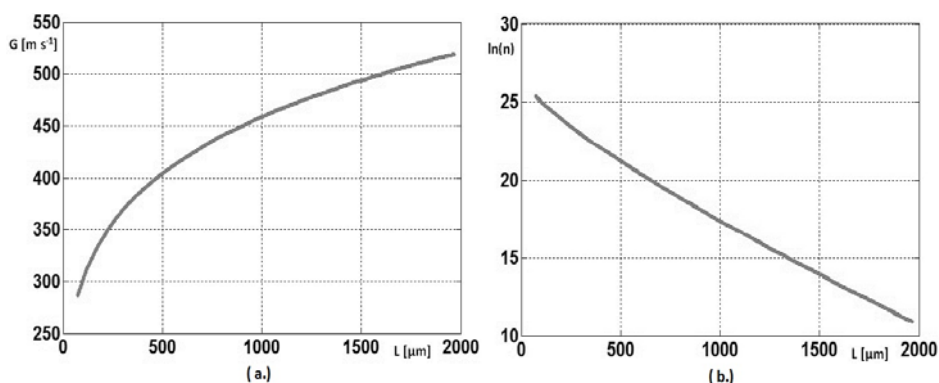


Figure 2: Results of the simulation by applying the identified parameters: (a.) Growth rate (b.) Population density function.

A 2.(a) ábra szerinti nem lineáris összefüggés mutatja, hogy a vizsgált rendszerben a növekedési sebesség függ a kristályszemcsék méretétől.

A megfelelően hangolt modell segítségével szimulációs és paraméter-érzékenységi vizsgálatokat végeztünk. A méretfüggő növekedést leíró modell három paraméteréből az α_1 tagot a szimuláció során fix értéként vesszük figyelembe, míg α_2 és α_3 tagokat változókként tekintjük. Az érzékenységi vizsgálatok során e két paraméter hatását vizsgáltuk a növekedési sebesség és a populáció sűrűségfüggvényére. A 3. táblázat tartalmazza a vizsgált α_2 és α_3 értékeket. A 3. ábra szemlélteti az α_2 hatást.

3.táblázat

Az érzékenységi vizsgálat során alkalmazott paraméterek

α_2 ($\alpha_3=0.178$)	α_3 ($\alpha_2=10.958$)
10.958	0.178
1.000	1.000
5.000	0.100
12.000	0.800

Table 3: Parameter values of sensitivity analysis.

3. ábra

Különböző α_2 -vel számolt értékek: (a.) populáció sűrűségfüggvény (b.) Növekedési sebesség

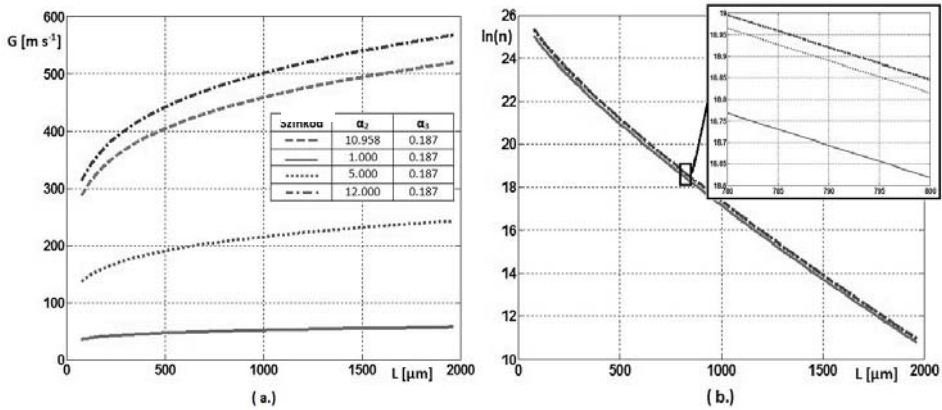


Figure 3: Results by applying different α_2 : (a.) Growth rate (b.) Population density function.

Az α_3 tag módosítását α_2 -vel ellentétben korlátozott tartományban (0-1) változtathatjuk. Ezen paraméter befolyásolja a modell méretfüggését. Amennyiben $\alpha_3=0$, a növekedés sebessége független a szemcsék méretétől. Az $\alpha_3=1$ esetén lineáris növekedés jellemző, míg e két érték között nemlineáris a növekedés és a szemcsék mérete közötti összefüggés. A 4. ábra bemutatja, α_3 különböző értékeinél miként változik a folyamatos MSMPR vizsgált két tulajdonsága.

4. ábra

Különböző α_3 -al számolt értékek:
(a.) populáció sűrűségfüggvény (b.) Növekedési sebesség

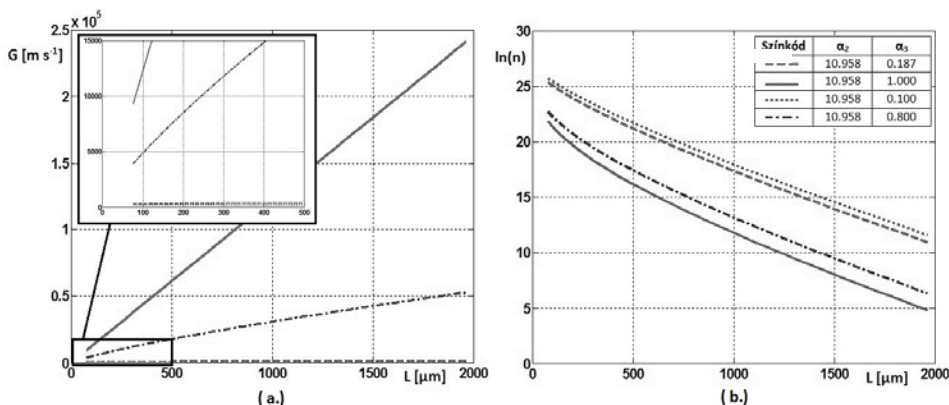


Figure 4: Results by applying different α_3 : (a.) Growth rate (b.) Population density function.

KÖVETKEZTETÉSEK

A folyamatos működtetésű MSMPR kristályosítóban lezajló méretfüggő növekedés leírása analitikusan csak állandósult állapotban ismeretes.

A bemutatott és vizsgált modell segítségével lehetséges olyan folyamatos üzemi kristályosítók leírása, melyben a kristálynövekedés függ a szemcsék méretétől. A munka során kísérletsorozatban kapott adatsorra illesztettük a modellt, mely több modellel történt összehasonlítás alapján, jó közelítéssel alkalmazható a valós rendszer leírására.

A háromparaméteres növekedési sebességet leíró összefüggés (α_i , $i=1,2,3$) jó illeszthetőséget és flexibilitást ad, mely fontos tulajdonság az alkalmazhatóság szempontjából.

Az érzékenységi vizsgálatok arra mutattak rá, hogy e modell jól alkalmazható folyamatos kristályosítók állandósult állapotainak leírására. Más modellekkel szemben a bemutatott matematikai modell alkalmas dinamikus vizsgálatok leírására is a megfelelő átalakításokkal és a MOMIC módszer felhasználásával.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a munka az OTKA támogatásával a K77955 számú kutatási projekt keretében készült.

Valamint köszönetet mondunk a TÁMOP-4.2.2-08/1/2008-0018 projekt anyagi támogatásáért.

IRODALOMJEGYZÉK

- Borsos Á. (2009): Hűtéses kristályosítók modellezése és optimalizálása. Diplomadolgozat. Pannon Egyetem, Veszprém.
- Lakatos B.G. (2007): Population balance modelling of crystallisation processes. Hung. In: J. Ind. Chem., 35. 7-17. p.

- Lakatos B.G., Blickle T. (1990): Semi-Analytical solution to the models of size-dependent crystal growth process in batch crystallizers. In: Inzynieria Chemiczna I Procesowa, 1. 7-16. p.
- Li X.S., Song X.F., Liu G.S. (2009): Size-dependent nucleation and growth kinetics model for potassium chloride –Application in Oarhan salt lake. J. of Crystal Growth, 311. 3167-3173. p.
- McCabe W.L. (1929): Kinetics of Crystallization in solution. Ind. Eng. Chem. 21. 112-119. p.
- Ramkrishna D. (2000): Population Balances, Theory and Applications to Particulate Systems in Engineering. Academic Press : San Diego.
- Randolph, A.D., Larson M.A. (1988): Theory of Particulate Processes. Academic Press : New York.
- Tavare N.S. (1995): Industrial Crystallization. Process Simulation, Analysis and Design. Plenum Press : New York.
- Ulbert Zs. (2002): Kristályosítók dinamikus folyamatainak modellezése és szimulációja. PhD dolgozat, Veszprémi Egyetem, Veszprém.

JELÖLÉSJEGYZÉK

B	- gócképződési sebesség, $\# \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$	Indexek
c	- koncentráció, kg m^{-3}	c - kristály
G	- növekedési sebesség, m s^{-1}	in - bemeneti változó
k	- kinetikai együttható	p - elsődleges gócképződés
kv	- térfogati formafaktor	g - növekedési sebesség
L	- méretváltozó, m	s - egyensúlyi telítési koncentráció
n	- populációs sűrűségfüggvény, $\# \text{ m}^{-5}$	
q	- térfogatáram, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	
r	- korrelációs együttható	
t	- idő, s	
V	- térfogat, m^3	
x	- mért populáció sűrűségfüggvény vektor	
y	- modellel számított populáció sűrűségfüggvény vektor	
ε	- az oldat térfogathányada	
μ_k	- k -dik momentum	
α_k	- növekedési sebesség k -dik paramétere ($k=1,2,3$)	
ρ	- sűrűség, kg m^{-3}	

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Borsos Ákos

Pannon Egyetem, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék
8200 Veszprém. Egyetem út 10.
University of Pannonia, Department of Process Engineering
H-8200 Veszprém, Egyetem út 10.
Tel.: 36-88-624-770, Fax: 36-88-624-171
e-mail: borsosa@fmt.uni-pannon.hu



Komplex forgalmi-emissziós modell forgalomirányítási alkalmazásának vizsgálata autópályán

Csikós¹ A., Varga² I.

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésautomatikai Tanszék. 1111 Budapest, Stoczek utca 2.

²MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet. 1111 Budapest, Kende utca 13-17.

ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünk az autópálya forgalom belsőégésű motoraiból származó kibocsátás modellezésével foglalkozik. A kibocsátási modellek rövid áttekintését követően a meglévő forgalmi modellekhez illesztünk egy kiválasztott kibocsátási modellt, majd a létrehozott komplex modelleken elemezzük a forgalomtechnikai és emissziós optimumok egyidejű megvalósíthatóságának kérdéseit. A vizsgálat tanulságai alapján szabályozási célokat tűzünk ki, egy eseten elemezzük a forgalmat stabilizáló szabályzás emisszióra gyakorolt hatását. (Kulcsszavak: közúti forgalom és emisszió modellezés, autópálya-forgalom szabályzás, Matlab)

ABSTRACT

Analysis of a complex traffic-emission model for motorway control

A. Csikós¹, I. Varga²

¹Budapest University of Technology and Economics, Department of Control and Transport Automation H-1111 Budapest Stoczek u. 2.

²Hungarian Academy of Sciences, Systems and Control Laboratory, Computer and Automation Research Institute
H-1111 Budapest, Kende utca 13-17.

In this paper a modeling method is proposed for characterising traffic emission as a function of macroscopic variables on freeways. Optimization possibilities of travel times and traffic emission as concurrent cost functions are investigated. Based on the edification of the analysis control objectives are set and as a case study, ramp metering is brought to the proof of accomplishing traffic stabilization respecting emission limits. (Keywords: traffic emission modeling, freeway traffic control, Matlab)

BEVEZETÉS

A közúti forgalom által okozott károsanyag kibocsátás folyamatosan növekvő mértéke napjaink egyik legégetőbb problémája. Célunk a kibocsátott szennyezőanyagok mennyiségének és összetételének modern irányításelméleti eszközökkel történő optimalizálása. A szabályozási célok megfogalmazásához és az eszközök kiválasztásához azonban mindenekelőtt a károsanyagok termelődését leíró modellek vizsgálata szükséges.

A cikk az autópályán keletkező kibocsátás modellezésével foglalkozik. Az emissziós modellek rövid áttekintését követően a makroszkopikus forgalmi mérések alapján történő modellezést elemezzük, egy forgalmi modellhez illesztünk egy kiválasztott kibocsátási modellt. A komplex modellek tanulságai alapján szabályozási célokat tűzünk ki és egy eseten vizsgáljuk egy forgalmat stabilizáló szabályzás kibocsátási korlátjának megvalósulását.

FORGALMI EMISSZIÓS MODELLEK

A közúti kibocsátás jellemzésére számos meglévő modell szolgál. A modelleket felbontásuk szerint két csoportra oszthatjuk: mikroszkopikus és makroszkopikus modellekre. A makroszkopikus modelleket tovább csoportosíthatjuk a felhasznált forgalmi változók szerint. Az emissziómodellek áttekintését (példákkal) az 1 táblázat tartalmazza.

1. táblázat

Forgalmi emissziómodellek

Név (1)	VT-Micro	Copert	HBEFA	Artemis
Felbontás (2)	mikroszkopikus (3)	makroszkopikus (4)	makroszkopikus	makroszkopikus
Forgalmi változók (5)	pill. sebesség, pill. gyorsulás (6)	forgalmi átlagsebesség (7)	forgalomnagyság (8)	forgalmi átlagsebesség

Table 1: Vehicular emission models

Name(1), Resolution(2), Microscopic(3), Macroscopic(4), Traffic variables(5), Instantaneous speed, instantaneous acceleration(6), Traffic mean speed(7), Traffic flow(8)

Autópályán haladó forgalom kibocsátásának modellezését végezhetjük mikroszkopikus emissziómodellekből kiindulva, amennyiben feltételezzük, hogy a járművek pillanatnyi sebessége megegyezik az autópálya térben és időben diszkrét forgalomtechnikai méréseivel. Az aggregált forgalmi emissziót a szintén forgalomtechnikai mérésekből származó forgalmi változóval számíthatjuk. A fenti megfontolásokat figyelembe véve a rendelkezésre álló forgalmi adatokból legpontosabban a Copert és a VT-Micro modell alapján modellezhető az autópálya forgalom kibocsátása. Az előbbi folyamatosan frissített és részletes adatbázissal rendelkezik az elmúlt 20 évben Európában jellemzően előforduló járműosztályok és erőforrástípusok (lökettérfogat és környezetvédelmi besorolás szerinti) emissziófüggvényeiről. A VT-Micro modell alapvetően amerikai járműtípusokra készült, ezen járművek fogyasztása és kibocsátása azonban jelentősen eltér az Európában elterjedt járművektől. A HBEFA és Artemis modellek adatbázisa kevésbé gazdag, így a választás a Copert (Kouridis et al., 2000) modellre esett.

MAKROSZKOPIKUS EMISSZIÓ MODELLEZÉS A COPERT MODELL ALAPJÁN

A Copert kibocsátási modell szerint egy jármű pillanatnyi távolságfajlagos kibocsátását egy szakaszon egy polinomiális függvény jellemzi. (A következőkben jelölje $e_{j,i}^p(t)$ a távolságfajlagos kibocsátást.)

$$e_{j,i}^p(t) = \alpha_2^{p,c} \cdot v_{j,i}^2(t) + \alpha_1^{p,c} \cdot v_{j,i}(t) + \alpha_0^{p,c} = [g / km] \quad (1)$$

ahol: $e_{j,i}^p(t)$: a 'j.' jármű pillanatnyi távolságfajlagos kibocsátása [g/km],
 c: járműosztály,
 $v_{j,i}(t)$: 'j.' jm 'i.' szakaszon mért pillanatnyi sebessége [km/h],
 $\alpha_2^c, \alpha_1^c, \alpha_0^c$: járműosztálytól függő modellparaméterek,
 p: szennyező típusa.

$e_{j,i}^p(t)$ az a kibocsátás, melyet az adott jármű egy km megtétele alatt végez, amennyiben mindvégig ez a pillanatnyi sebessége.

Időben diszkretizálva:

$$e_{j,i}^p(k) = \alpha_2^{p,c} \cdot v_{j,i}^2(k) + \alpha_1^{p,c} \cdot v_{j,i}(k) + \alpha_0^{p,c} = [g / km] \quad (2)$$

ahol: $e_{j,i}^p(k)$: 'j.' jármű átlagos távolságfajlagos kibocsátási szintje 'k.'

lépésközben [g/km] 'i' szakaszon,

p: szennyező típusa,

c: járműosztály,

$v_{j,i}(k)$: 'j.' jm 'i.' szakaszon mért átlag sebessége a 'k.' lépésközben [km/h],

$\alpha_i^{p,c}$: járműosztálytól és szennyezőtől függő modellparaméterek,

k: diszkrét idejű lépésköz.

Inhomogén forgalom esetén: tegyük fel, hogy a forgalom összetétele ismert:

$$q_i(k) = \sum_{c=1}^{n_c} q_i^c(k) = \sum_{c=1}^{n_c} \gamma_c(k) \cdot q_i(k) \quad (3)$$

Homogén áramlás esetén (valamennyi járműosztály azonos forgalmi sebességet vesz fel) fennáll:

$$\rho_i(k) = \sum_{c=1}^{n_c} \rho_i^c(k) = \sum_{c=1}^{n_c} \gamma_c(k) \cdot \rho_i(k) \quad (4)$$

ahol: γ_c : 'c' járműtípus részvételi aránya a forgalomban [-],

n_c : járműosztályok száma,

q_i : 'i' szakasz forgalomnagysága [jm/h],

q_i^c : 'c' járműtípus 'i' szakaszon megjelenő forgalomnagysága [jm/h],

ρ_i : 'i' szakasz forgalomsűrűsége [jm/km],

ρ_i^c : 'c' járműtípus 'i' szakaszon megjelenő forgalomsűrűsége [jm/km].

Inhomogén forgalom 'c' forgalomosztályának kibocsátása járművenként:

$$e_i^{p,c}(k) = \alpha_2^{p,c} \cdot v_i^2(k) + \alpha_1^{p,c} \cdot v_i(k) + \alpha_0^{p,c} \quad (5)$$

ahol: $e_i^{p,c}(k)$: a forgalom 'i.' szakaszon jell. távolságfajlagos kibocsátása [g/km],

p: szennyező típusa,

c: járműosztály,

$v_i(k)$: 'i.' szakaszon jellemző forgalmi átl.seb. a 'k.' lépésközben [km/h],

$\alpha_2^{p,c}$: járműosztálytól és szennyezőtől függő modellparaméterek,

k: diszkrét idejű lépésköz.

$$e_i^p(k) = \sum_{c=1}^{n_c} \gamma_c \cdot e_i^{p,c}(k) \quad (6)$$

A távolságfajlagos kibocsátás vizsgálható járműfajlagosan (1) és **teljes forgalomra vonatkozóan**. A két függvény közötti összefüggés:

$$E_i^p(k) = \rho_i(k) \cdot e_i^p(k) = [g / km] \quad (7)$$

ahol: $E_i^p(k)$ a teljes forgalom távolságfajlagos kibocsátása p szennyezőből az 'i'. szakaszon.

A (6) egyenletet behelyettesítve (7)-be és (4)-et felhasználva írható:

$$E_i^p(k) = \rho_i(k) \cdot \sum_{c=1}^{\alpha_c} e_i^{p,c}(k) = \sum_{c=1}^{\alpha_c} \gamma_c(k) \cdot \rho_i(k) \cdot \sum_{c=1}^{\alpha_c} e_i^{p,c}(k) \quad (8)$$

Így a teljes forgalom távolságfajlagos kibocsátása:

$$E_i^p(k) = \rho_i(k) \sum_{c=1}^{\alpha_c} \gamma_c(k) \cdot e_i^{p,c}(k) = \rho_i(k) \sum_{c=1}^{\alpha_c} \left[\gamma_c(k) \cdot (\alpha_2^{p,c} \cdot v_i^2(k) + \alpha_1^{p,c} \cdot v_i(k) + \alpha_0^{p,c}) \right] \quad (9)$$

KOMPLEX FORGALMI-EMISSIONS MODELLEK

Autópályán a korszerű forgalomirányító stratégiák a teljes eljutási idő minimalizálását célozzák meg (Papageorgiou és Kotsialos, 2002), ennek teljesítéséből azonban nem következik egyértelműen a kibocsátás minimalizálása. Hogy össze tudjuk vetni a szabályozási célokat, valamennyi függvényt egyazon független változóval kell jellemeznünk. Felmerül tehát a kérdés, hogy leírható-e a kibocsátás a forgalomsűrűség függvényeként. Ennek vizsgálatát ismerteti a fejezet.

Sebesség-sűrűség összefüggések elemzése

Ahhoz, hogy a sebesség függvényeként jellemzett emisszió egyenleteibe a járműsűrűség összefüggését behelyettesítve egyértelmű megfeleltetést kapjunk a sűrűség és a kibocsátás között, szükséges a sebesség-sűrűség függvények vizsgálata egyértelműség szempontjából. Elsőrendű modellek esetén egy adott autópálya szakaszon jellemző forgalmi átlagsebességet a forgalomsűrűség egyértelmű függvényeként írhatjuk:

$$v_i = V(\rho_i) \quad (10)$$

ahol: v_i : i. szakasz forgalmi átlagsebessége [km/h],
 ρ_i : i. szakasz járműsűrűsége [jm/km].

A (10) egyenletet a forgalomelméletben egyensúlyi sebesség összefüggésnek nevezzük. Szigorúan monoton függvény, tehát kölcsönösen egyértelmű megfeleltetést ad, így egy összetett függvény belső függvényét képezheti.

Másodrendű modellezés esetén nincs egyértelmű sebesség hozzárendelés a forgalomsűrűség függvényében, a szakaszon jellemző sebességet leíró momentumegyenlet egy többváltozós függvényként írja le. Így ha egy szakaszra jellemző kibocsátás egyetlen változóval való leírására törekszünk, az elsőrendű modellezést kell alkalmaznunk.

Az elsőrendű modell egyensúlyi sebességfüggvényére számos modell létezik.

pl. *Greenshields*:

$$V(\rho) = v_{free} \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{max}} \right) \quad (11)$$

pl. *Papageorgiou*:

$$V(\rho) = v_{free} \cdot \exp \left(- \frac{1}{a} \left(\frac{\rho}{\rho_{krit}} \right)^a \right) \quad (12)$$

ahol: ρ_{max} : maximális járműsűrűség [jm/km],
 ρ_{krit} : kritikus járműsűrűség [jm/km],
 v_{free} : szabadáramlási sebesség [km/h],
 a : konstans paraméter.

Egyváltozós járműfajlagos kibocsátás

Az egyetlen változóval, a forgalomsűrűséggel jellemzett kibocsátásfüggvényt a (10) összefüggés (6) egyenletbe helyettesítése után kaphatjuk.

$$ep_i^{p,c} = ep_i^{p,c}(v_i(\rho_i)) \quad (13)$$

$$ep_i^{p,c}(k) = \alpha_2^{p,c} \cdot \left(v_{free} \cdot \exp\left(-\frac{1}{a} \left(\frac{\rho_i(k)}{\rho_{krit}} \right)^a \right) \right)^2 + \alpha_1^{p,c} \cdot \left(v_{free} \cdot \exp\left(-\frac{1}{a} \left(\frac{\rho_i(k)}{\rho_{krit}} \right)^a \right) \right) + \alpha_0^{p,c} = [g / km / jm] \quad (14)$$

A zárójeleket felbontva az alábbi alakhoz jutunk:

$$ep_i^{p,c}(k) = \alpha_2^{p,c} \cdot v_{free}^2 \cdot \exp\left(-\frac{2}{a} \left(\frac{\rho_i(k)}{\rho_{krit}} \right)^a \right) + \alpha_1^{p,c} \cdot v_{free} \cdot \exp\left(-\frac{1}{a} \left(\frac{\rho_i(k)}{\rho_{krit}} \right)^a \right) + \alpha_0^{p,c} = [g / km / jm] \quad (15)$$

A forgalom egészére jellemző, átlagos járműfajlagos kibocsátás:

$$ep_i^p(k) = \sum_{c=1}^{n_c} \gamma_c \cdot ep_i^{p,c}(k) \quad (16)$$

Egyváltozós teljes forgalmi kibocsátás

(9) alapján:

$$E_i^p(k) = \rho_i(k) \sum_{c=1}^{\alpha_c} \gamma_c(k) \cdot e_i^{p,c}(k) = \rho_i(k) \sum_{c=1}^{\alpha_c} \left[\gamma_c(k) \cdot (\alpha_2^{p,c} \cdot v_i^2(k) + \alpha_1^{p,c} \cdot v_i(k) + \alpha_0^{p,c}) \right] \quad (17)$$

A sűrűség függvényeként felírva:

$$\begin{aligned} E_i^p(k) &= \rho_i(k) \sum_{c=1}^{\alpha_c} \gamma_c(k) \cdot e_i^{p,c}(k) = \rho_i(k) \sum_{c=1}^{\alpha_c} \left[\gamma_c(k) \cdot (\alpha_2^{p,c} \cdot v_i^2(k) + \alpha_1^{p,c} \cdot v_i(k) + \alpha_0^{p,c}) \right] \\ EP_i^p(k) &= \rho_i(k) \sum_{c=1}^{\alpha_c} \gamma_c(k) \cdot ep_i^{p,c}(k) = [g / km] \\ &= \sum_{c=1}^{\alpha_c} \gamma_c(k) \cdot \left(\alpha_2^{p,c} \cdot \rho_i(k) \cdot v_{free}^2 \cdot \exp\left(-\frac{2}{a} \left(\frac{\rho_i(k)}{\rho_{krit}} \right)^a \right) - \alpha_1^{p,c} \cdot \rho_i(k) \cdot v_{free} \cdot \exp\left(-\frac{1}{a} \left(\frac{\rho_i(k)}{\rho_{krit}} \right)^a \right) + \alpha_0^{p,c} \cdot \rho_i(k) \right) \end{aligned} \quad (18)$$

EMISSIONSFÜGGVÉNYEK ÖSSZEVETÉSE

A fejezet célja a kétféle járműfajlagos (sebesség és sűrűségváltozós), illetve a teljes forgalmi kibocsátás kétváltozós, illetve egyváltozós változatainak ábrázolása.

Járműfajlagos kibocsátásfüggvények

A forgalom egészét jellemző járműfajlagos függvényeket egy adott forgalomösszetételen jellemezzük. A forgalomösszetételt, mely 10 járműosztályt tartalmaz, és reprezentálja a statikus forgalomállandó 64,5%-át, az *OTKA CNK 78168 kutatási jelentés* (2009-2010) alapján állítottuk össze (2. táblázat).

A járműfajlagos kibocsátásfüggvények diagramjait ábrázolja az 1. - 4. ábra. Az ábrákon az egyes járműosztályok emissziófüggvényei, és a teljes forgalomra vonatkozó járműfajlagos emissziófüggvények (melyek a járműosztályok emissziófüggvényeinek lineáris kombinációjaként kapunk (6),(16). A diagramokon látszik, hogy mindkét változó (sebesség és sűrűség) esetén konvex függvényt kapunk – ezt a független változók közti kölcsönös egy-egy értelműsége okozza.

2. táblázat

Modellezett forgalomösszetétel

Járműtípus (1)	Erőforrás típusa, normája (2)	Arány [%] (3)
Személygépkocsi (4)	Benzin, Euro1	19,22
	Benzin, Euro3	19,22
	Dízel, Euro1	15,08
	Dízel, Euro3	15,62
Haszongépjármű <3.5t (5)	Benzin, Euro1	4,49
	Benzin, Euro3	2,67
	Dízel, Euro1	3,08
	Dízel, Euro3	3,08
Tehergépjármű >3.5t (6)	Benzin, Euro1	9,04
	Benzin, Euro3	5,38
	Dízel, Euro1	6,20
Összesen		100,00

Table 2: Modeled traffic composition

Vehicle type(1), Emission standard(2), Proportion(3), PC(4), LDV(5), HDV(6)

1. ábra

Járműfajlagos CO kibocsátásfüggvények

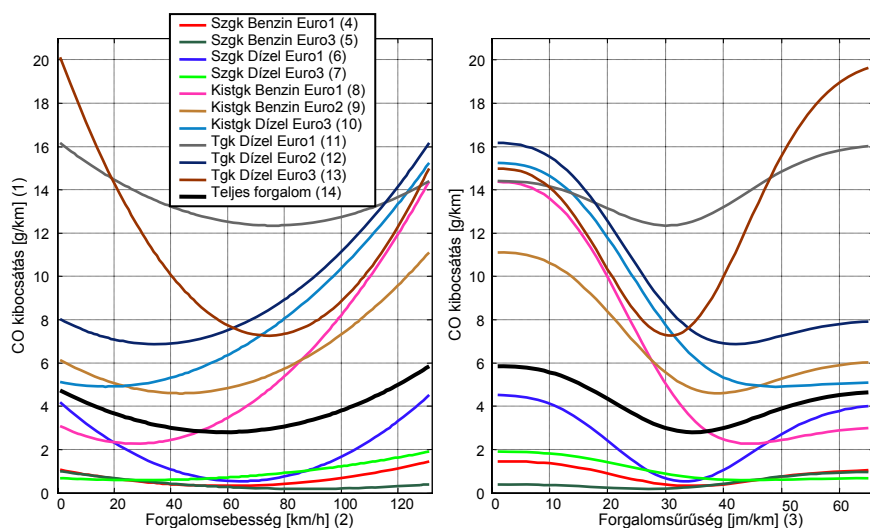


Figure 1: CO emission functions as functions of traffic speed and density

CO emission [g/km](1), Traffic speed [km/h](2), Traffic density [vehicles/km](3), PC gasoline Euro1(4) PC gasoline Euro3(5), PC diesel Euro1(6), PC diesel Euro3(7), LDV gasoline Euro1(8), LDV gasoline Euro2(9), LDV diesel Euro3(10), HDV diesel Euro1(11), HDV diesel Euro2(12), HDV diesel Euro3(13), Total traffic(14)

2. ábra

Járműfajlagos HC kibocsátásfüggvények

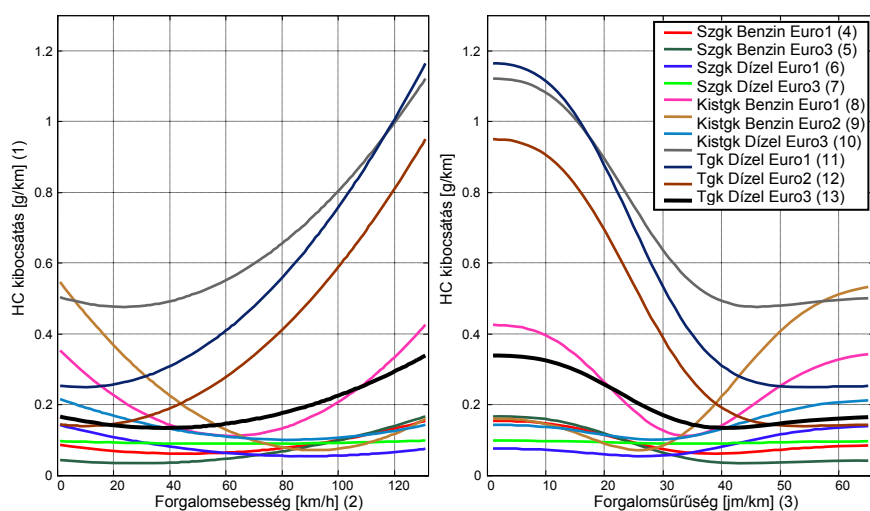


Figure 2: HC emissions as functions of traffic speed and density

HC emission [g/km](1), See Figure 1

3. ábra

Járműfajlagos CO₂ kibocsátásfüggvények

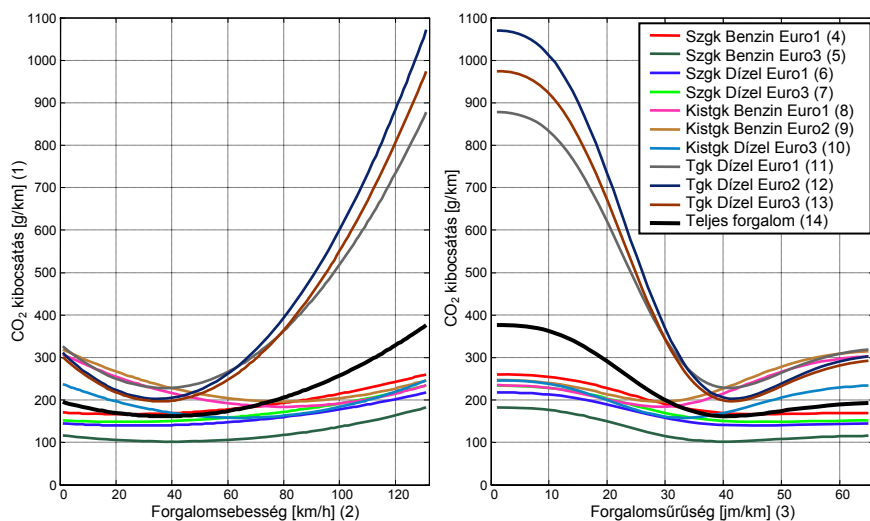


Figure 3: CO₂ emissions as functions of traffic speed and density

CO₂ emission [g/km](1), See Figure 1

4. ábra

Járműfajlagos NO_x kibocsátásfüggvények

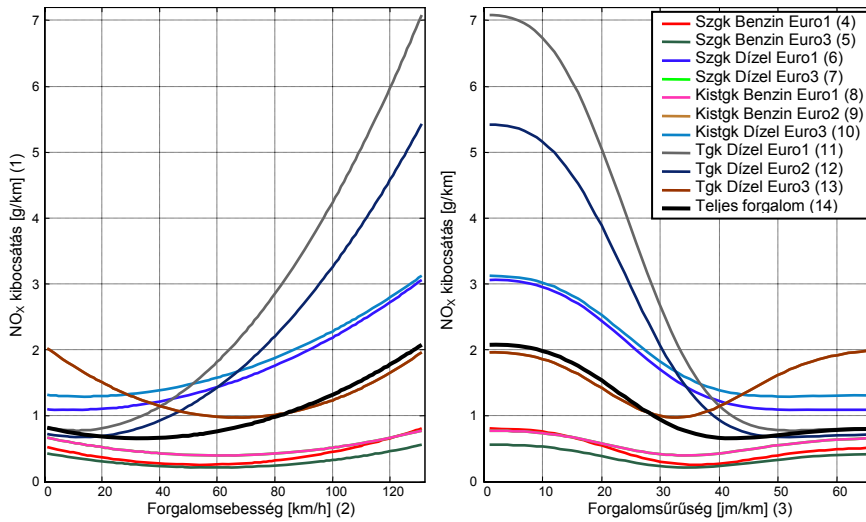


Figure 4: NO_x emissions as functions of traffic speed and density

NO_x emission [g/km](1), See Figure 1

A kétváltozós járműfajlagos emissziófüggvényeket példaként a dízel, Euro1-es normájú személygépkocsik CO kibocsátási függvényeire háromdimenziós ábrázoláson követhetjük nyomon. A térbeli görbe az 5. ábrán, síkvetületei a 6. - 8. ábrákon láthatóak. A kétváltozós függvények síkvetületeiként a sebesség-sűrűség egyensúlyi összefüggést, illetve a sebesség- és sűrűségváltozós egyváltozós kibocsátásfüggvényeket.

5. ábra

Járműfajlagos CO kibocsátás (Dízel, Euro1 személygépkocsi)

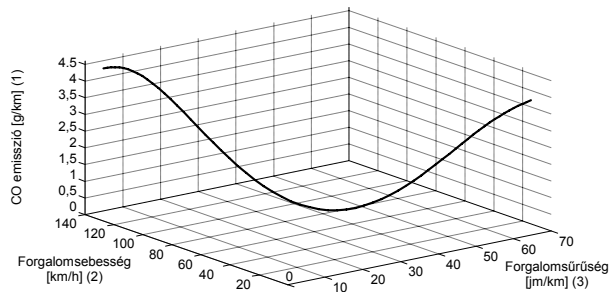


Figure 5: CO emission per vehicles as a bivariate function of traffic mean speed and traffic density (Diesel Euro1 PC)

CO emission [g/km](1), Traffic speed [km/h](2), Traffic density [vehicles/km](3)

6. ábra

Síkvetület: független változók közti összefüggés (Dízel, Euro1 szgk. CO kibocsátás)

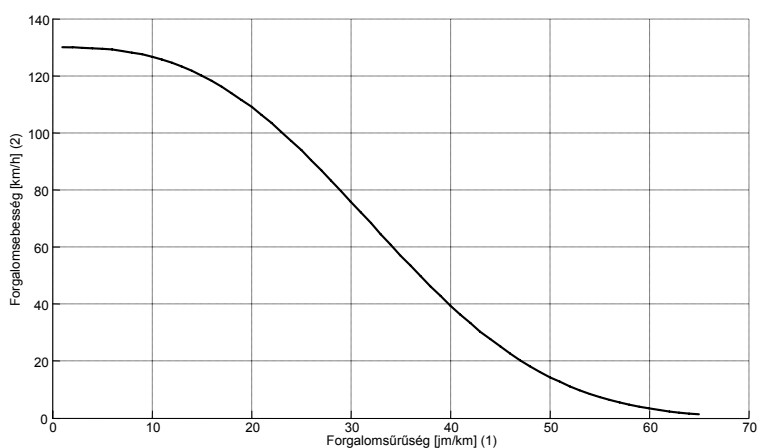


Figure 6: Planar projection: Relationship between independent variables: equilibrium density-speed function (PC diesel Euro1, CO emission)

Traffic density [vehicles/km](1), Traffic speed [km/h](2)

7. ábra

Síkvetület: járműfajlagos emisszió a forgalomsűrűség függvényében (Dízel Euro1 szgk. CO kibocsátás)

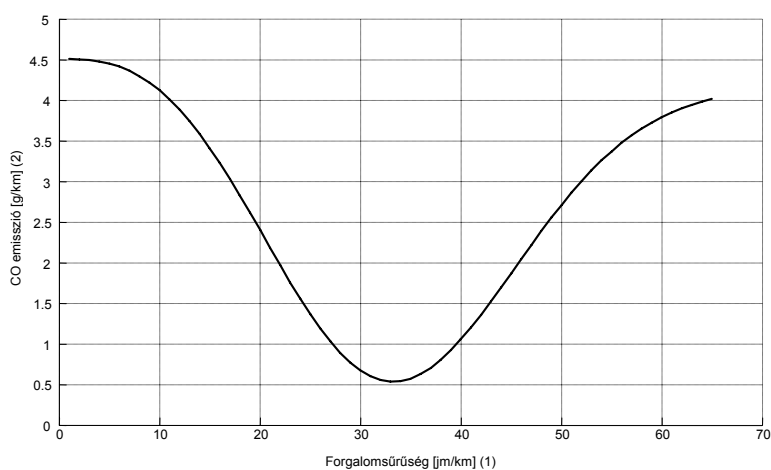


Figure 7: Planar projection: Vehicle emission as a function of traffic density (Diesel Euro1 PC, CO emission)

Traffic density [vehicles/km](1), CO emission [g/km](2)

8. ábra

Síkvetület: járműfajlagos emisszió a forgalomsebesség függvényében (Dízel Euro1 szgk. CO kibocsátás)

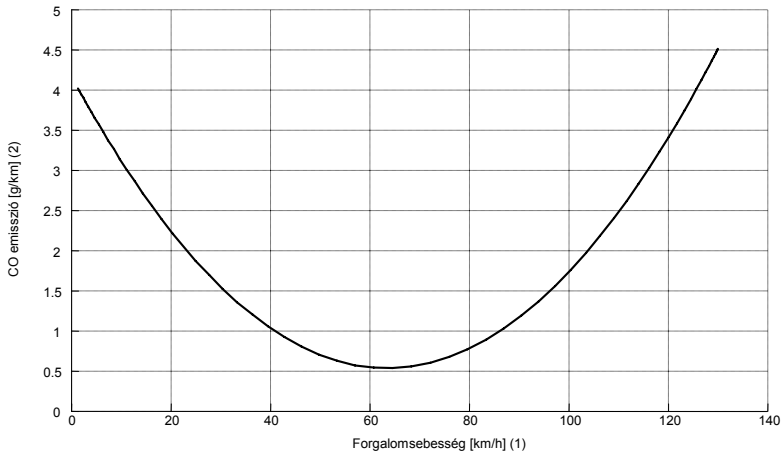


Figure 8: Planar projection: Vehicle emission as a function of traffic mean speed (Diesel Euro 1 PC, CO emission).

Traffic speed [km/h](1), CO emission [g/km](2)

Teljes forgalmi kibocsátás

A teljes forgalmi (9) alapján a forgalomsűrűség és a forgalomsebesség kétváltozós függvényeként rajzolható fel. Elsőrendű megközelítés esetén egy térbeli görbét kapunk, melyet a 9. ábra illusztrál. A teljes forgalmi kibocsátás egyes vetületei a 10. - 11. ábrákon láthatóak.

9. ábra

Teljes forgalmi CO kibocsátás elsőrendű forgalmi modell esetén

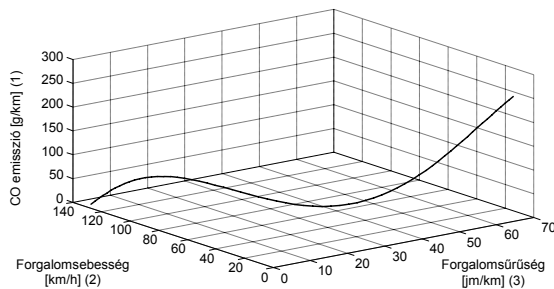


Figure 9: Total CO emission of traffic in equilibrium

CO emission [g/km](1), Traffic speed [km/h](2), Traffic density [vehicles/km](3)

10. ábra

Vetület: Teljes forgalmi CO kibocsátás a forgalomsűrűség függvényében

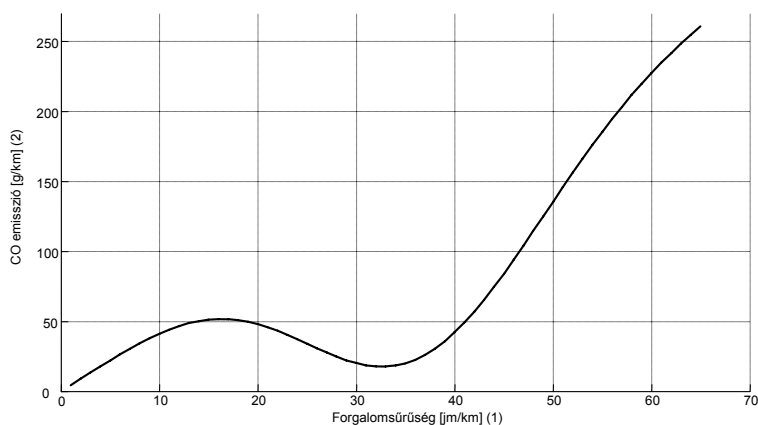


Figure 10: Planar projection: Total CO emission of traffic in equilibrium conditions as a function of traffic density.

Traffic density [vehicles/km](1), CO emission [g/km](2)

A teljes forgalmi kibocsátás a forgalomsűrűség függvényében helyi szélsőértékkel rendelkezik: a szélsőérték argumentuma megegyezik a járműfajlagos függvény minimumának argumentumával. A 11. ábrához jutunk akkor is, ha a (18) összefüggést ábrázoljuk.

11. ábra

Teljes forgalmi CO kibocsátás a forgalomsebesség függvényében

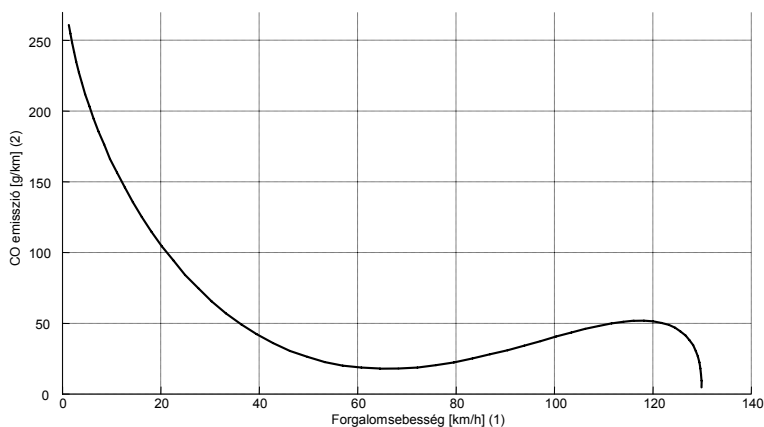


Figure 11: Planar projection: Total CO emission of traffic as a function of traffic mean speed in equilibrium conditions.

Traffic speed [km/h](1), CO emission [g/km](2)

A teljes forgalmi kibocsátás (11. ábra) magas forgalmi átlagsebesség esetén 0-hoz tart – az ábra azt sugallja, hogy magas forgalmi átlagsebességű forgalom kibocsátása alacsony, és ez ellentmondhat a járműfajlagos függvénnyel. A kölcsönösen egy-egyértelmű $v(\rho)$ összefüggés azonban azt jelenti, hogy a forgalomsűrűség szükségszerűen renkíven kicsi magas forgalomsebességnél, tehát a forgalom ugyan nagy sebességű, de kevés résztvevő halad nagy járműfajlagos kibocsátási állapottal. Ezzel szemben alacsony sebesség nagy forgalomnagyságot is jelent, és a sok jármű alacsony sebességgel való haladása nagy teljes forgalomra vonatkozó távolságfajlagos kibocsátást aggregál.

OPTIMUMVIZSGÁLAT

A már megismert emissziófüggvények szabályozás során való alkalmazásához szükséges az optimumok vizsgálata, összehasonlítása a forgalomtechnikai optimumokkal. A forgalomtechnikai optimum (legkisebb eljutási idő) a kritikus sűrűségnél valósul meg. Ennél magasabb forgalomsűrűség esetén a forgalom instabil állapotban van, és torlódás alakul ki. A dolgozat ezen fejezete az emissziófüggvények kritikus sűrűségtől való eltérését vizsgálja az egyes szennyezőkre, ill azt az elfogadható forgalomsűrűség-tartományt, melyben a kibocsátás elfogadható korlátot nem lép át.

Járműfajlagos és teljes forgalomra vonatkozó optimumok

Egyváltozós függvénynek ρ_0 helyen szélsőérték létezésének szükséges feltétele: a függvény adott pontbeli első deriváltja 0-val egyenlő.

$$\rho_0 = \rho_{\min}, \text{ ha } \frac{df(\rho_0)}{d\rho} = 0 \text{ és } \frac{d^2f(\rho_0)}{d\rho^2} > 0 \quad (19)$$

Megjegyzés: a járműfajlagos és teljes forgalomra vonatkozó kibocsátásfüggvény lokális szélsőértékei megegyeznek. Ez könnyen belátható abból kiindulva, hogy a két függvény között

$$EP_i^p(k) = \rho_i(k) \cdot ep_i^p(k) = [g / km] \quad (20)$$

összefüggés áll fenn. A (18) parciális deriválást elvégezve, a teljes forgalmi kibocsátás abszolút szélsőértéke $\rho=0$ -ban, lokális szélsőértéke járműfajlagos kibocsátásfüggvény abszolút minimumával megegyező pontban.

A (19) összefüggést alkalmazva a (16)-ban felírt emissziófüggvényre megállapítható az a forgalomsűrűség, melyre adott szennyező kibocsátás minimális lesz a vizsgált járműkategóriában (3. táblázat). Az összes járműkategóriát figyelembe véve ez az érték a (19) megoldásával áll elő. Teljes forgalom emissziófüggvényének helyi szélsőértéke a járműfajlagos függvény abszolút szélsőértékével megegyezik (a teljes forgalmi emisszió előállításából és a többváltozós függvények helyi szélsőértékének szükséges feltételéből adódóan). A minimumok szemléletes ábrázolásához lásd az 1. - 4. ábrákat.

A kritikus forgalom sűrűség a felhasznált forgalmi modellben (Luspay et al., 2009) 26,4 jm/km. Valamennyi, teljes forgalmat figyelembe vevő emisszió-optimális forgalomsűrűség ennél magasabb érték, így nem tűzhető ki kizárólagos szabályzási célként.

A továbbiakban az a feladat, hogy meghatározzuk azt a forgalomsűrűség-intervallumot, amelyen belül a károsanyag-kibocsátás egy elfogadható korlát alatt marad.

3. táblázat

Optimális forgalomsűrűségek

Szennyező(1)	ρ_{opt} [g/km](2)
CO	36,1
HC	40,9
CO ₂	41,6
NO _x	43,2

Table 3: Optimal traffic densities.

Pollutant(1), Optimal traffic density(2).

A meghatározandó függvény bemenő paramétere egy arányszám (%-ban kifejezve), mely a nominális (legkisebb) elérhető kibocsátástól való legnagyobb tolerált eltérés, kimenete pedig az a forgalomsűrűségi tartomány, ahol ez megvalósul.

Az elgondolást alkalmazva az (1) egyenletre, az intervallum végpontjai:

$$v_{1,2}(e^p) = \frac{-\alpha_1^p \pm \sqrt{(\alpha_1^p)^2 - 4\alpha_2^p(\alpha_0^p - e^p)}}{2\alpha_2^p} \quad (21)$$

A forgalomsebesség és a forgalomsűrűség közti kölcsönös egyértelműséget (10) kihasználva számítható a $[\rho_1, \rho_2]$ emissziós korlátot teljesítő intervallum.

$$\rho_{1,2}(e^p) = \sqrt[a]{-a\rho_{cr}^a (\ln v_{1,2}(e^p) - \ln v_{free})} \quad (22)$$

A megengedett Δe^p eltéréshez tartozó intervallum két végpontja:

$$\begin{aligned} \rho_1(\Delta e^p) &= \sqrt[a]{-a\rho_{cr}^a \left(\ln \left(\frac{-\alpha_1^p + \sqrt{(\alpha_1^p)^2 - 4\alpha_2^p(\alpha_0^p - e_{opt}^p(1 + \Delta e^p))}}{2\alpha_2^p} \right) - \ln v_{free} \right)} \\ \rho_2(\Delta e^p) &= \sqrt[a]{-a\rho_{cr}^a \left(\ln \left(\frac{-\alpha_1^p - \sqrt{(\alpha_1^p)^2 - 4\alpha_2^p(\alpha_0^p - e_{opt}^p(1 + \Delta e^p))}}{2\alpha_2^p} \right) - \ln v_{free} \right)} \end{aligned} \quad (23)$$

ahol e_{opt}^p a 'p' szennyező kibocsátásának minimális értéke.

A feladat inverziójaként, ha adott a forgalomtechnikai szempontból optimális sűrűség, és a szabályzás ennek elérését célozza, számítható a várható legnagyobb kibocsátás csökkenés.

SZIMULÁCIÓS PÉLDA

Szabályzás, szimulációs környezet bemutatása

A forgalom stabilizálására és az eljutási idő minimalizálására jól ismert módszer a felhajtószabályozás (Papageorgiou és Kotsialos, 2002), a 0. fejezet tanulságai alapján azonban nem lehetséges stabil forgalom mellett minimális kibocsátást elérni pusztán felhajtószabályzás alkalmazásával. Tervezhetünk azonban egy forgalmat stabilizáló, és emissziókorlátot betartó szabályozást.

A szimulációt a Matlab/Simulink környezetben végeztük, a szabályzó tervezésének részletes ismertetését Csikós *et al.* (2011) tartalmazza.

A szimuláció során a konstans főpálya forgalomnagyságához szinuszosan változó felhajtó forgalmat társítottunk. A kettő összege nagyobb, mint a forgalmi sáv adott kapacitása a sinus hullámhegyein, így a szabályozás közbeavatkozása bizonyos. Az optimális visszacsatolás tervezését a PLQ (Piecewise linear quadratic regulator - szakaszonként lineáris kvadratikus szabályzás) alapján végeztük, mely alkalmas bemenőjelkorlátok betartására, így a beavatkozás nem adhat negatív felhajtó forgalomnagyság értékeket.

Szimulációs eredmények

A szimulációt egy 1,5 km hosszú szakaszon végeztük, a már ismertetett összetételű forgalmon. A főpályán konstans 1700 j/m/h nagyságú forgalom halad, a felhajtón 300 j/m/h középértékű forgalom jelentkezik. A szabályzó ezt nem mindig engedi fel, a felhajtón történő veszteglést figyelembe véve a teljes eljutási idő változását mutatja a 12. ábra.

12. ábra

Felhajtón átengedett forgalomnagyság, és az eljutási idő javulása

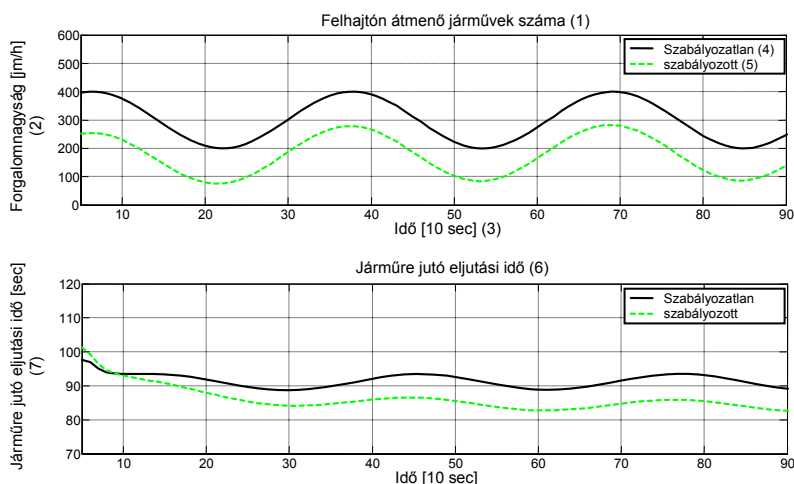


Figure 12: Traffic flow of ramp and travel times per vehicle

Traffic flow of ramp(1) Traffic volume [vehicles/h](2), Time [10 sec](3), Uncontrolled(4), Controlled with LQ control(5), Travel times per vehicle(6), Travel times per vehicle [sec](7)

A szennyezés a szabályozás eredményeként nem csökken: ne feledjük, a stabil forgalmat és minimális TTS-t biztosító szabályozás olyan forgalomsűrűséget idéz elő a főpályán, mely kibocsátási szempontból egyik szennyezőre nézve sem optimális. (13. ábra). Mindazonáltal vizsgálható, hogy az elméletileg számított, a szabályzó által megcélzott forgalomsűrűség értékhez tartozó legnagyobb kibocsátás eltérést betartja-e az adott szabályozás – azaz a forgalom stabilizálásával okozott emissziótöbblet átlépi-e az elméletileg számítottat. Az eredményeket a 4. táblázat tartalmazza.

13. ábra

Kibocsátási értékek alakulása szabályozott és szabályozatlan esetben

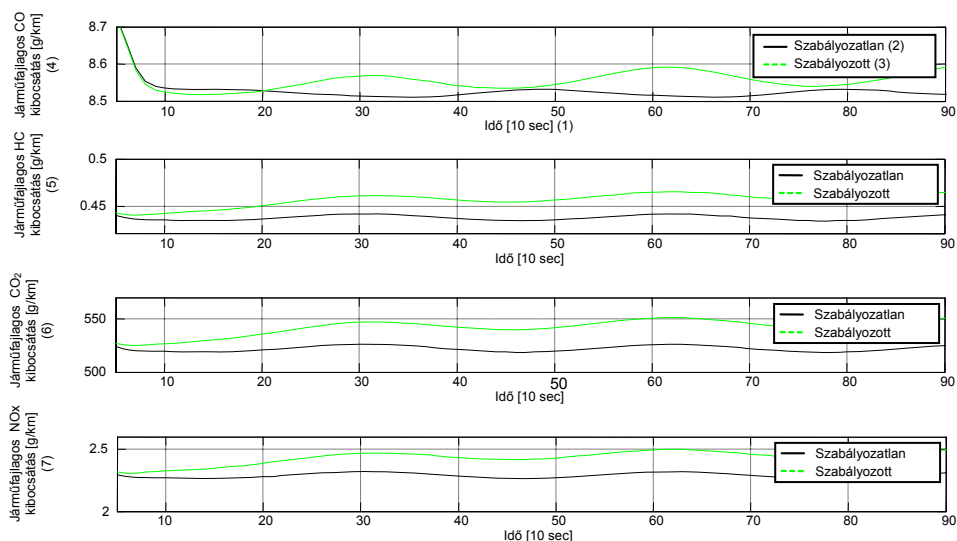


Figure 13: Emission values in case of no control and LQ control

Time [10 sec](1), Uncontrolled(2), Controlled with LQ control(3), CO emission per vehicle [g/km](4), HC emission per vehicle [g/km](5), CO₂ emission per vehicle [g/km](6), NO_x emission per vehicle [g/km](7),

4. táblázat

Emissziókorlátok betartása

Szennyező (1)	Szimulált kibocsátás többlet [g/szakasz/jm] (2)	Elméleti maximális kibocsátás többlet [g/szakasz/jm] (3)
CO	0,274	1,890
HC	0,166	0,588
CO ₂	74,725	93,946
NO _x	1,264	9,958

Table 4: Fulfilment of emission regulation

Pollutant(1), Simulated emission [g/segment/vehicle](2), Theoretical emission maximum [g/segment/vehicle](3).

A 4. táblázat értékeit tekintve kiderül, hogy a szimuláció során sikerült biztosítani a kibocsátási érték elméleti korlát alatt maradását.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben komplex forgalmi-emissziós modelleket mutattunk be, és megmutattuk, hogy a járműfajlagos és teljes forgalomra vonatkozó kibocsátási optimum egybeesik. Egy vizsgált összetételű forgalmon megmutattuk, hogy a kibocsátási optimumok valamennyi szennyezőre a kritikus sűrűség fölötti értékre esnek, ilyen optimumra való tervezés azonban a forgalom destabilizálását vonja maga után. Kompromisszumként a stabil forgalomhoz tartozó emissziókorlát elérését célzó felhajtószabályozást terveztünk. Szimulációt végeztünk egy olyan forgalmi szituációra, melyben az elméleti kibocsátásmínimum közeli állapotból egy stabil forgalmi állapotba vitte a rendszert, és vizsgáltuk az emissziókorlát betartását. A szabályozás eredményeként olyan közlekedési folyamatot valósítottunk meg, mely eljutási időt tekintve optimális, stabil, és szennyezési korlátot betartó szabályozás.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A szerzők köszönetet mondanak az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 program, az NKTH és az OTKA közös OTKA CNK 78168 kutatási projekt, valamint a Bólyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásáért.

IRODALOM

- Csikós, A., Luspay, T., Varga, I. (2011): Modeling and optimal control of travel times and traffic emission on freeways. In: Preprints of the 18th IFAC World Congress. Milano, 13058-13063. p.
- Kouridis, C., Ntzaichristos, L., Samaras, Z. (2000): Copert 3, Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport, User Manual (Version 2.1). European Environment Agency, Copenhagen.
- Luspay, T., Kulcsár B., Varga, I., Bokor J. (2009): Parameter-dependent modeling of freeway traffic flow. Transport. Res. Part C, 18, 471–488. p. [Online] <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2009.09.005>>
- Papageorgiou M., Kotsialos A. (2002): Freeway Ramp Metering: an Overview. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 3. 4.
- OTKA CNK-78168, 2009. évi kutatási jelentés. [online] <http://www.contra.bme.hu/images/stories/kutatasi_jelentes/otka_eves_jelentes_elso.pdf>

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Csikós Alfréd

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésautomatikai Tanszék
1111 Budapest, Stoczek utca 2.
Budapest University of Technology and Economics
Department of Control and Transport Automation
H-1111 Budapest Stoczek u. 2.
Tel.: 36-1-463-3089
email: csikos.alfred@mail.bme.hu



Közúti forgalomirányító rendszerek fejlesztése és tesztelése VISSIM-MATLAB környezetben

Tettamanti T., Varga I.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedésautomatikai
Tanszék, 1111 Budapest, Stoczek utca 2.

ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben az alkalmazott informatika egy speciális ágát kiemelve mutatjuk be a VISSIM-MATLAB környezetre épülő, zárt hurkú szimulációs keretrendszert. A szimulációs környezet alkalmazása hasznos eszközként szolgálhatja közúti forgalomirányító rendszerek fejlesztését és tesztelését. A két szoftver COM és API felületen keresztüli programozhatósága nagyban megnöveli a szimulációs lehetőségeket. Ezáltal olyan kiegészítő funkciókat lehet létrehozni, amelyekkel gyakorlatilag bármilyen forgalomirányító logika megvalósítható, a bonyolultabb számítások pedig közvetlenül a MATLAB-bal elvégezethetők valós időben a forgalom-szimuláció futása közben.

(Kulcsszavak: forgalomszimuláció, forgalomirányítás, VISSIM, MATLAB, COM, API)

ABSTRACT

Development and test of road traffic control systems by using VISSIM-MATLAB environment

T. Tettamanti, I. Varga

Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Transportation Engineering, and Vehicle Engineering
Department of Control and Transport Automation, H-1111 Budapest, Stoczek utca 2.

The paper investigates a special issue of the applied informatics. A VISSIM-MATLAB based closed loop simulation framework is presented. The application of the simulation environment may serve as a very efficient tool for development and test of road traffic control systems. The availability of these software, through COM and API programming, increase the facilities of the simulations. Therefore, it is possible to create such additional features which allow to design special traffic control logic. Furthermore, complex calculations may be done by MATLAB in real time during the run of the simulation.

(Keywords: traffic simulation, traffic control, VISSIM, MATLAB, COM, API)

BEVEZETÉS

A közúti motorizáció növekedése világtendenciát mutató jelenség. A folyamatosan növekvő járműforgalom számtalan közvetlen és externális hatást generál, amelyek áttételesen komoly társadalmi költségként jelennek meg. A probléma részleges kezelésére alkalmasak lehetnek olyan intelligens forgalomirányítási rendszerek, amelyek megfelelő adaptív stratégiával, valós időben képesek a forgalom aktuális állapotaira reagálni. Ilyen rendszerek fejlesztése és kiépítése igen komplex feladat. Ugyanakkor korunk technológiai szintjének megfelelően elvárható a teljes tervezési feladat

szoftverrel segített kivitelezése, amely során a tervezett rendszer nagy része jól tesztelhető. A tesztek segítségével hibák és számtalan előre nem látható akadályok szűrhetők ki. Ennek megfelelően ma már egyre inkább bevett gyakorlat a forgalomszimulációs szoftverrel való tervezés, tesztelés, és validálás.

Cikkünkben egy olyan szimulációs keretrendszert mutatunk be, amely hatékonyan alkalmazható a közúti forgalomirányítási feladatok, stratégiák, rendszerek fejlesztéséhez, vizsgálatához. A keretrendszer két építőeleme a VISSIM (VISSIM, 2011) mikroszkopikus szimulátor és a MATLAB (MATLAB, 2011) tudományos, matematikai szoftver, amelyeket COM (Component Object Model) interfész segítségével kapcsolunk össze.

A cikk első felében a VISSIM alapú forgalommodellezést és szimulációt mutatjuk be a forgalomirányítási logika megvalósíthatóságának szempontjából. Bemutatjuk a VISSIM COM és API (Application Package Interface) programozhatóságát, mint lehetséges eszközöket a forgalomszimuláció tulajdonságainak kiterjesztésére. A forgalommodellezés mellett kitérünk a MATLAB alkalmazásának lehetőségére, amely megfelelő API programozással szintén elérhető és felhasználható a VISSIM szimuláció futása közben.

A cikk második felében egy alkalmazási példán keresztül mutatjuk meg a bemutatott keretrendszer alkalmazhatóságát. Olyan robusztus tulajdonságú irányítási stratégiát teszteltünk VISSIM-MATLAB szimulációs környezetben, amely képes a bizonytalanságok figyelembe vételére azok előre megbecsült maximális mértéke alapján. A szimulációk hatékony eszközként szolgáltak a fejlesztett rendszer vizsgálatához.

SZIMULÁCIÓS KERETRENDSZER MODERN KÖZÚTI FORGALOMIRÁNYÍTÁS TERVEZÉSÉHEZ

A közúti forgalomirányítás folyamatos fejlesztése elkerülhetetlen a növekvő igények tükrében. Ezen belül megkülönböztetünk városi szintű, gyorsforgalmi utakra vonatkozó, és a kettő találkozási pontjain értelmezett, ún. integrált forgalomszabályozást. Az irányítási stratégiák a legegyszerűbb figyelmeztető jelzésektől (pl. balesetveszélyre való figyelmeztetés) a komplex logikát megvalósító, adaptív rendszerekig nagyon széles skálán mozoghatnak. A felhasználható szabályozó eszközök szintén sokszínű alkalmazást tesznek lehetővé: változtatható jelzésképű táblák, dinamikus sebességkorlátozás, autópálya felhajtás-korlátozás, hagyományos háromfogalmú jelzőlámpák, intelligens fedélzeti rendszerek, útvonalajánlás.

Egyszerűbb irányítások esetén előzetes mérési adatok alapján könnyen kialakítható a szükséges szabályozási stratégia, pl. rögzített idejű jelzőlámpás vezérlés. Ugyanakkor modern, irányító rendszerek esetén elkerülhetetlen az informatikai eszközök komolyabb igénybevétele.

Forgalommodellezés és forgalomirányítás VISSIM szimulátorral

A forgalommodellezés kiemelkedő fontosságú új stratégiák tervezésekor. A felhasználók ma már számtalan közúti forgalomszimulációs szoftver közül válogathatnak. Ezek legnagyobb része kereskedelmi szoftver (teljesség igénye nélkül néhány: AIMSUN, PARAMICS, TRANSMODELER, VISSIM), illetve elérhetők nyílt forráskódú, ingyenesen használható szimulátorok is, amelyeket egyetemek vagy kutató intézetek fejlesztenek (pl. MITSIM, SUMO). A cikkünkben bemutatandó keretrendszerben a forgalomszimulációt a VISSIM szoftver végzi.

A VISSIM mikroszkopikus forgalommodellezést valósít meg, ami azt jelenti, hogy a járműviselkedés individuális megközelítésén alapul. A mikroszkopikus szintű

modellezés célja a közlekedés dinamikájának széleskörű és pontos leírása. A szimulált közlekedési hálózat működése így részletesebben vizsgálható, és a képi megjelenítése is valósághűen megvalósítható. A VISSIM az ún. pszicho-fizikai járművezető-viselkedési modellre épül, amelynek elméleti háttere a Wiedemann járműkövetési modell (Wiedemann, 1974). A modell alapvető koncepciója az, hogy a gyorsabban haladó jármű vezetője akkor kezd lassítani, amikor az egyéni érzékelési küszöböt eléri az előtte haladó, lassabb jármű percepciója. Mivel nem tudja pontosan meghatározni az elől haladó gépkocsi sebességét, így addig lassít, amíg egy másik érzékelési küszöböt el nem ér, és újra gyorsítani nem kezd. A szimuláció tehát a lassulás-gyorsulás kapcsolatán alapuló, folyamatos iterációs eljárás, ahol minden jármű és járművezető egyéni tulajdonságokkal rendelkező objektum. A VISSIM ma már széles körben elterjedt szoftver, amely hiteles referenciát jelent bármilyen közúti irányítási feladat megvalósítása során (Takács, 2004).

A VISSIM sokcélú felhasználást tesz lehetővé a forgalommodellezés területén. Ugyanakkor cikkünkben kifejezetten a forgalomirányítási feladatok szimulációjára fókuszálunk. A szoftver több lehetőséget is nyújt a szabályozó logika, azaz a forgalomirányító berendezések szimulációjára. Rögzített idejű vezérlés esetén az ún. *Fixed time* jelzésvezérléssel egyszerűen definiálható a forgalomtechnika. Saját, forgalomfüggő logika megvalósításhoz a VAP modult (Vehicle Actuated Programming) lehet használni. A VISVAP tervező szoftverrel folyamatábraként valósítható meg bármilyen szabályozás, amihez természetesen a hálózatban tetszőlegesen felvett hurokdetektorokat is fel lehet használni. Az így elkészített logikát a VISVAP egy vap kiterjesztésű fájlba exportálja, ami pedig közvetlenül meghívható a VISSIM-ben. További lehetőségként választható az ún. *External* jelzésvezérlés, amely az előzőhöz hasonlóan tetszőleges, saját logika megalkotására ad lehetőséget. Ugyanakkor mindezt már C++ programnyelven kell elkészíteni a VISSIM által nyújtott Signal Controller API segítségével, ami gyakorlatilag a szabályozó forráskód-szintű programozását jelenti. A C++, mint objektumorientált nyelv magas szintű programozási lehetőséget nyújt, bőven túllépve a grafikus VISVAP alapú megoldás korlátain. Az így elkészített jelzési programot dll kiterjesztésű fájlba kell lefordítani, aminek elérési útját a vap fájlhoz hasonlóan a felhasználó adja meg a VISSIM grafikus felületén keresztül. Ezekben a megoldásokon túl a VISSIM - alkalmazkodva a piaci igényekhez - további, kereskedelmi célú szabályozási modulok alkalmazását is teszi lehetővé, pl. SCATS, SCOOT, SIEMENS VA, LISA+OMTC.

VISSIM forgalomszimuláció lehetőségeinek kiterjesztése COM felület segítségével

A forgalomszimuláció magasabb szintű irányításához a szoftvergyártó a COM felület programozását ajánlja, amihez részletes dokumentációval is segíti a felhasználót. A COM a Microsoft által kifejlesztett technológia a komponens alapú fejlesztés támogatására, mely a szoftverek közti kommunikációt teszi lehetővé. Bár több platformon is megvalósították, elsősorban a Microsoft Windows operációs rendszerében használják.

A VISSIM COM hierarchikus felépítésű, objektumorientált modellt valósít meg, amiben kódszinten válnak elérhetővé és programozhatóvá a grafikus felületen nyújtott funkciók és paraméterek. A COM felületet lehet script programnyelveken (pl. Visual Basic Script, Java Script), illetve objektumorientált nyelveken is programozni (pl. Microsoft Visual Studio programcsalád nyelvei, Java, Delphi, C++). A programozás első lépéseként egy COM klienst kell létrehozni a választott nyelven. Majd céltól függően a forgalomszimulációs folyamat egyes részeit vagy akár egészét el lehet készíteni és

automatizálni a COM-on keresztül. Amennyiben például egy saját készítésű, forgalomfüggő logikát szeretnénk kivitelezni COM-mal, a VISSIM grafikus felületén a *Fixed Time* stratégiát érdemes kiválasztani. Ekkor az irányítási logikának megfelelően - amit szintén a COM felületen készíthetünk el - a szabályozási ciklusok végén a fix idejű jelzéstervet felülírhatjuk, azaz a rögzített idejű vezérlési tervet gyakorlatilag folyamatosan frissítjük.

A gyakorlatban egy COM felülettel fejlesztett, saját logikát használó szimulációt a következőképpen érdemes felépíteni:

1. Az adott közlekedési hálózat felépítése a VISSIM grafikus felületén keresztül minden részletével együtt (útszakaszok, jelzőlámpák, detektorok, járművek, stb.);
2. COM kliens létrehozása a választott programnyelven;
3. Saját irányítási stratégia leprogramozása;
4. Speciális szimulációs beállítások leprogramozása, pl. többszöri futtatás egymásután más paraméterekkel, a járművek valamilyen feltételhez kötött viselkedése;
5. A megírt program lefordítása exe kiterjesztésű futtatható állományba;
6. A szimuláció elindítása parancssorból az elkészített exe fájl, a VISSIM projektfájl (inp) és a hozzá tartozó inicializáló fájl megadásával.

MATLAB alkalmazása VISSIM szimulációhoz

Nyilvánvaló, hogy összetettebb forgalomtechnikai stratégiát megvalósító szimulációs feladatok esetén az előző fejezetben bemutatott COM felület és az ahhoz alkalmazott magas szintű programozási nyelv nagy segítségére lehet a felhasználóknak. Ugyanakkor egyes feladatokat érdemes lehet speciális matematikai szoftverrel elvégeztetni. Egy bonyolultabb optimalizálási feladat megoldása esetén például, a felhasználónak nem feltétlen van szüksége a számítási algoritmus részletes ismeretére. Csak a módszer helyessége, és a végeredmény számít. Így egy külső szoftver által nyújtott függvény alkalmazásával, rengeteg idő és energia megtakarítható összehasonlítva a programnyelven történő megvalósítással. Mindehhez azonban természetesen alapfeltétel a matematikai szoftver elérhetősége a forgalomszimuláció futtatása alatt.

A forgalomszimulációs feladatokhoz segítséget nagy nyújthat a MATLAB program, amelyben beépített függvények százait lehet felhasználni. Robusztus mátrix műveleti csomaggal és kiváló diagramrajzoló függvényekkel rendelkezik, amelyek igen hasznosak lehetnek valós idejű alkalmazások fejlesztéséhez, ellenőrzéséhez. A MATLAB-ot a VISSIM-hez hasonlóan el lehet érni COM felületen keresztül. Ehhez a MATLAB szoftvergyártó egy MATLAB Engine nevű API-t (*MATLAB 7 External Interfaces*, 2010). bocsát a felhasználók rendelkezésére, amellyel az alábbi funkciók valósíthatók meg:

- Tetszőleges MATLAB függvény, vagy előre megírt MATLAB programkód meghívása saját programból;
- Adatok küldése/fogadása a MATLAB és saját programunk között.

Amennyiben a forgalomszimulációban ki akarjuk használni a MATLAB által nyújtott lehetőségeket az előzőekben bemutatott VISSIM COM felület programozását kibővíthetjük a MATLAB Engine API alkalmazásával. Így például dinamikus jelzéstervezéshez, diagramok rajzolásához a MATLAB alapú algoritmusok közvetlenül elérhetővé válnak.

Az VISSIM-MATLAB által megvalósított szimulációs keretrendszert az *1. ábra* reprezentálja.

1. ábra

VISSIM-MATLAB szimulációs keretrendszer

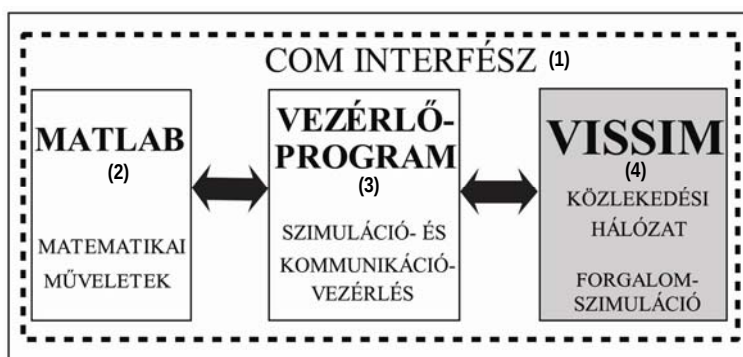


Figure 1: VISSIM-MATLAB simulation framework

COM interface(1), MATLAB: mathematical operations(2), Controller Program: Simulation and communication control(3), VISSIM: traffic network, traffic simulation(4)

A keretrendszer vezérlőprogramja természetesen bármilyen programnyelvben készülhet, ami képes COM interfész kezelésére.

VISSIM Signal Controller API programozása

Az eddig bemutatott módszerek segítségével egy nagyon hatékony tesztelési keretrendszer építhető fel. A VISSIM azonban egy további lehetőségként kínálja a Signal Controller API programozhatóságát az *External* típusú jelzésvezérlés megvalósításához, amelyet C++ programnyelven lehet elkészíteni. Ezzel a megoldással közvetlenül hozzáférhetünk a szimulációban definiált forgalomirányító berendezésekhez (*Signal Controller*) és detektorokhoz, ill. gyakorlatilag bármilyen időzítés szerint alakíthatjuk a hozzájuk kapcsolódó jelzési stratégiát. Az *Signal Controller* API segítségével képzett jelzési logikát dll fájlként kell lefordítani (külön-külön mindegyik *Signal Controller*-hez), amiket aztán a VISSIM a szimuláció során minden egyes szabályozási időtartamban (szabadon definiálható, de általában 1 másodperc) lefuttat. Először az aktuális jelzésképek és detektoradatok (minden detektor hozzá kell, hogy legyen rendelve előzőleg valamelyik *Signal Controller*-hez) érkeznek meg a vezérlő dll fájlok számára. Ezután a dll programok a beérkező információk függvényében és a felhasználó által kitalált logika alapján döntenek az új jelzésképekről, amelyek azonnal visszakérülnek az éppen futó VISSIM szimulációba. Az API segítségével az átmeneti jelzésképek is előre beállíthatók, így a frissített jelzések ennek függvényében „kerülnek ki” a jelzőfejekre. Ez a funkció igen nagy előnyt jelenthet városi forgalomirányítás szimulációja esetén, ahol így például elég a kiszámított zöldidő és pirosidő kezdeti időpillanatait megadni jelzőcsoportonként. Ugyanakkor amennyiben ugyanezt COM felületen keresztül szeretnénk megvalósítani, akkor a jelzőcsoportoknak minden egyes jelzési állapot változását meg kell adni – beleértve természetesen az átmeneti jelzésképeket is. Ez pedig nagy mértékben megbonyolítja a programozási feladatot. További előnye még az API alkalmazásának, hogy az így létrehozott jelzésvezérlés jóval gyorsabb szimulációt tesz lehetővé a COM-os megvalósításhoz képest, és az időzítése is könnyen programozható.

Ez a megoldás alkalmazható önmagában, kizárólag az *External* típusú forgalomirányító berendezések elkészítéséhez, amennyiben a felhasználó nem akar olyan speciális szimuláció vezérlést kialakítani, amit ne tudna a VISSIM grafikus felületén is beállítani. Ugyanakkor természetesen mindez kombinálható a VISSIM COM programozással. Sőt a Signal Controller API a MATLAB Engine API-val együtt is programozható a MATLAB szoftver szolgáltatásainak elérésére céljából. Az így kialakítható teljes szimulációs keretrendszert a 2. ábra mutatja.

2. ábra

A teljes szimulációs keretrendszer

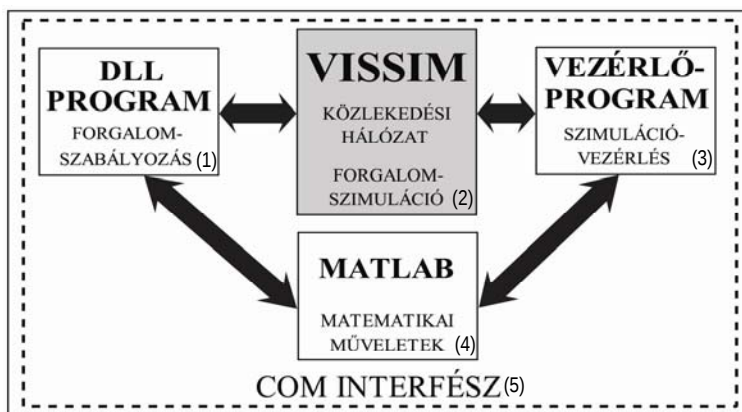


Figure 2: The whole simulation framework

DLL Program: traffic control(1), VISSIM: traffic network, traffic simulation(2), Controller Program: simulation control(3), MATLAB: mathematical operations(4), COM Interface(5)

SZIMULÁCIÓS PÉLDA

A következőkben egy alkalmazási példát mutatunk be. Az eddig leírt keretrendszer segítségével fejlesztettünk, szimuláltunk és teszteltünk egy olyan forgalomirányítási stratégiát, amely alkalmas városi úthálózatok intelligens, valós idejű irányítására.

A tesztelt robusztus városi forgalomirányítás

Az általunk tervezett stratégia célja a városi közlekedés hatásfokának javítása. A rendszer kiszámítja az irányított hálózat csomóponti forgalomirányító berendezései számára az optimális zöldidőket minden szabályozási ciklusban (90 másodperc). Az optimalizálás természetesen a forgalom aktuális állapotaitól függően történik. A szabályozási sémát a 3. ábra szemlélteti.

A stratégia a városi forgalom állapottér alakú, lineáris modelljére épül, amely gyakorlatilag a jól ismert Store and forward (Tárol és továbbít) forgalommodell (*Gazis és Potts, 1963*) hálózati szintű kibővítése. Az állapottérben leírt rendszerek elsősorú előnye, hogy közvetlenül alkalmazhatók a modern irányításelmélet hatékony technikáinak implementálására. Éppen ezért már számos forgalomirányítási stratégia született erre a

modellre építve, pl. *Diakaki et al.* (1999), *de Oliveira et al.* (2010), *Tettamanti et al.* (2008), *Tettamanti és Varga*, (2009). Mivel az állapotterez megközelítés általában komoly mátrixműveleteket von maga után, már az irányításhoz szükséges modell önmagában indukálta a MATLAB szoftver alkalmazását a rendszer szimulációjának felépítésékor.

3. ábra

Városi forgalomirányítás szabályozási sémája

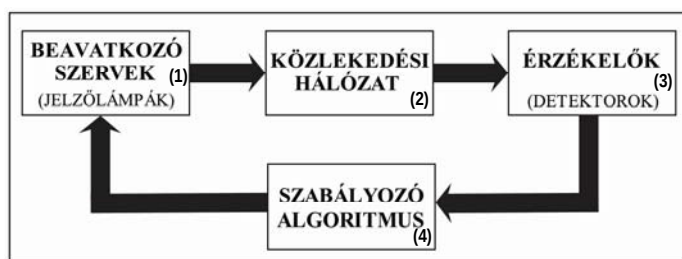


Figure 3: Control scheme of urban road traffic control

Actuators (traffic lights)(1), Traffic Network(2), Sensors (loop detectors)(3), Control Algorithm(4)

A stratégia optimalizálási motorja az ún. prediktív irányítás (*García et al.*, 1989), amelyet számos műszaki szakterületen alkalmaznak az iparban. A MPC (Model Predictive Control) szabályozás célja ez esetben a városi hálózat útszakaszain kialakuló jármű sorhosszak minimalizálása az optimális jelzéstervek meghatározásával. A fejlesztett módszer különlegessége az adaptív képességén túl, hogy robusztus irányítást képes megvalósítani. Azaz kezelni tudja a rendszerben megjelenő állapot bizonytalanságokat (nem mérhető járműáramlás, pl. parkolás), amik megjelenése nem kiküszöbölhető nagyon jó minőségű mérőrendszer esetén sem. Amennyiben a bizonytalanságok gyakrabban, és nagyobb mértékben fellépnek, erősen megzavarhatják az online optimalizáláson alapuló forgalomirányítást. Ennek megoldására robusztus MPC módszer (*Löfberg*, 2003) alkalmazása szükséges, amely bizonytalanságok esetén is ki tudja számolni az optimális zöldidő-elosztást.

A szabályozó algoritmus motorja egy minimax optimalizálás, amelyet mátrix egyenlőtlenségek (LMI: Linear Matrix Inequality) segítségével felírva hatékony szemidefinit programozási feladatként (SDP: Semidefinite Programming) lehet kifejezni. Látható tehát, hogy az algoritmus leprogramozásához is nagyon hasznosan lehet felhasználni a MATLAB-ot, amely ráadásul külön LMI modullal rendelkezik ilyen számítások egyszerű megvalósításához.

A robusztus városi forgalomirányítás szimulációs keretrendszere

Az előző fejezetben részletezett fejlesztés tesztelése egy összetett feladat megvalósítását jelentette, amelyben egyaránt szükség volt a VISSIM COM, a VISSIM Signal Controller API, és a MATLAB Engine API programozás felhasználására egyaránt. A szimulációs keretrendszert tehát a 2. ábrán bemutatott séma szerint építettük fel.

A teszhálózat (4. ábra) a VISSIM grafikus felületén készült.

4. ábra

Teszthálózat robusztus forgalomirányítás vizsgálatához

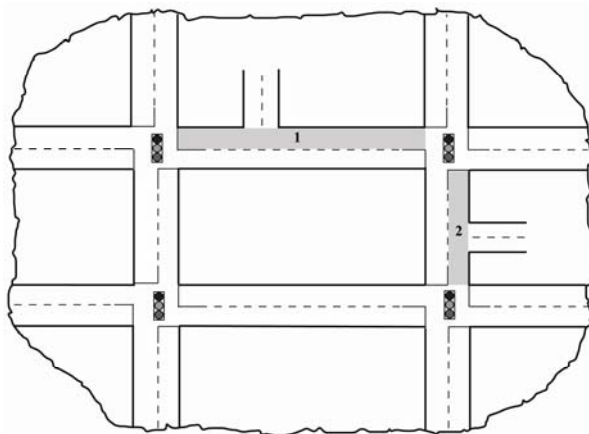


Figure 4: Test network for the analysis of robust traffic control scheme

A hálózat 4 jelzőlámpás csomópontból és 16 irányított útszakaszból áll. A szürkével jelölt szakaszok a bizonytalansággal terhelt utcákat jelentik. A bizonytalanságok dinamikáját COM felületen keresztül dinamikusan határozza meg a vezérlő C++ program. Az 1. és 2. útszakaszok aktuális állapotainak (járműszám) függvényében egy random függvény segítségével minden szabályozási ciklusban újradefiniáljuk a bizonytalanságok mértékét és irányát. A bizonytalanságot a VISSIM-ben két kisebb, nem irányított kereszteződés (4. ábra) generálja, amelyek nem mért forgalomáramlás forrásaiként, ill. nyelőiként működnek közre. A szabályozás megvalósításához a szakaszonkénti járműszámok folyamatos mérése elengedhetetlen. A VISSIM COM-on keresztül természetesen bármelyik pillanatra vonatkozóan lekérdezhető a pontos járműszám. Ugyanakkor a valóságban útszakaszonként legalább 3 detektorra van szükség ahhoz (Vigos et al., 2008), hogy releváns mérési adatokhoz jussunk. Éppen ezért a Vigos et al. (2008) által publikált eredményeket felhasználva detektorok és Kálmán-szűrő becslési eljárás (Welch és Bishop, 1995) felhasználásával valósítottuk meg a teszthálózat mérőrendszerét VISSIM Signal Controller API programozás segítségével. Maga a szabályozási algoritmus futtatása ugyanakkor MATLAB-ban történt felhasználva az LMI problémák kezelésére vonatkozó, beépített függvényeket. A teszthálózat *External* típusú forgalomirányító berendezéseit szintén a Signal Controller API segítségével valósítottuk meg. A jelészvezlők működési frekvenciája 1/másodperc, azaz másodpercenként frissítik a jelzőfejekre kivezért jelzéseképeket.

A szimulációs keretrendszer működése a következőképpen foglalható össze:

1. VISSIM Signal Controller API: a szabályozási ciklus (90 másodperc) végén a forgalom állapotainak becslése a detektorok mérései alapján (Kálmán-szűrő algoritmus);
2. MATLAB Engine API: mérési adatok küldése COM-on keresztül a MATLAB-nak, amely elvégzi az SDP optimalizálást;

3. VISSIM Signal Controller API: az új optimális zöldidők fogadása a MATLAB-ból, amely alapján a VISSIM-ben definiált Signal Controllerek a következő ciklus végéig vezérlik a jelzőfejeket;
4. VISSIM COM: a bizonytalan forgalomnagyságok meghatározása, és beállítása a VISSIM szimulációban a következő ciklus számára.

Szimulációs eredmények

A forgalomirányítási stratégia szimulációjának fő célja az volt, hogy a robusztus tulajdonság hatékonyságát meg lehessen vizsgálni. Az eredmények referenciájaként a nominális MPC (NMPC) szabályozást választottuk, amely kizárólag csak abban különbözik a robusztus MPC-től (RMPC), hogy nem képes a potenciálisan felmerülő a bizonytalanságok kezelésére. Az összevethetőség miatt tehát NMPC és RMPC stratégiával egyaránt lefuttattuk a szimulációkat. Három különböző szimulációs scenáriót használtunk - az érintett útszakaszok állapotának legfeljebb $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ és $\pm 30\%$ -os arányában beállítva a bizonytalanságok mértékét. Ez azt jelenti, hogy például az első esetben, a rendszer képes maximum $\pm 10\%$ -os mértékű bizonytalanság kezelésére. Ugyanakkor a VISSIM szimulációban nem feltétlen jelent meg a $\pm 10\%$ -os érték, mivel annak mértékéről (és előjeléről) egy - zérus középértékű, normális eloszlású dinamikát megvalósító - C++ randomfüggvény döntött. Így az véletlenszerűen állt elő -10% és $+10\%$ között ciklusról-ciklusra. A állapot bizonytalanságot a VISSIM-ben nem irányított és nem mérhető csomóponti járműáramlatként modelleztük.

A szimulációs idő minden esetben 1800 másodperc volt. Az irányító algoritmus online módon minden ciklusban lefutott. Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

Szimulációs eredmények

Potenciális bizonytalanság maximális értéke(1)	Forgalomtechnikai paraméterek (2)	NMPC (3)	RMPC (4)	Változás (5)
$\pm 10\%$	Járművenkénti átlagos késési idő [sec] (6)	161	159	-1.2%
	Járművenkénti megállások száma (7)	2.5	2.4	-4.0 %
	Átlagsebesség [km/h] (8)	6.8	6.9	+1.5%
	Járművenkénti átlagos utazási idő [sec] (9)	216	213	-1.4%
$\pm 20\%$	Járművenkénti átlagos késési idő [sec]	173	167	-3.5%
	Járművenkénti megállások száma	2.6	2.5	-3.8%
	Átlagsebesség [km/h]	6.4	6.6	+3.1%
	Járművenkénti átlagos utazási idő [sec]	230	223	-3.0%
$\pm 30\%$	Járművenkénti átlagos késési idő [sec]	189	173	-8.5%
	Járművenkénti megállások száma	2.9	2.6	-10.3%
	Átlagsebesség [km/h]	5.8	6.3	+8.6%
	Járművenkénti átlagos utazási idő [sec]	251	232	-7.6%

Table 1: Simulation results

Maximal potential uncertainty(1), Traffic parameters(2), NMPC(3), RMPC(4), Variation(5), Average delay time per vehicle [sec](6), Number os stops per vehicle(7), Average speed [km/h](8), Average travel time per vehicle [sec](9)

Négy különböző forgalomtechnikai paramétert vizsgáltunk a szimulációk során. Az első a *Járművenkénti átlagos késési idő*, ami azt mutatja meg, hogy mekkora az időkülönbség ahhoz az idealizált esethez viszonyítva, amikor a jármű egyedül haladna végig a hálózaton minden zavarástól mentesen. Az *Járművenkénti megállások száma*, *Átlagsebesség* és *Járművenkénti átlagos utazási idő* pedig illusztratív forgalomtechnikai jellemzők a működési hatékonyság vizsgálatára. A táblázatok Változás oszlopa a paraméterek változásának mértékét mutatja a névleges irányítási stratégiához viszonyítva.

A szimulációs eredmények egyértelmű javulás mutatnak minden paraméter tekintetében a robusztus stratégia alkalmazásánál. Ugyanakkor az is látható, hogy jelentősebb javulás a $\pm 10\%$ -os érték feletti/alatti bizonytalanság megjelenésekor jelentkezik. Összességében a szimulációs eredmények jól mutatják, hogy az adaptív jelzéstervezés robusztus tulajdonsága javította a rendszer hatásfokát az összes fontosabb forgalomtechnikai paraméter esetén.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

A cikkben bemutatott keretrendszer hasznosságát egy általunk tervezett robusztus városi forgalomirányító rendszer tesztelésén keresztül szemléltettük, amelyben a szoftverek COM-on és API-n keresztüli programozhatóságát kihasználva egy komplex, zárt hurkú szabályozási kört valósítottunk meg. A szimulációk segítségével könnyen értékelhetővé vált, hogy a tervezett stratégia milyen hatással van egy bizonytalanságokkal terhelt közlekedési hálózatra.

KÖVETKEZTETÉSEK

A bemutatott szimulációs keretrendszer hasznos eszközként szolgálhatja a felhasználókat összetettebb közúti forgalomirányítási feladatok megtervezése során. Sőt, mivel mind a VISSIM, mind a MATLAB széles körben elismert, és hatékonyan alkalmazott szoftverek, a rendszerrel gyakorlatilag teljes validáció is végezhető - megfelelő mélységű szimuláció megvalósítása esetén.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A szerzők köszönetet mondanak az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 program, az NKTH és az OTKA közös OTKA CNK 78168 kutatási projekt, valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásáért.

IRODALOM

- Diakaki C., Papageorgiou M., McLean T. (1999): Application and evaluation of the integrated traffic-responsive urban corridor control strategy IN-TUC in Glasgow. Proceedings of the TRB 78th Annual Meeting, Washington D.C., USA
- García, C.E., Prett, D.M., Morari, M. (1989): Model predictive control: Theory and practice - A survey. In: Automatica, 25. 3. 335-348. p.
- Gazis, D.C. , Potts, R.B. (1963): The oversaturated intersection. Proceedings of the Second International Symposium on Traffic Theory, London, UK, 221–237. p.

- Löfberg, J. (2003): Minimax approaches to robust model predictive control. Ph.D. thesis. Linköping University, Sweden.
- MATLAB (2011): www.mathworks.com, The MathWorks, Inc, USA
- MATLAB 7 External Interfaces (2010): www.mathworks.com, The MathWorks, Inc, USA
- de Oliveira, L.B., Camponogara, E. (2010): Multi-agent model predictive control of signaling split in urban traffic networks. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. In: Information/Communication Technologies and Travel Behaviour 18. 1. 120-139. p. ISSN 0968-090X
- Takács M. (2004): Forgalmuszimulációs elemzések egységes vizsgálati módszertanának kidolgozása, Tervezési útmutató. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium
- Tettamanti, T., Varga, I., Kulcsár, B., Bokor, J. (2008): Model predictive control in urban traffic network management. 16th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation. [CD] ISBN:978-1-4244-2505-1 1538-1543. p. Ajaccio, Corsica, France
- Tettamanti T., Varga I. (2009): Elosztott közúti forgalomirányító rendszer. In: Városi Közlekedés, 49. 6. 338-341. p.
- Vigos, G., Papageorgiou, M., Wang, Y. (2008): Real-time estimation of vehicle-count within signalized links. In: Transportation Research, Part. C 16. 18-35. p.
- VISSIM (2011): www.ptvag.com, Planung Transport Verkehr AG, Germany.
- Welch, G., Bishop, G. (1995): An Introduction to the Kalman Filter. University of North Carolina at Chapel Hill. Technical Report TR95-041.
- Wiedemann R. (1974): Simulation des Straßenverkehrsflusses Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Tettamanti Tamás

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedésautomatika Tanszék
1111 Budapest, Stoczek utca 2.

*Budapest University of Technology and Economics,
Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, Department of
Control and Transport Automation*

H-1111 Budapest, Stoczek utca 2.

Tel.: 36-1-463-2255, Fax: 36-1- 463-3087

e-mail: tettamanti@mail.bme.hu



Kvalitatív elemzésen alapuló reakciómechanizmus meghatározás

Varga T.

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék, 8200 Veszprém, Egyetem út 10.

ÖSSZEFOGLALÁS

A vegyipari rendszerek tervezése során az egyik legfontosabb feladat a konvertáló alrendszer tervezése, amely esetén a legfontosabb szempontok az optimális, de emellett biztonságos üzemmenet biztosítása. Ennek érdekében, már a tervezéskor fel kell tárni azon folyamatokat és ezek sebességét, amelyek az üzemeltetés során befolyásolják az alrendszer működését. Valamely kémiai reakciórendszer mechanizmusán azon elemi folyamatok összességét értjük, amelyek során a kiindulási anyagok a végtermékké alakulnak. A reakciómechanizmus vizsgálatának tehát az a célja, hogy leírja azokat a közbelső állapotokat, amelyek során a rendszer a kezdeti állapotából a végállapotba jut. A kidolgozandó eszköz a szükséges tapasztalatok hiányában nyújthat segítséget a reakciómechanizmusok megismerésében és az egyes elemi reakciók sebességi egyenleteinek definiálásában. Az utóbbi feladat a paraméteridentifikálás, míg az előző a struktúraidentifikálás tématerületéhez tartozik. A struktúra identifikációt a mért és a számított trajektóriák kvalitatív elemzése alapján végezzük, ugyanis ily módon a kialakuló trendek könnyen összehasonlíthatók. A kapott struktúra, illetve már ismert mechanizmus alapján a paraméteridentifikálás során megfogalmazott korlátos szélsőérték keresési feladat megoldásához, pedig evolúciós stratégiát alkalmazunk. (Kulcsszavak: reakciómechanizmus, kvalitatív elemzés, paraméter identifikáció)

ABSTRACT

Qualitative analysis based reaction mechanism identification

T. Varga.

University of Pannonia, Faculty of Engineering, Department of Process Engineering, H-8200 Veszprém, Egyetem út 10.

One of the most important tasks during the design process of a chemical technology is the engineering design of the conversion subsystem based on the aspect of optimal and safe operation. Hence, before the design the rate of processes which have impact on the dynamic behavior of the subsystem must be identified. The reaction mechanism of a reaction system represents all the elementary reaction steps which are required to convert the reagents into products. The aim of the reaction mechanism analysis is the identification of the route how the system goes from its initial to the end state. The developed tool can be applied to identify of an unknown reaction mechanism without the necessary chemist experience. Beside, the tool can be used to determine the parameters of the rate equations of each identified chemical reaction. The first task requires structure while the second one requires parameter identification. The developed structure identification method is based on the qualitative analysis of measured and calculated state-variables trajectories, since the trends in the change of components can

be easily compared based on the resulted sequences. To solve the constraint optimization problem during the parameter identification process evolutionary strategy method is applied.

(Keywords: reaction mechanism, qualitative analysis, parameter identification)

BEVEZETÉS

A vegyipari rendszerek tervezése során az egyik legfontosabb feladat a konvertáló alrendszer tervezése, amely esetén a legfontosabb szempontok az optimális, de emellett biztonságos üzemmenet biztosítása. Ennek érdekében, már a tervezéskor fel kell tárnunk azon folyamatokat és ezek sebességét, amelyek az üzemeltetés során befolyásolják az alrendszer működését. A konvertáló alrendszer legkritikusabb eleme a reaktor, amelyben a korábban labor körülmények között elvégzett kísérletek során gyűjtött ismereteink alapján igyekszünk közben tartani a lejátszódó folyamatokat. Az itt lejátszódó folyamatok jellegét tekintve lehetnek fizikai, kémiai, illetve fizikai-kémiai folyamatok is. Ebben a munkában a reaktorokban lejátszódó kémiai folyamatok, azaz a reakciók, megismerésének támogatására dolgoztunk ki egy lehetséges módszert.

Számtalan könyv és folyóirat cikk foglalkozik azzal, hogy lehetséges megoldásokat nyújtsanak a reakciómechanizmusok feltérképezéséhez. Mivel mindig lesznek olyan folyamatok, melyek mechanizmusának megismerése egy tervezési feladat első lépése, ezért ezen a tudományterületen elvégzett munka mindig aktuális lesz. Ennek érdekében, hogy megismerjük a feladat összetettségét, először az alapfogalmakat kell tisztáznunk (Schwetlick, 1978; Turányi, 2010; Delvin, 2002; Grossman, 2003).

Valamely kémiai reakció mechanizmusán azon elemi folyamatok összességét értjük, amelyek során a kiindulási anyagok a végtermékké alakulnak. A reakciómechanizmus vizsgálatának tehát az a célja, hogy leírja azokat a közbenső állapotokat, amelyek során a rendszer a kezdeti állapotából a végállapotba jut. Természetesen még ma sem vagyunk képesek arra, hogy teljes részletességgel leírjuk a reakciókban résztvevő összes molekula mozgását, ezért csak egy olyan képet tudunk megfogalmazni, amely nagyszámú molekula viselkedésének összességéből adódik. Emellett a reagáló rendszer csak néhány kitüntetett állapotát jellemezhetjük. Ilyen kitüntetett állapotok a reakció során az átmeneti állapotok és a köztitermékek.

Köztitermékeknek azokat a kémiai képződményeket (molekulákat, atomokat, gyököket, ionokat, stb.) értjük, amelyek a reakció folyamán elvileg kimutathatók, bár bizonyos körülmények között ezek csak igen kis mennyiségben képződnek, és amelyek az adott reakciókörülmények között végtermékké alakulnak át. A reakciók túlnyomó része egy, vagy több köztiterméken keresztül játszódik le, ezért ezeket többlépcsős reakciónak is nevezzük, amelyek elemi reakciók sorozatából állnak. Az egy elemi reakcióban részt vevő molekulák számát a reakció molekularitásának nevezzük, amely a reakció rendűségét adja meg. A reakció sztöchiometriája írja le, hogy adott komponensek milyen szerepet töltenek be egy reakcióban, ami alapján megkülönböztetünk reagenseket, illetve termékeket. Ezentúl pedig megadja azt is, hogy milyen mennyiségben vesznek részt az egyes komponensek a reakcióban.

Egy adott reakció átmeneti állapotai és közbenső termékei számos módszerrel vizsgálhatók, e módszerek feloszthatók kinetikaira és nem kinetikaira (Friess, 1963). A reakciómechanizmus vizsgálatának és elemzésének feltétele az összes reakciótermék, és köztitermék pontos azonosítása és kvantitatív meghatározása. Ennek hiányában a reakció sztöchiometriáját egyértelműen és teljes bizonyossággal nem tudjuk meghatározni. A reakciótermékek jellege és eloszlása is lehetőséget nyújt a reakció

mechanizmusának feltérképezésére, persze ehhez elengedhetetlen alapos és általános kémiai ismeret. A kidolgozandó eszköz a szükséges tapasztalatok hiányában nyújthat segítséget a reakciómechanizmusok megismerésében és az egyes elemi reakciók sebességi egyenleteinek definiálásában.

Az utóbbi feladat a paraméteridentifikálás, míg az előző a struktúraidentifikálás tématerületéhez tartozik. A paraméteridentifikálás lényege egy feltételes szélsőérték feladat megoldása, amely esetünkben a feltételezett reakciókinetika összefüggésekkel számolt és a mért adatok összehasonlításával kapott modellhiba minimalizálását jelenti, a kinetikai paraméterterek módosításával. A struktúraidentifikálás feladata a változók közötti összefüggések feltárása és formalizálása, ami esetünkben a mérési adatok alapján, az egyes komponensek közötti kapcsolatok feltárását, azaz a reakciómechanizmus meghatározását jelenti.

A tervezett eszköz mindkét feladatban segítséget nyújthat. A struktúraidentifikációt a mért és a számított trajektóriák kvalitatív elemzése alapján végezzük, ugyanis így módon a kialakuló trendek könnyen összehasonlíthatók. A kapott struktúra, illetve már ismert mechanizmus alapján a paraméteridentifikálás során megfogalmazott korlátozott szélsőérték keresési feladat megoldásához, pedig evolúciós stratégiát alkalmazunk.

A kidolgozott módszer kvalitatív trend analízis alkalmazásán alapul, melynek lényege, hogy a vizsgálandó idősort primitív epizódokra bonjuk, az alapján, hogy az első, illetve második deriváltak előjele milyen (*Cheung and Stephanopoulos*, 1990). Az első és második deriváltak előjele alapján, hét primitív epizódot különböztethetünk meg, ahogy ez az 1. ábrán látható.

1. ábra

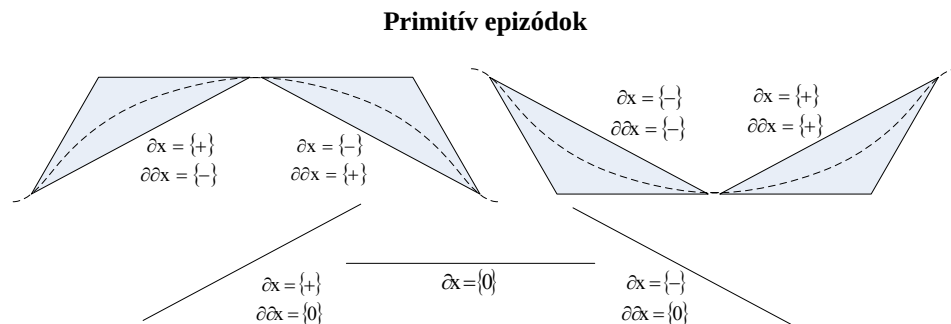


Figure 1: Primitive episodes

Amennyiben olyan idősorok elemzését végezzük, amelyek egymástól nem függetlenek, akkor a kapott szekvenciákban megmaradnak azok a rendszer dinamikájára vonatkozó információk, amelyek alapján annak struktúráját feltárhatjuk. Képzeljük el, hogy az elemezni kívánt adatok egy kinetikai mérés eredményei, amiről elmondható, hogy az abban lévő idősorok, amik a komponensek koncentrációinak időbeli változását jelentik, egymással szorosan összefüggnek. A kvalitatív elemzést elvégezve egy ilyen adatsor, azonosíthatjuk azon trendeket, amelyekben esetleg két komponens koncentrációja csökken, miközben egy harmadiké nő, azaz a mérés azon szakaszában egy olyan reakció dominált, amelyben az első két komponens reagensként, míg a harmadik termékként vett

részt. Természetesen ez csak egy egyszerű példa volt, és ha több reakció játszódik le a rendszerben, azok egyszerre fejtik ki hatásukat.

A bevezetőt követően az Anyag és módszer fejezetben részletesen bemutatjuk a kidolgozott algoritmust, amely alkalmas a kitűzött cél megvalósítására. Az Eredmények és értékelésük fejezetben egy esettanulmányon mutatjuk be, az eszköz működését, majd a Következtetések fejezetben foglaljuk össze az elért eredményeket és mutatjuk be a jövőbeni terveket, elképzeléseket.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A munka során a célkitűzés egy olyan eszköz fejlesztése, amely segítheti ismeretlen reakciórendszerek struktúrájának feltárását, majd a feltárt reakciók sebességi egyenleteinek identifikációját. Annak érdekében, hogy egy ilyen eszközt megalkossunk először egy algoritmust dolgoztunk ki, mely a 2. ábrán látható.

2. ábra

Reakciómechanizmus identifikáció támogatására kidolgozott algoritmus

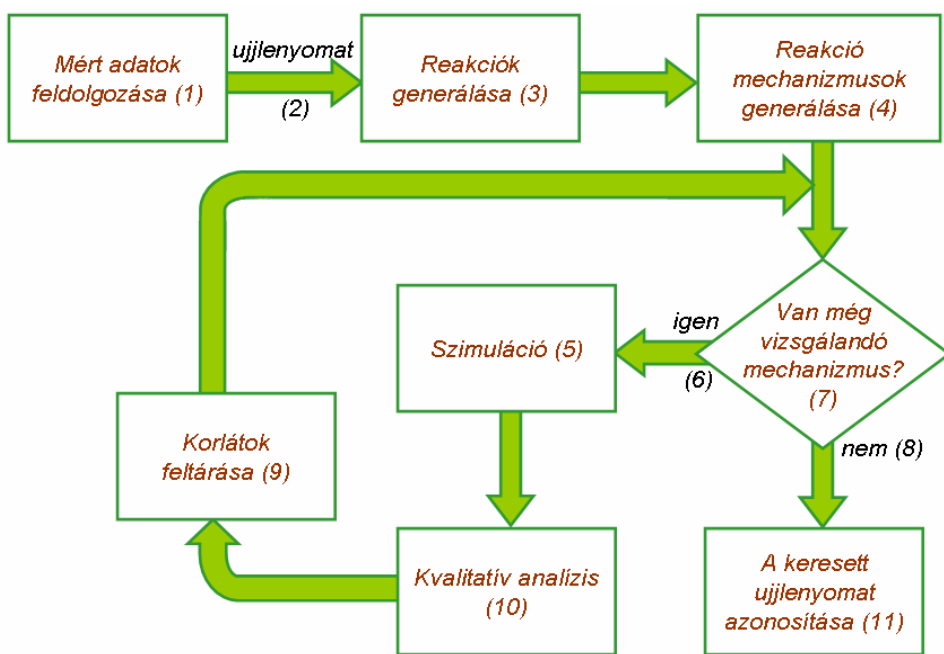


Figure 2: The developed algorithm to support the reaction mechanism identification process

Processing of measured data(1), Fingerprint(2), Generating of reactions(3), Generating of reaction mechanism(4), Simulation(5), Yes(6), Is there any more reaction mechanism?(7), No(8), Determining the constraints(9), Qualitative analysis(10), Identifying the unknown fingerprint (11)

Az első lépés a mért adatok feldolgozása, mely az egyes komponensek koncentrációjának időbeli változását kell tartalmazza. A feldolgozás itt annyit jelent, hogy az egyes idősorokat egyszerű kvalitatív trend analízist alkalmazva primitív epizódok szekvenciájára alakítjuk. Ennek eredményeképpen minden olyan komponenshez, melyhez tartozott mérési adat, egy szekvenciát rendelünk, s ezen szekvenciák együttese adja az adott reakciórendszert jellemző ujjlenyomatot. A reakciómechanizmus identifikáció során, azokat a struktúrákat fogjuk keresni, melyeket ugyanezen ujjlenomattal tudunk jellemezni. Természetesen, ha szükséges a kvalitatív elemzést megelőzheti az adatok szűrése, amennyiben arra szükség van.

A mérési adatok feldolgozását követően a komponenslista összeállítására van szükség, melyben olyan komponensek is szerepelhetnek, melyekhez nem tartozik mérési adat. A komponenslistában szereplő molekulák összegképlete, illetve molekula tömege alapján előállíthatók azon reakciók, melyek lejátszódhatnak a vizsgált rendszerben. Amennyiben az így kapott reakciólistában szereplőreakciók közül a független reakciókat is azonosítjuk, abban az esetben már az elemi reakciólépéseket kapjuk eredményül. A független reakciókat szűrését úgy végezhetjük, hogy az összes olyan reakciót, amit a többi reakció lineáris kombinációjaként előállítható, töröljük a halmazból. Az algoritmus ezen lépésén alapuló programrészlet további programozást igényel, ugyanis a szűrés még nem tökéletes. Az eredmények fejezetben bemutatott esettanulmányban ezért a független reakciók szűrését végző lépését kihagyva ismertetjük az algoritmus további lépéseit.

A következő lépésben a tisztított reakciólista alapján, a kombinatorikus úton lehetséges összes reakciómechanizmust állítjuk elő, természetesen itt is végezhetünk szűrést. Ebben a lépésben elvégzett szűrés lényege az olyan mechanizmusok törlése a listából, amelyekben a mérési adatok feldolgozása során szerzett tapasztalatoknak nem felelnek meg. Ennek lényege, hogy a keresett ujjlenyomatban, azon komponensek, amelyek fogynak, azaz legalább egy reakcióban reagensként vesznek részt, csak olyan reakciómechanizmusok figyelembevételét teszik szükségessé, amelyben ez a komponens legalább egy reakcióban fogy. Természetesen az ujjlenyomatban szereplő, növekvő koncentrációval jellemezhető komponensek esetén is továbbsszűrhetjük a lehetséges reakciómechanizmusokat. Az eredményül kapott reakciómechanizmus listában szereplő struktúrák már minden feltételnek eleget tesznek, s ezek között van az a mechanizmus is, amellyel a vizsgált rendszerben lejátszódó reakciókat jellemezhetjük. A következő lépésben az összes lehetséges reakciómechanizmus alapul véve dinamikus szimulációt végzünk és a szimuláció eredményeként kapott koncentráció trajektóriák kvalitatív elemzésével minden reakciómechanizmushoz egy ujjlenyomatot rendelünk.

A fizikai kísérleteket, melyekből mérési adatok származhatnak, általában egy lombikban végzik, amelybe a reagensek bemérését követően, katalizátor hozzáadásával, vagy anélkül, időnként mintát véve és azt elemezve, követik nyomon a reakciórendszer okozta változásokat. Persze, ennél jóval kifinomultabb megoldások is léteznek, ahol már a reakciók okozta hőmennyiségek detektálása is megtörténik, illetve a nyomás és a hőmérséklet mérésével, már ezen paraméterek hatását is tudják vizsgálni a lejátszódó reakciók sebességére, esetleg a struktúrájára. Esetünkben a legegyszerűbb esetet vettük alapul, azaz egyelőre olyan adatok feldolgozására van csak lehetőség, amelyek egy lombikban, vagy szakaszosan üzemeltetett laboratóriumi reaktorban elvégzett kísérlet során kerültek összegyűjtésre. Szakaszos rendszerről lévén szó, a komponens tömegre felírt mérleg az alábbi módon egyszerűsödik:

$$\frac{dc_i}{dt} = R_i \quad i = \{A; B; C; \dots\}, \quad (1)$$

ahol c_i az i -edik komponens koncentrációját jelöli $[\text{mol}/\text{dm}^3]$; az R_i az i -edik komponensre vonatkozó komponensforrást adja meg $[\text{mol}/\text{dm}^3\text{s}]$; amelyet az alábbi módon számíthatunk:

$$R_i = \sum_{j=1}^n \nu_{ij} \cdot r_j, \quad (2)$$

ahol j jelöli a reakció számát; ν_{ij} az i -edik komponens sztöchiometria állandóját jelöli a j -edik reakcióban $[-]$; míg r_j a j -edik reakció reakciósebességét adja meg $[\text{mol}/\text{dm}^3\text{s}]$, amit az alábbi összefüggéssel számíthatjuk:

$$r_j = k_j \prod_{i \in \{A; B; C; \dots\}} c_i^{n_{ij}}, \quad (3)$$

ahol k_j a j -edik reakció reakciósebességi állandóját jelöli, amely mértékegysége a reakció rendűségétől függ; n_{ij} pedig abban az esetben, ha az i -edik komponens a j -edik reakcióban fogy, akkor az i -edik komponens j -edik reakcióra vonatkozó sztöchiometria tényezőjének abszolút értékével egyezik meg, amennyiben viszont az i -edik komponens nem fogy a j -edik reakcióban, akkor az értéke 0.

A felírt egyszerű dinamikus reaktor modellt MATLAB programcsomagban implementálva lehetővé vált a sztöchiometria mátrix és a reakciók sebességi együtthatóinak ismeretében, a reakciók okozta változások időbeli nyomon követése. Az algoritmus ezen lépésében, a korábban generált lehetséges reakciómechanizmusokat, a reakciósebességi állandókra definiált tartományokban a reaktor modell felhasználásával vizsgáltuk. A számított állapotváltozó trajektóriákat az egyes esetekben primitív epizódokból álló szekvenciákra bontjuk, amely az adott mechanizmust, az adott reakciósebességi állandók esetén jellemzi.

A reakciósebességi állandókra vonatkozó tartományokat, amelyek száma természetesen a mechanizmust alkotó reakciók számával egyezik meg, egyenlő részekre osztva, majd a lehetséges kombinációkat előállítva, a teljes reakciósebességi állandók által definiált térben megvizsgálható az adott reakciómechanizmus. Ennek eredményeképp megkapjuk azt, hogy a vizsgált reakciómechanizmus milyen ujjlenyomattal jellemezhető, köszönhetően az egyes reakciók sebességének egymáshoz való viszonyának. Minden reakciómechanizmus esetén elvégezve ezt a számítást, egy adatbázist kapunk eredményül, melyből kiválogathatók, azon mechanizmusok, melyek a keresett ujjlenyomatot adták eredményül.

Emellett, hogy a mechanizmust alkotó reakciók sebességi állandóinak identifikálását segítsük, minden mechanizmus esetén hozzárendelésre kerül az, hogy a keresett ujjlenyomatot mely reakciósebességi állandókra vonatkozó tartományban eredményezi. Ez azért fontos, ugyanis így a paraméter identifikáció során alkalmazott, korlátos szélsőérték kereső módszer, korlátait tudjuk definiálni. A következőkben egy egyszerű példán keresztül mutatjuk be a fentiekben ismertetett algoritmus lépéseit.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

A következőkben egy egyszerű példán keresztül mutatjuk be az előzőekben ismertetett algoritmus lépéseit. A példa kedvéért tekintsük az etán (A) dehidrogénezését (D), ahol termékként acetilént (C) szeretnénk előállítani, azonban közben etilén (B) is keletkezik. A két említett reakciólépés játszódhat csak le a rendszerben, illetve ezeken kívül a hidrogénezési lépéseket képzelhetjük még itt el, elemi reakciólépésekként. Az

elvégzett kinetikai kísérlet, amely esetünkben most csak egy szimulációs vizsgálat eredménye, látható a 3. ábra baloldalán. A négy komponens tömegének változása látható az idő függvényében. A mérési adatok kvalitatív analizisének eredménye látható a 3. ábra jobb oldalán. Jól látható, hogy míg az etán (A) tömege folyamatosan csökken, ezt az egyetlen epizódból álló szekvencia: 'C'. Ezzel együtt az acetilén (C) és a hidrogén (D) mennyisége folyamatosan nő, amit a szintén egyetlen epizódból álló szekvenciák jelölnek: 'A'.

3. ábra

A mért adatsor és a keresett ujjenyomat

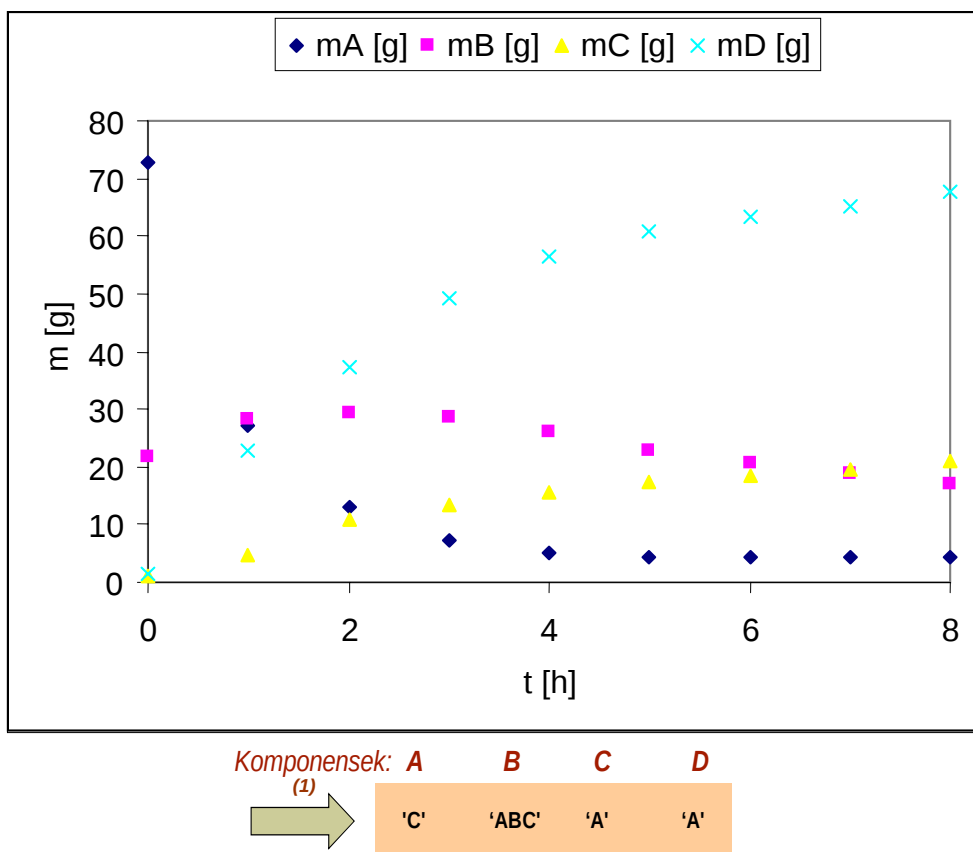


Figure 3: The measured data and the unknown fingerprint

Components(1)

A közbenső lépésben keletkező etilénhez (B) tartozó szekvencia az előzőektől eltérően már összetettebb, köszönhetően annak, hogy a két reakciólépés sebességének aránya az idő előrehaladtával megváltozik és több etilén dehidrogéneződik, mint amennyi keletkezik az etán dehidrogénezésével. A négy komponens tömegének változását leíró

szekvenciák összessége lesz a keresendő ujjlenyomat, s a cél, hogy megtaláljuk azt a mechanizmust, amely ezt az ujjlenyomatot eredményezi.

Az algoritmus következő lépésében azon reakciólépéseket azonosítjuk be, amelyek mind a tömegmérleget, mind az atomok számára felírt mérleget kielégítik. Ahogy az előző fejezetben jeleztük, mivel a független reakciók szűrése még nem tökéletes, így egyelőre az összes, a mérlegek kielégítő reakciót figyelembe vettük, ahogy ez az 1. táblázatban látható. A sorok jelölik a reakciókat, s látható, hogy egyensúlyra vezető reakciókat feltételezve összesen nyolc reakció képzelhető el. Természetesen, ha a lehetséges reakciókat tartalmazó táblázatot, mind mátrix kezeljük és annak rangját meghatározzuk, azt az értéket kapjuk vissza, amit fejezet elején, a rendszer ismertetésénél is meghatároztunk, azaz a mátrixban két egymástól független sor van. Az első és a negyedik sorban lévő reakciók azok, amelyeket keresünk, a többi sorban szereplő reakció ezek lineáris kombinációjával előállítható.

1. táblázat

A lehetséges reakciók

	A (30 g/mol)	B (28 g/mol)	C (26 g/mol)	D (2 g/mol)
r01	-1	1	0	1
r02	-1	0	1	2
r03	-1	2	-1	0
r04	0	-1	1	1
r05	0	1	-1	-1
r06	1	-2	1	0
r07	1	-1	0	-1
r08	1	0	-1	-2

Table 1: The possible reactions

Az algoritmus következő lépésében a reakciólistából lehetséges összes reakciómechanizmust generáljuk le, amely esetünkben maximálisan három reakciólépésből álló mechanizmust feltételezve 1128 darab mechanizmust jelent. Az algoritmus következő lépéseiben a generált mechanizmusok esetén számítjuk ki az egyes komponensekhez tartozó koncentráció változásokat, majd ezek alapján a lehetséges struktúrákat jellemző ujjlenyomatokat.

A 4. ábra két példán keresztül mutatja be az egyes mechanizmusokhoz tartozó ujjlenyomatokat és az ezekhez tartozó reakciósebességi állandókra vonatkozó korlátozásokat, melyeket a reakciók sebességének számítására alkalmazott összefüggések ismeretlen paramétereinek meghatározásánál alkalmazhatunk. A két bemutatott mechanizmus mindössze az utolsó reakcióban különbözik, azonban a hozzájuk tartozó ujjlenyomatok eltérnek egymástól, azaz ily módon beazonosíthatók a reakciórendszerek mögött lévő struktúrák.

A javasolt algoritmus alapján egy eszköz fejlesztése is megkezdődött MATLAB GUI programot alkalmazva. Az eszköz egyelőre magyar és angol nyelven készül, ez persze könnyen bővíthető egyéb nyelvekkel, ha arra szükség lesz (5. ábra).

4. ábra

Két lehetséges reakciómechanizmus összevetése

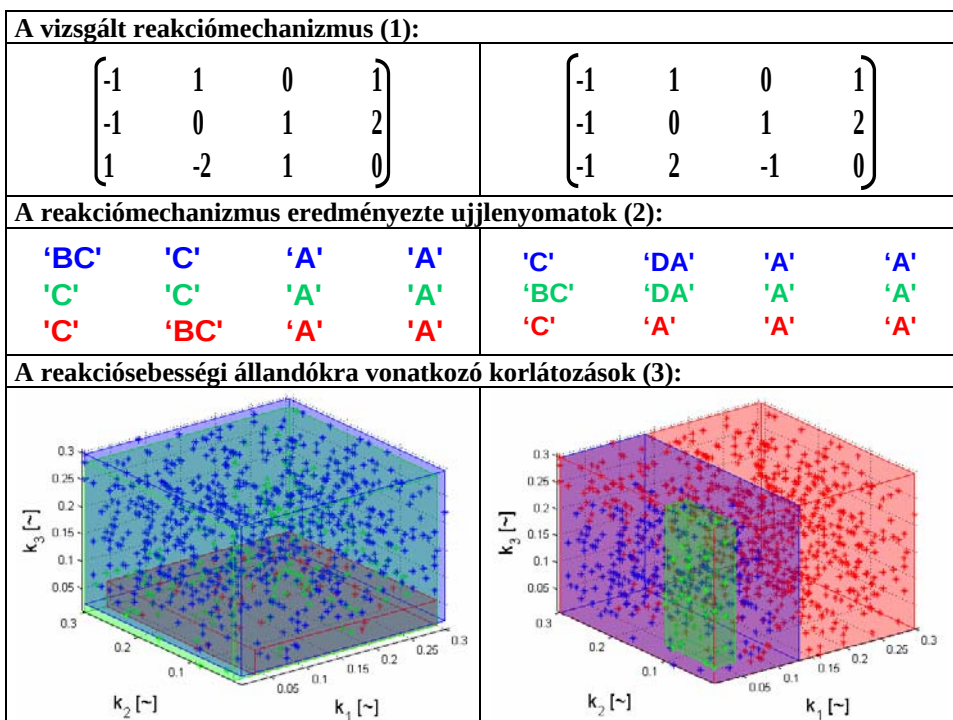


Figure 4: Compare of two possible reaction mechanism

The analyzed reaction mechanism(1), The resulted fingerprints(2), The determined constraints for the reaction rate constants(3)

KÖVETKEZTETÉSEK

Valamely kémiai reakciórendszer mechanizmusán azon elemi folyamatok összességét értjük, amelyek során a kiindulási anyagok a végtermékké alakulnak. A reakciómechanizmus vizsgálatának tehát az a célja, hogy leírja azokat a közbenső állapotokat, amelyek során a rendszer a kezdeti állapotából a végállapotba jut. A kidolgozandó eszköz a szükséges tapasztalatok hiányában nyújthat segítséget a reakciómechanizmusok megismerésében és az egyes elemi reakciók sebességi egyenleteinek definiálásában.

A javasolt reakciómechanizmus identifikációs algoritmus a mért és a számított trajektóriák kvalitatív elemzése alapján végezzük, ugyanis ily módon a kialakuló trendek egyszerűen összehasonlíthatók. A kidolgozott algoritmus alapján megkezdjük az eszköz fejlesztését MATLAB programcsomagban. Azonban, hogy ez minden célunkat megvalósítsa, illetve a független reakciók kiszűrése lépése is megfelelően működjön, további fejlesztő munka elvégzésére van szükség.

5. ábra

A reakciómechanizmus identifikációját támogató eszköz

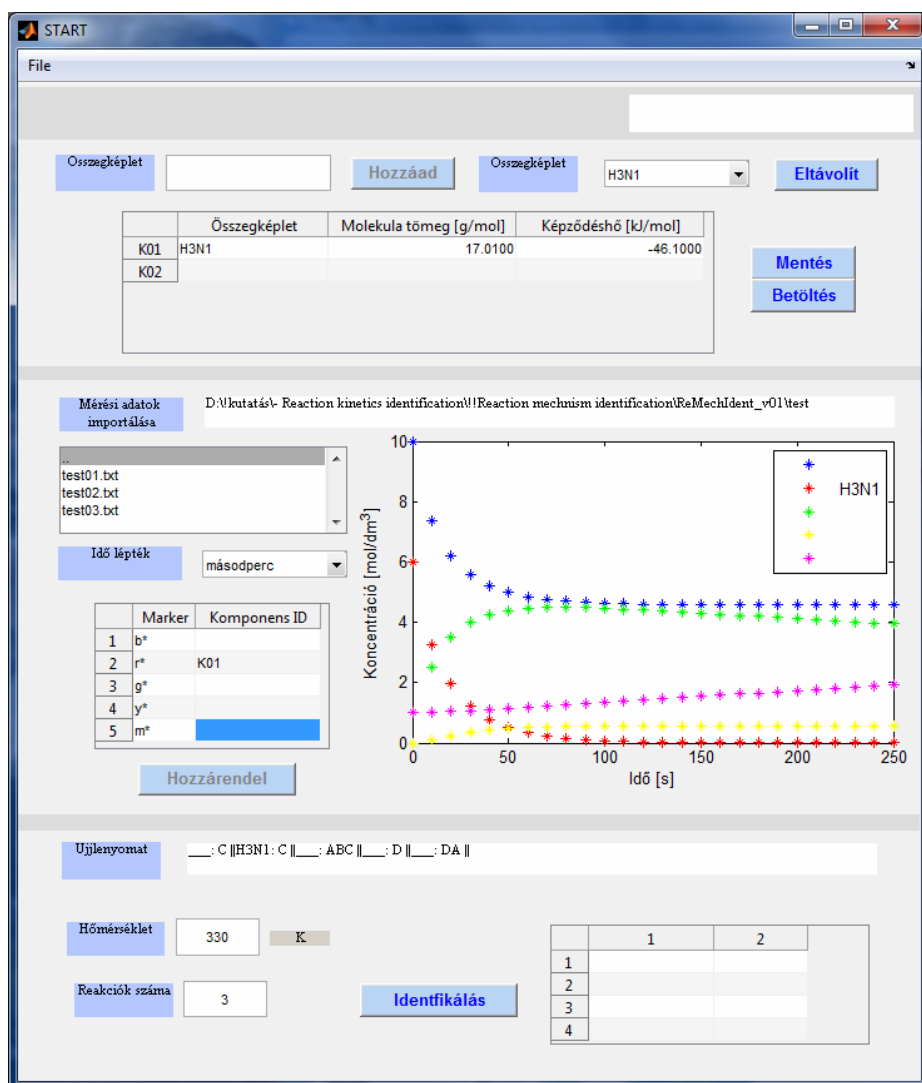


Figure 5: The developed tool to support the reaction mechanism identification process

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondok a TÁMOP-4.2.2-08/1/2008-0018 (Élhetőbb környezet, egészségesebb ember - Bioinnováció és zöldtechnológiák kutatása a Pannon Egyetemen, MK/2) projekt anyagi támogatásáért.

IRODALOM

- Schwetlick, K., (1978): Reakciómechanizmusok kinetikai vizsgálata, Műszaki Könyvkiadó : Budapest. 311. p.
- Turányi, T., (2010): Reakciómechanizmusok vizsgálata, Akadémiai Kiadó : Budapest. 264. p.
- Delvin, S., (2002): Organic Reaction Mechanism, Sarup & Sons : New Delhi. 74. p.
- Grossman, R.B., (2003): The Art of Writing Reasonable Organic Reaction Mechanisms, Springer : New York. 355. p.
- Friess, S.L., Lewis, E.S., (1963): Investigation of Rates and Mechanisms of Reactions, John Wiley & Sons : New York. 880. p.
- Cheung, J.T., Stephanopoulos, G., (1990): Representation of process trends. Part I. A formal representation framework, In: Computers and Chemical Engineering, 14. 495-510. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Tamás Varga

Pannon Egyetem, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék
8200 Veszprém, Egyetem út 10.

*University of Pannonia, Department of Process Engineering
H-8200 Veszprém, Egyetem út 10.*

Tel.: 36-88-624-447, Fax: 36-88-624-171

e-mail: vargat@fmt.uni-pannon.hu



Compartment model structure identification of stirred reactors based on qualitative method

A. Egedy, T. Varga, T. Chován

University of Pannonia, Faculty of Engineering, Department of Process Engineering, H-8200 Veszprém, Egyetem utca 10.

ABSTRACT

Engineering problem solving such as process design, process optimization, safety analysis, etc.; relies widely on mathematical models of the process. To solve complex problems related to mixing detailed models are required such as compartment or computational fluid dynamic models. The compartment modelling based on at least three different types of basic compartments: the mixer, the distributor and the perfectly mixed reactor. Obviously, the compartment set can be expanded with the ideal plug flow reactor. The main modelling tasks using compartment models is to define of the structure of the compartment model, and the parameters of connections between the compartments. Hence, a qualitative approach has been developed to support the identification process. Qualitative methods are widely applied to analyse experimental data and to compress the information content of a time series. The primary goal of this study is to present an algorithm based on qualitative analysis that can be used to identify a compartment model structure based on the results of physical experiments performed in a stirred reactor.

(Keywords: stirred reactor, structure identification, qualitative method, compartment model)

ÖSSZEFOGLALÁS

Kevert tankreaktor cellás modelljének struktúra identifikációja kvalitatív módszerek alkalmazásával

Egedy A., Varga T., Chován T.

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék, 8200 Veszprém, Egyetem utca 10.

A mérnöki problémák megoldása – például tervezés, folyamatoptimalizálás, biztonságtechnikai analízis stb. – nagymértékben függ a folyamat leírására használt matematikai modelltől. A keveréshez kapcsolódó bonyolultabb problémák megoldása esetén összetettebb modellek használata lehet szükséges, ezek legtöbbször a cellás modellek, vagy a numerikus áramlástani modellek. A cellás modellek általában legalább három, vagy több elemi cellatípust tartalmaznak: keverőt, elosztót és tökéletesen kevert üstöt. Emellett az elemi készlet kiegészíthető például ideális csőreaktorral. A fő modellezési feladat cellás modellek esetén a megfelelő cellás struktúra definiálása, valamint a cellák közötti kapcsolatok paramétereinek meghatározása. A kvalitatív megközelítés segítheti a struktúra identifikációt. A kvalitatív módszerek alkalmasak időfüggő mérési adatok feldolgozásával a kevert rendszerek leírására. A dolgozat elsődleges célja, hogy bemutasson egy algoritmust, amely képes kvalitatív módszerek alkalmazásával egy adott valós rendszerre alkalmazható cellás modell struktúrájának meghatározására, kevert üstön végzett fizikai kísérleteket alapul véve.

(Kulcsszavak: kevert reaktor, struktúra identifikáció, kvalitatív módszer, cellás modell)

INTRODUCTION

In modern technologies mixing is one of the most crucial process operations. The stirring system of a mixed tank is always an important aspect of the design, because the involved processes (such as reactions, heat or component transport processes) require proper contact and homogeneity of the existing phases (*Paul et al.*, 2004).

Nowadays there are an increasing number of applications of model based methods in the industry. With a correctly built model there is a possibility to examine the dynamic behaviour of the system as well as the mass, heat and momentum transport processes.

To solve the simplest problems engineers can use simple models to describe a stirred system, such as perfectly mixed, or ideal plug flow reactor model. In the case of a perfectly mixed model the whole vessel is assumed to be homogenous, and models with concentrated parameters can be applied to calculate the trajectories of the state-variables. On the other hand the plug flow reactor models can be applied to calculate the inhomogeneity in a tube reactor; in this case the distributed model parameters need to be defined (*Perry et al.*, 1997).

Solving more complex practical problems Computation Fluid Dynamics (CFD) models can be applied to determine the entire hydrodynamics of the system, to define flow patterns, or concentration distributions, or thermal hotspots. With validated CFD models the system can be examined at a completely new level and engineers can model anomalies such as thermal runaway, and prevent hazardous situations (*Milewska et al.*, 2007). CFD models can also serve as excellent design tools (*COMSOL News*, 2010).

The compartment models can make a connection between the perfectly mixed reactor models, and the more complex CFD models. With better modelling of macro mixing effects, a more complex model can be obtained, and it can describe the real system more accurately.

Compartment models can be used for:

- modelling biological systems (multi impeller fermentors) (*Alves et al.*, 1997);
- modelling aired systems (multiphase) (*Znad et al.*, 2004);
- optimization tasks (cost, or product) (*Penry et al.*, 1986);
- on-line control;
- defining residence time.

Before starting the model buildings the detailed examination of the whole system must be performed. The first step of building a compartment model is to define the number and the type of the compartments. There are several basic points to be investigated at this level of model development:

- type of the impeller (mechanical, pneumatic etc.);
- recirculation loops;
- the investigated system contains injection or not;
- baffles and the flow near the walls;
- phases (gas, liquid, solid – such as fluidized bed, packed reactor, etc.) (*Claudel et al.*, 2003).

There are different compartments based on the velocity field and hydrodynamics. There are four basic types of compartments:

- Perfectly Mixed Reactor: has an exact volume, reaction takes place within; can be modelled with algebraic, and/or differential equations, homogeneous hydrodynamic conditions. It has one input and one output stream;
- Ideal Plug Flow Reactor: similar of the perfectly mixed reactor model, but the hydrodynamic conditions are plug flow. Ideal Plug Flow Reactor can be modelled as a series of perfectly mixed reactors;

- Mixer: does not have volume; the specifications of the outlet stream can be determined using algebraic equations. It has one output and at least two input stream;
- Distributor: does not have a volume; the specifications of the outlet stream can be determined using algebraic equations. It has one input and at least two output streams.

There are a lot of on-going researches in the field of multi impeller systems by using compartment models, because modelling reactions in these systems with CFD is difficult especially in larger systems (Alexopoulos *et al.*, 2002). These models might be more complex, because at least two impeller regions and the connections between each region need to be described. For multi impeller system models more compartments might be needed from two to a few dozen compartments.

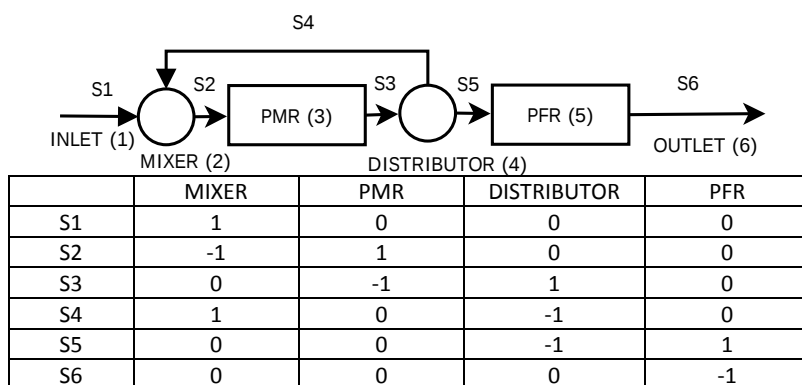
The fermentors are multi impeller systems; and in the design of these systems the most important aspect is the development of optimal oxygen distribution along the system (Alves *et al.*, 1997). There are other important variables to deal with, such as gas and fluid hold-up.

In some of the cases the compartment model may be less complex than CFD model, but both models need validation. To validate these models Doppler anemometry, particle velocimetry or mixing time measurements needs to be performed (Vrabel *et al.*, 1999).

In the field of compartment modelling the model can be described with the number and the type of the compartments and connections - such as circulation, transport, and diffusion - between them. The connections between the compartments can be represented with the incidence matrix. The incidence matrix is a matrix that shows the connection between two compartments, and contains column equal to the number of compartments, and rows equal to the number of stream between them. The incidence matrix describes the structure of a network, all of the connections between compartments in one structure. If a stream does not connect to a compartment the value is zero. If the stream leaves the compartment the value is -1, and if the stream enters the compartment the value is 1. *Figure 1* shows a possible compartment structure with the incidence matrix, which describes the structure of the compartment model; S refers to streams.

Figure 1

A compartment structure and its incidence matrix



1. ábra: Egy cellás struktúra és az azt leíró kapcsolati mátrix

Betáplálás(1), Keverő(2), Tökéletesen kevert üst(3), Elosztó(4), Ideális cső(5), Elvétel(6)

In some cases the compartment model of a stirred system does not have to contain more than two compartments, the impeller zone and the circulation zone. The impeller and the zone near the impeller can be described by using a perfectly mixed reactor model, and at least one other region called circulation loop must be defined. Applying empirical equations the circulation numbers can be determined (Alexopoulos et al., 2002). The circulation numbers describe the rate of circulation between the impeller zone and circulation zones.

Compartment models can also be used in granulation systems, or in pharmaceutical applications (Portillo et al., 2006). Nowadays there are research efforts towards fuzzy solution or possibility theory, and these efforts can support the compartment model approach (Claudel et al., 2003).

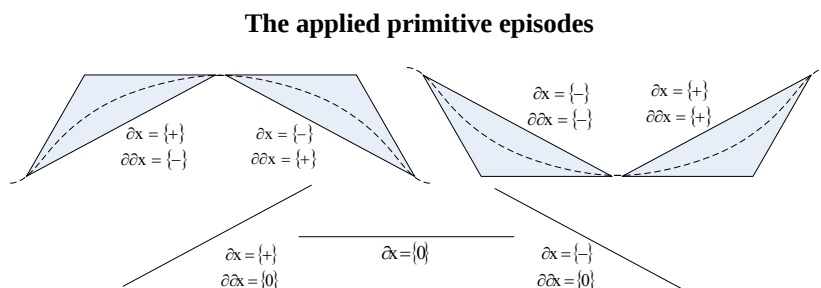
Besides, the compartment models can be used not only in process industries, but in meteorology, or biomass processing (Iliuta et al., 2010). In these fields the application of compartment model is necessary, because the parts in ecological systems are often more complex than in the process industries. But some devices in industrial applications also demand more complex compartment models such as slurry reactors, or bubble columns (Iliuta et al., 2008).

The most difficult task in the field of compartment modelling is to identify the adequate model structure. For solving this problem a qualitative approach can be useful. Qualitative data-intensive methods are widely applied because of their statistical nature, but they always require prior knowledge to analyse the results. Usually prior knowledge is available in the form of qualitative or tendency models of the process. Hence, qualitative analysis of complex systems is an important task at the design of control and process monitoring algorithms. Qualitative models require the interpretable description not only of the historical process data but also the operating regimes of the process (Varga et al., 2008).

The qualitative method in this case refers to the method by which the data have been processed in this study. The method uses first and second derivatives to determine primitive episodes and finally to define a structure based on measurement data (Cheung et al., 1990). By using the recent studies and the proposed algorithm experimental data can be processed and the proper structure can be identified for a further dynamic evaluation. For qualitative analysis seven primitive episodes were used, based on the first and second derivatives of the measured data.

After the derivatives of the experimental data have been computed, the primitive episodes can be used to characterize the changes of the state variables during the experiments according to the shape of the diagram. The seven primitive episodes cover all the combinations of the first and second derivatives. By the shape there are convex, concave, and linear shapes with positive or negative gradient or constant value. Figure 2 shows the primitive episodes used in this study.

Figure 2



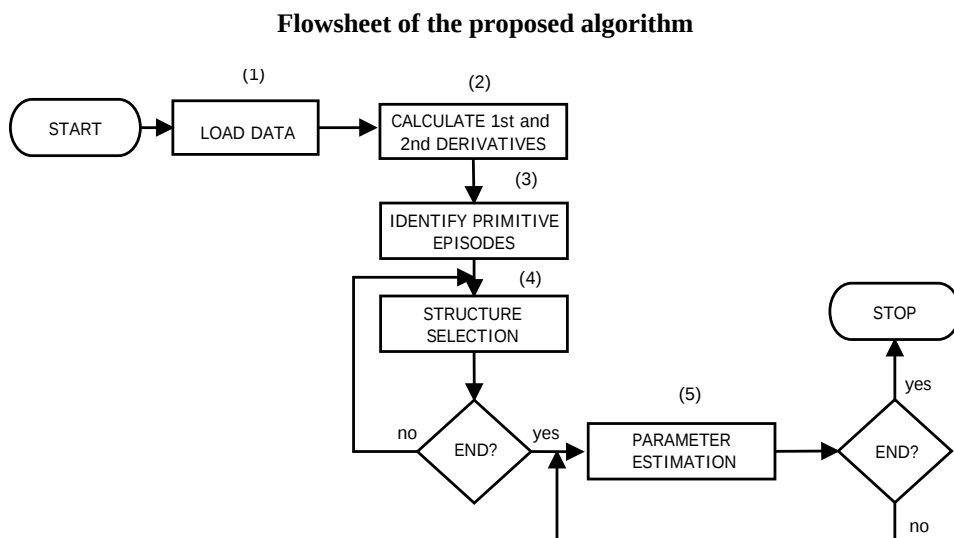
2. ábra: A használt primitív epizódok

The primary goal of this study is to develop an algorithm that is capable of describing a stirred system as a compartment structure. Qualitative methods were used for the identification of the compartment structure; and MATLAB/Simulink was applied for the implementation of the algorithm. The first half of the paper presents the methods and programs, and the second half of this paper shows the results of a case-study.

MATERIAL AND METHOD

The developed algorithm is based on a qualitative method. *Figure 3* shows the flowsheet of the proposed algorithm.

Figure 3



3. ábra: A kidolgozott algoritmus folyamatábrája

Adatok betöltése(1), Első és második derivált számítása(2), Primitív epizódok azonosítása(3), Struktúra kiválasztása(4), Paraméterek becslése(5)

The first step of the algorithm is the processing of experimental data by filtering, and the second step is the analysis of the filtered data by qualitative methods.

To examine the hydrodynamic behaviour of the investigated system test signals must be used. In most of the cases impulse or step functions can be applied as test signals. However there are other signals can be used for studying hydrodynamic behaviour such as PRBS or trigonometric functions. The processed data in this case represents residence time distribution or residence time distribution density, obtained from experimental measurements. The residence time distribution of a chemical reactor is a probability distribution function that describes the amount of time that a fluid element could spend inside the reactor. Chemical engineers use the residence time distribution function to characterize the mixing and flow within reactors and to compare the behaviour of real reactors to ideal models. The residence time distribution function is

useful, not only for troubleshooting existing reactors, but also in estimating the yield of a given reaction and designing future reactors.

The qualitative approach is applied in the next step of the algorithm. The first and second derivatives have to be computed. Based on the derivatives the primitive episodes are assigned to the appropriate time domains. For the identification step the previously mentioned seven primitive episodes have been used. The series of these episodes gives a sequence, that is specific for the structure of the investigated process unit.

The experimental data must be filtered, to avoid the short episodes and to compensate the noise. The filtering coefficient is the minimal length of one episode and must be carefully chosen and has to be lower than the sampling time of the experimental data. After the generation of the sequence based on the measurement data, the next step in the algorithm is to create a database of compartment models that contains all combinations of the applied compartments. These compartments at this stage of the development are:

- perfectly mixed reactor (PMR);
- ideal plug flow reactor (PFR);
- distributor;
- mixer.

Reaction takes place only in the reactor compartments. There are some heuristic rules which can be applied to model the net of the compartments:

- the model must contain at least one reactor compartment;
- the model has to contain equal number of distributors and mixers;
- the ideal plug flow reactor modelled by a series of ten perfectly mixed reactors in the compartment structure.

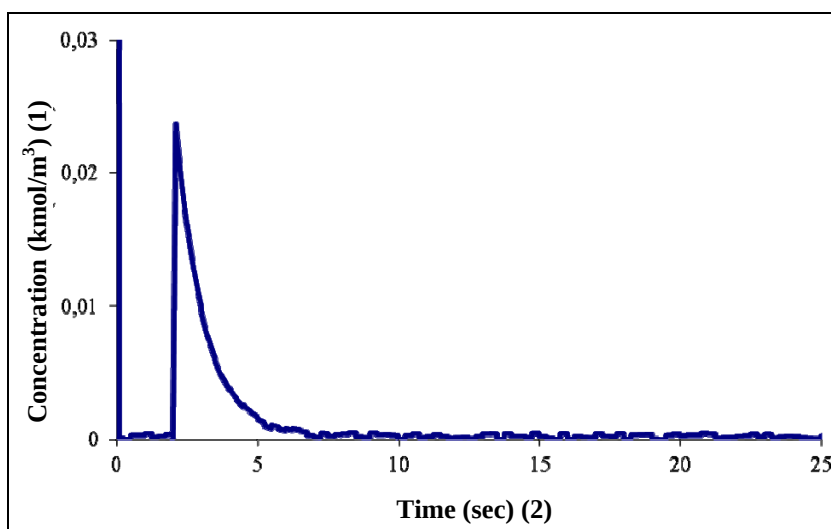
For identification purposes a database has been developed with all possible compartment structures, containing series of PFR-s and PMR-s and parallel reactor structures alike. At this stage of the development the goal is to create the model with the least number of compartments with an acceptable tolerance of error.

The essence of the next step is to define the incidence matrix for the generated structures.

After the construction of the structure database the next step is to determine which model fits the best for the processed experimental data. A dynamic simulation has to be run for every structure in the database, and a qualitative analysis has to be done. After the qualitative step the measured and the simulated sequences have to be compared to find the proper structure. Having the proper structure the model parameters - such as volume of the reactor compartments and circulation ratios - the only information remains to be determined. Hence, in the parameter estimation step two parameters have to be identified: the circulation ratio (α), and the volume ratio of the reactor compartments (β). To find the correct parameters an optimizer algorithm is applied based on the minimization of the difference between experimental and simulated data.

RESULTS AND DISCUSSION

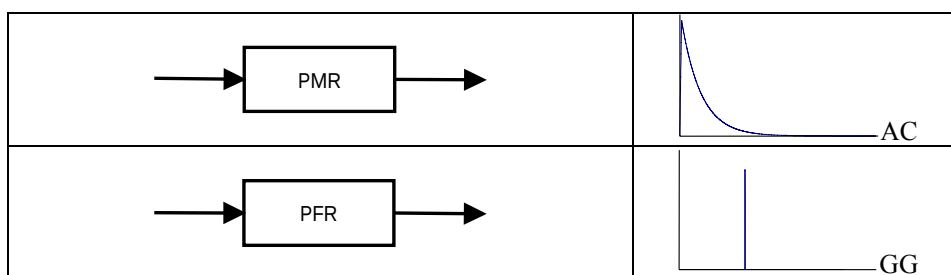
In the case study a perfectly mixed reactor and a consecutive ideal plug flow reactor have been used with one feed-forward stream. *Figure 4* shows the residence time distribution density of the investigated system that was used as measured data. To make the defined data set more realistic some noise was superposed on the data.

Figure 4**The measurement data**

4. ábra: A mérési adatok

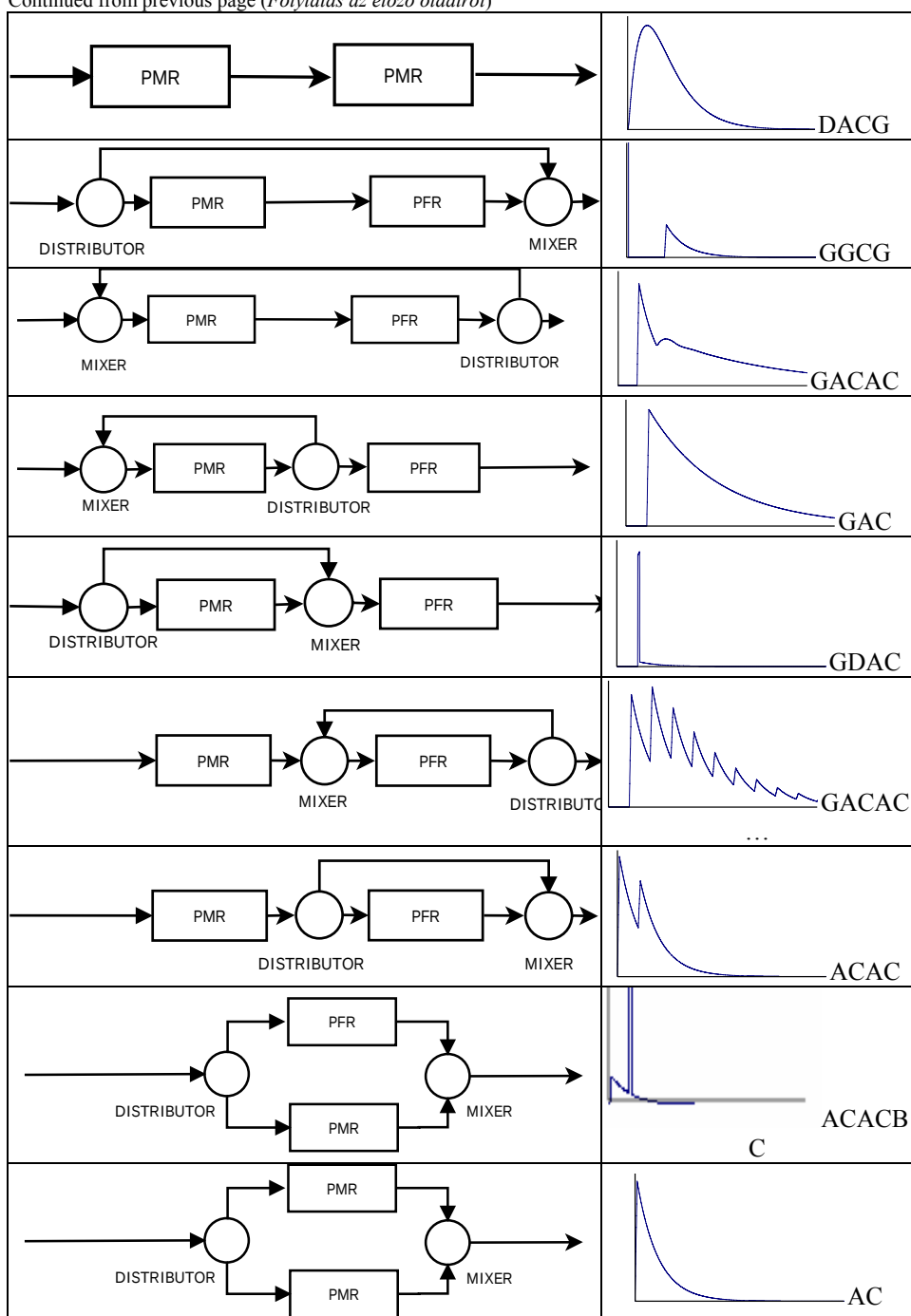
Koncentráció (kmol/m³)(1), Idő (sec)(2)

In this particular case the system have been identified with a combination of 'GGAC'. The letter G may refer three different things. If G is only the last episode of the sequence that means the function has reached the stationary state. If G is the only episode that means there is not any reactor compartment in the system. And if there are more than one G in the sequence that means at least one plug flow reactor compartment has to be built into the structure. The other letters refer, that there are other reactor cells in the system. Figure 5 shows the length of the identified primitive episodes in the order of 'G' 'A' and 'C'.

Figure 5**Structures, residence time distribution functions and identified sequences**

Continued on next page (*Folytatás a következő oldalon*)

Continued from previous page (Folytatás az előző oldalról)



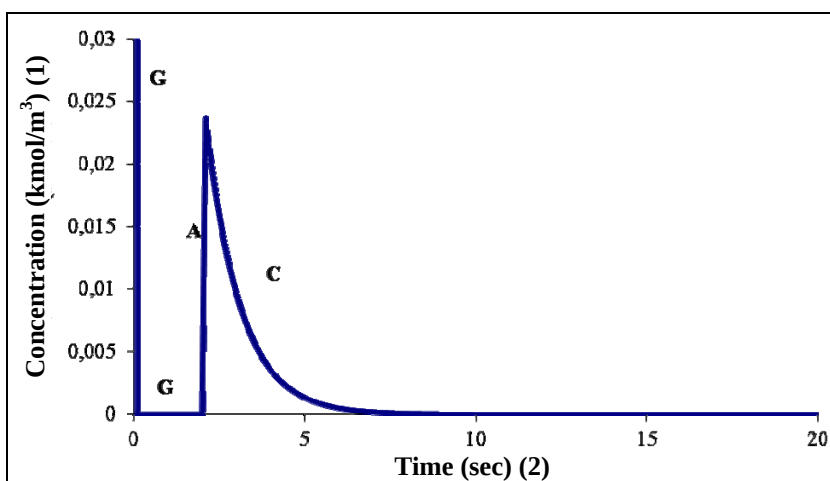
5 ábra: Struktúrák, Dirac deltára adott válaszuk és az azonosított szekvenciák

As it was explained at least two reactor cells are needed to describe the examined system. This will be the lower boundary of the number of the cells. For two cells there are only three combinations if the system has to contain at least one plug flow reactor cell. These combinations are PMR-PFR, or PFR-PMR or a series of two PFR-s. Using four compartments it is possible to describe a system with four consecutive reactor compartments, or to define maximum one circulation loop with two reactor compartments.

The generated structure database contains all of the combinations between the defined boundaries according to the defined limitations. The algorithm at this point examines the combinations, and finds the proper one. *Figure 6* shows the processed data, and *Figure 7* shows the structure of the compartment model.

Figure 6

The filtered data and the identified episodes

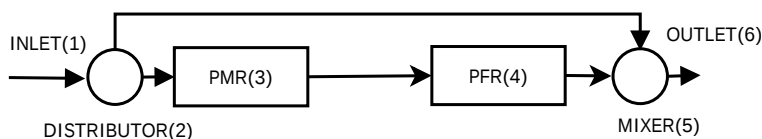


6. ábra: A szűrt adatok és az identifikált primitív epizódok

Koncentráció (kmol/m^3)(1), Idő (sec)(2)

Figure 7

The identified compartment structures



7. ábra: Az identifikált cellás struktúrák

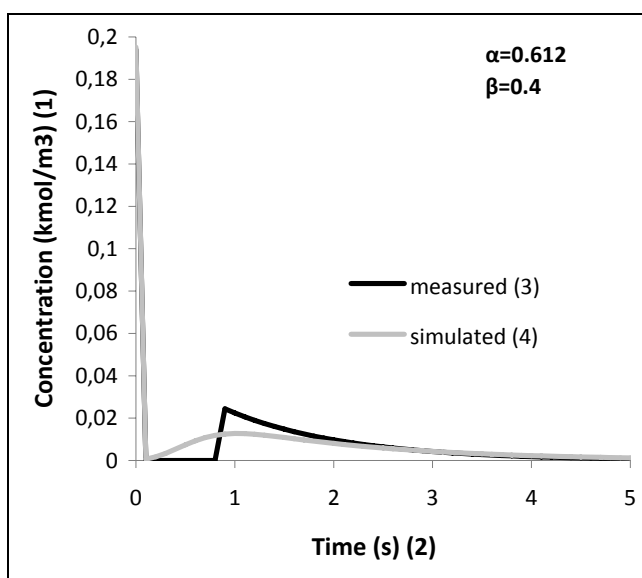
Betáplálás(1), Elosztó(2), Tökéletesen kevert üst (PMR)(3), Ideális cső (PFR)(4), Keverő(5), Elvétel(6)

In this case two structures have been identified. Each structure contains four compartments and in both cases the first compartment is a distributor and the last one is a mixer. The compartments between them have the same response to the impulse function, so swapping them does not conclude any changes in the results.

After the structure selection the parameter estimation step could be done, and the circulation ratio and the volume ratio were identified. *Figure 8* shows the measured data compared to the simulated data and the identified model parameters. There is a difference between the experimental and simulated data, because in the simulation we used ten perfectly mixed reactors for modelling a plug flow compartment instead a time delay.

Figure 8

Comparison of measured and simulated data and the identified parameters



8. ábra: A mért és szimulált adatok összehasonlítása, valamint az identifikált paraméterek (α =cirkulációs arány, β =térfogat arány)

Koncentráció (kmol/m³)(1), Idő (sec)(2), Mért(3), Szimulált(4)

The algorithm found the adequate structures to describe the measurement data, and could identify the proper parameters. The proposed algorithm can be a useful tool to identify compartment structures for optimisation and solving other engineering problems.

CONCLUSIONS

An algorithm was developed in order to determine an adequate compartment structure for an experimental data set. The algorithm is capable of processing time domain data, and identifies a proper compartment structure to describe it. Furthermore, based on the

compartment structure, dynamic simulation can be applied to identify and validate the unknown model parameters of the compartment model. The most important aspect of this study is that a suitable structure identification algorithm was created, and tested. Based on the developed algorithm engineers can make various compartment models which, can be used for on-line control, engineering design and modelling systems at a more detailed level.

In the future the algorithm will be improved to identify more complex structures, and the basic compartment models will be extended to handle more compartment classes such as dead zone.

ACKNOWLEDGEMENTS

The financial support from the TAMOP-4.2.2-08/1/2008-0018 (Livable environment and healthier people – Bio innovation and Green Technology research at the University of Pannonia) project is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- Alexopoulos A.H., Maggioris D., Kiparissides C. (2002): CFD analysis of turbulence non homogeneity in mixing vessel: A two compartment model. In: Chemical Engineering Science, 57. 1735-1752. p.
- Alves S.S., Vascolenos J.M.T., Barata J. (1997): Alternative compartment models of mixing in tall tanks agitated by multi-rushton turbines. In: Institution of Chemical Engineers, 335-338. p.
- Cheung J.T., Stephanopoulos G. (1990): Representation of process trends. Part I. A formal representation framework. In: Computers and Chemical Engineering, 14. 495-510. p.
- Claudel S., Fonteix C., Leclerc J.-P., Lintz H.-G. (2003): Application of the possibility theory to the compartment modelling of flow pattern in industrial processes. In: Chemical Engineering Science, 58. 4005-4016. p.
- COMSOL News (2010)
- Iliuta I., Larachi F., Desvigne D., Anfray J., Dromard N., Schweich D. (2008): Multicompartment hydrodynamic model for slurry bubble columns. In: Chemical Engineering Science, 63. 3379-3399. p.
- Iliuta I., Leclerc A., Larachi F. (2010): Allothermal steam gasification of biomass in cyclic multi-compartment bubbling fluidized-bed gasifier/combustor – New reactor concept. In: Bioresource Technology, 101. 3194–3208. p.
- Milewska A., Molga E.J. (2007): CFD simulation of accidents in industrial batch stirred tank reactors. In: Chemical Engineering Science, 62. 4920-4925. p.
- Paul E.L. (2004): Handbook of industrial mixing science and practice
- Penry D.L., Jumars P.A. (1986): Chemical Reactor Analysis and Optimal Digestion. In: Bioscience, 36. 310-315. p.
- Perry R.H. (1997): Perry's Chemical Engineer's Handbook (7th Edition)
- Portillo P.M., Muzzio F.J., Ierapetirou M.G. (2006): Characterizing powder mixing processes utilizing compartment models, International. In: Journal of Pharmaceutics, 320. 14-22. p.
- Varga T., Szeifert F., Réti J., Abonyi J. (2008): Decision tree based qualitative analysis of operating regimes in industrial production processes. In: Computer Aided Chemical Engineering, 25. 1039-1044. p.

- Vrabel P., van der Lans R.G.J.M., Cui Y.Q., Luyben K.CH.A.M. (1999): Compartment model approach: Mixing in Large Scale Aerated Reactors with Multiple Impellers. In: Trans IChemE, 77. Part A, 291-302. p.
- Znad H., Bale V., Kawase Y. (2004): Modeling and scale up of airlift bioreactor. In: Computers and Chemical Engineering, 28. 2765–2777. p.

Corresponding author (*Levelezési cím*):

Attila Egedy

University of Pannonia, Department of Process Engineering

H-8200 Veszprém, Egyetem út 10.

Pannon Egyetem, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék

8200 Veszprém, Egyetem út 10.

Tel.: 36-88-624-447, Fax: 36-88-624-171

e-mail: egedya@fmt.uni-pannon.hu



Comparison of feedback and feed-forward control strategies on a water heater

L.R. Tóth, L. Nagy, F. Szeifert

University of Pannonia, Faculty of Engineering, Department of Process Engineering, H-8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

ABSTRACT

In this work the control of a water-heating equipment with different control strategies was examined. The water flows through the device, while an electric heater raises its temperature. The outlet temperature is controlled by using the power of the heater as the manipulated variable. Measured disturbances are the flow rate and the inlet temperature. The aim of this work is to compare the abilities of control strategies based on feedback and on feed-forward. Two control strategies were tested, one based on a first principle model, and focusing on feed forward, the other based on black box modeling and focusing on feedback. The first approach was basically a constrained inverse controller, but embedded in an IMC structure, to compensate model errors. The second approach was a programmed adaptation with constrained PI controllers. We found that the feed-forward based controllers significantly outperformed the ones based on feedback. The controller performance was much better in simulation experiments, due to the absence of model error.

(Keywords: IMC, constrained inverse, feed-forward, feedback)

ÖSSZEFOGLALÁS

Előre- és visszacsatoló szabályozási struktúrák összehasonlítása egy vízmelegítő berendezésen

Tóth L.R., Nagy L., Szeifert F.

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet Tanszék, 8200 Veszprém, Egyetem utca 10.

Munkánk során egy vízmelegítő berendezés különböző stratégiákkal történő szabályozását vizsgáltuk. Az víz átfolyik az eszközön, miközben egy elektromos fűtőszál fölmelegíti. A cél a kimenő hőmérséklet kézben tartása, a fűtőszál teljesítményével, mint beavatkozóval. Mért zavarásként érik a rendszert a térfogatáram és a belépő hőmérséklet változásai. A cél a visszacsatoláson és az előreccsatoláson alapuló szabályozási struktúrák összehasonlítása volt. Két szabályozási stratégiát hasonlítottunk össze. Az egyik a priori modellen alapult, és az előreccsatolás volt a hangsúlyos eleme, míg a másik fekete-doboz modellen alapult és a visszacsatoláson volt a hangsúly. Az első megoldás egy korlátos inverz IMC struktúrába ágyazva, hogy a modell-hibát kompenzáljuk. A második megoldásban korlátos PI szabályozót használtunk programozott adaptáció mellett. Úgy találtuk, hogy az előreccsatoláson alapuló szabályozó jelentősen jobb szabályozási minőséget biztosít. Szimulációs vizsgálatok során sokkal jobb volt a szabályozás minősége, mivel nem volt modell-hiba.

(Kulcsszavak: IMC, korlátos inverz, előreccsatolás, visszacsatolás)

INTRODUCTION

In practical applications feedback control is still the most widespread approach. In the early years of automatic control the controller device was a major constraint on the applicable control strategies, but with the rise of computer process control these limitations vanished and new horizons opened for control strategies. Anyway, the experience gained with analog controllers resulted in practice that new devices with old strategies were applied. To exploit the advantages of computer process control, new controller structures and strategies need to be investigated. Yet the other main approach, the feed-forward is still unfamiliar for some control experts, although it has many benefits to exploit.

In this work the control of a water heating equipment is studied. This equipment can be similar to solar collectors, whose control is summarized well in *Camacho et al.* (2007a; 2007b). The modern controllers are usually model based, and the greatest challenge for this object is modeling. It is a distributed parameter system (DPS), described with a partial differential equation. Another issue is nonlinearity. In recent applications the model error is compensated by adaptation, more detailed and new types of models, including fuzzy models. The nonlinearity is compensated by gain scheduling, predictive control and nonlinear compensators. The control problem is also formulated as an optimal control problem, when associated with predictive control.

In the review of *Padhi and Ali* (2009) the control of DPS has been studied. A very important question in this field is the way we can reduce the partial differential equations to a system of ordinary differential equations. The first solution that comes to mind is discretization of space coordinates, but this can be inefficient or computationally intensive. Other ways usually eliminate the spatial coordinates by integration, Laplace or Fourier transformation.

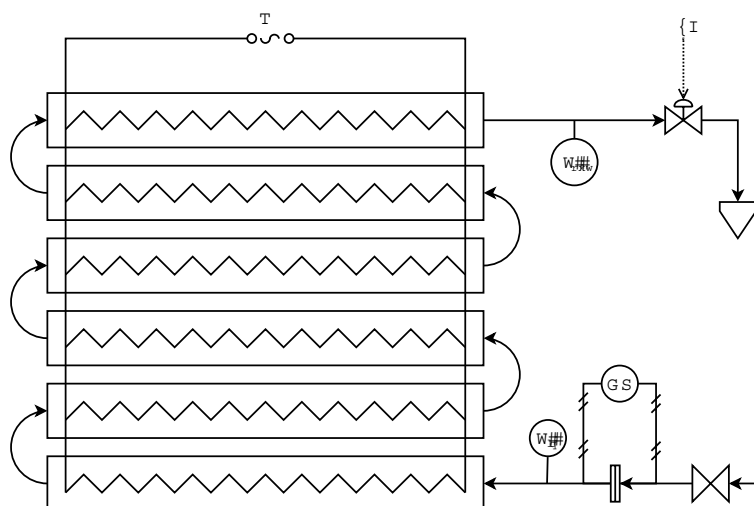
In this article the following section is about the measurement device. The next section introduces modeling and controller synthesis, on basis of first principle models and then based on black box models. The fourth section shows our results in simulation and in physical experiments. The final section summarizes the results and draws conclusions.

The measurement equipment

The main part of the measurement equipment is a tube in which water flows through, and an electric heater raises its temperature (*Figure 1*). The inlet and outlet temperatures are measured by Pt-100 thermometers. The flow rate is measured by an orifice plate, placed on the inlet of the heater tube. The differential pressure is the signal directly obtained from this measurement, but the intelligent measurement device applies digital transformation to the signal. The manipulators on the equipment are the electric power of the heater and a valve for setting flow rate. The power of the heater is driven by a pulse width modulation (PWM) signal. The pneumatic control valve has a slight hysteresis.

The signals, apart from the PWM signal of the electric heater are transferred via Fieldbus H1. The sampling time is 1 second. The interface of the physical system is the Honeywell Experion software. The main control strategy is implemented in Matlab and Simulink that communicates through an OPC server.

The aim of this work is to keep the outlet temperature on a reference signal (controlled variable) by using the power of the heater as manipulator. The flow rate and inlet temperature are measured disturbances. During our measurements the inlet temperature varied only due to disturbances in the pipes of the water supply.

Figure 1**The schematic representation of the measurement equipment.***1. ábra: A mérőeszköz sematikus rajza.***Modeling and controller synthesis**

Two approaches are common in modeling: first principle and black box modeling. In the following subsections these two approaches and the related controller synthesis are introduced.

First principle modeling

First we started our work with building the first-principle model of the process. Only the heat transfer in the liquid phase was analyzed, as our goal is to control the outlet temperature of the liquid flow. Heat transfer towards environment via the pipe wall was neglected, and we only took into account the heat source of the electric heater. It has been assumed that the heat transfer is fast, and thus the whole power of the heater is turned into heat in the liquid flow, no power is retained to heat up the body of the heater itself, or the walls of the equipment. Perfect plug flow of the liquid without axial mixing has been assumed. Perfect mixing of the fluid has been assumed in radial direction, thus the geometric space could be reduced to one dimension, the length. Temperature dependence of the material properties (density and specific heat) have been neglected. The pipe is of the same diameter on its whole length, except some corners, which have been neglected in our model. Following these assumptions the resulting model for an inner point of the system:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{F}{A} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{Q}{V\rho c_p} \quad (1)$$

Where T is the temperature of the liquid ($^{\circ}\text{C}$), F is the volumetric flow rate (m^3/s), A is the area available for the flow (m^2), Q is the power of the heater (W), V is the volume of the equipment between the two thermometers (m^3), ρ is the density of the liquid (kg/m^3), c_p is the specific heat capacity of the liquid ($\text{J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$), t is the time (s), x is the length coordinate (m).

The initial state and the boundary condition are (starting from steady state):

$$T(0, x) = T_{in}(0) + \frac{Q}{V\rho c_p} \frac{Ax}{F} \quad (2)$$

$$T(t, 0) = T_{in}(t) \quad (3)$$

Where $T_{in}(t)$ is the inlet temperature ($^{\circ}\text{C}$), function of time.

This is a distributed parameter system, for which the balance equation is a partial difference equation. For control purposes this is not a convenient form, as mostly concentrated parameter models are used in control applications. An easy way to remove the length coordinate is to integrate the (1) equation along the whole length of the tube:

$$\int_0^L \frac{\partial T}{\partial t} dx = \int_0^L \left(-\frac{F}{A} \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx + \int_0^L \frac{Q}{V\rho c_p} dx \quad (4)$$

With the introduction an average variable we get an ordinary differential equation:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{F}{V}(T_{in} - T_{out}) + \frac{Q}{V\rho c_p} \quad (5)$$

Where we used θ , an average value for the temperature. The definition and its estimation are as follows:

$$\theta = \frac{1}{L} \int_0^L T dx \approx \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (6)$$

Substituting the estimation of θ we get the following from equation (5):

$$\frac{dT_{out}}{dt} = \frac{2F}{V}(T_{in} - T_{out}) + \frac{2Q}{V\rho c_p} - \frac{dT_{in}}{dt} \quad (7)$$

Constrained inverse and IMC

In this model the manipulated variable (Q) directly affects the first derivative of the controlled variable, thus the system is of relative first order. To obtain the constrained inverse (Szeifert *et al.*, 2007) a control specification needs to be set up, preferably of the same order as the relative order of the system:

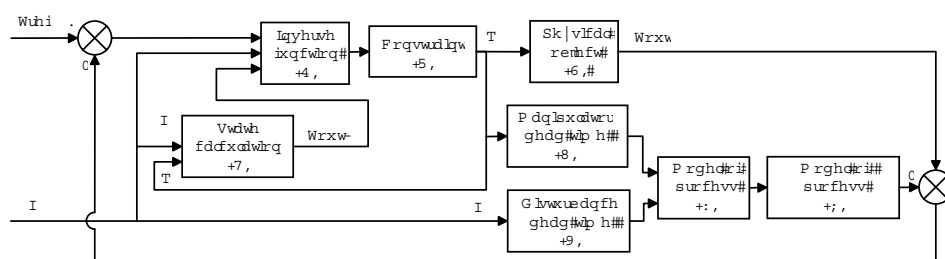
$$\tau_c \frac{dT_{out}}{dt} + T_{out} = T_{ref} \quad (8)$$

If we substitute the derivative from the model equation (7), and rearrange, the result is an algebraic equation for the manipulated variable:

$$Q = \frac{V\rho c_p}{2} \left(\frac{T_{ref} - T_{out}}{\tau_c} + \frac{dT_{in}}{dt} \right) + F\rho c_p(T_{out} - T_{in}) \quad (9)$$

We can see it in this control equation that the last term describes steady state manipulation, and first two terms add the dynamic compensation. The measured disturbances are included, which is clearly a feed-forward element of this strategy. In the formula the value of the outlet temperature is calculated using the model of the system.

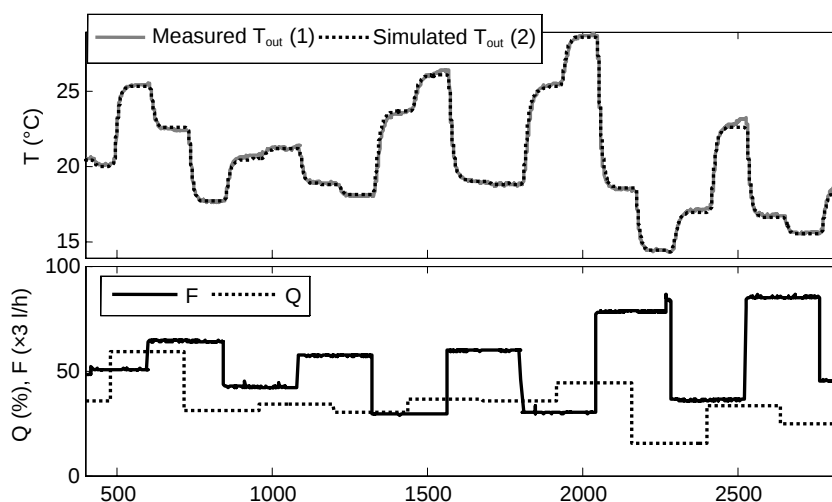
A clearly feed-forward strategy would not ensure the elimination of steady state error. Hence an IMC structure is used for model error compensation. Such a structure is also suitable for dead-time compensation. It must be noted that the measurement devices and manipulators have their own dynamic characteristics, which we have to take into consideration when constructing an IMC structure. The scheme for the controller is illustrated on *Figure 2*.

Figure 2**Schematic of IMC structure with constrained inverse**

2. ábra: Az IMC struktúra sémája

Inverz függvény(1), Korlátozás(2), Fizikai objektum(3), Állapotok számítása(4), Beavatkozó holtidő(5), Zavarás holtidő(6), Az irányított folyamat modellje(7), Hőmérő modellje(8)

As it can be seen on the scheme (Figure 2), measurement devices and manipulators also need to be modeled besides the main process. No further a priori knowledge is available on these, thus black box models are needed. To identify the parameters of the black box models an open loop measurement was carried out (Figure 3). The identified filters are introduced in Table 1.

Figure 3**Measurement for identification of first principle based model.**

3. ábra: Az a priori modell identifikációjára szolgáló mérés

Mért $T_{kilépő}(1)$, Szimulált $T_{kilépő}(2)$

Table 1

Identified black box models of measurements and manipulators

Thermometer (T_{out}) (1)	Heater signal (Q) (2)	Flow rate signal (F) (3)
$G(s) = \frac{1}{9.51s + 1}$	$G(s) = e^{-11.89s}$	$G(s) = e^{-3.50s}$

1. táblázat: A mérő- és beavatkozó eszközök illesztett fekete-doboz modelljei

Hőmérő $T_{ki}(1)$, Fűtőszál beavatkozó jel(2), Térfogatáram jel(3)

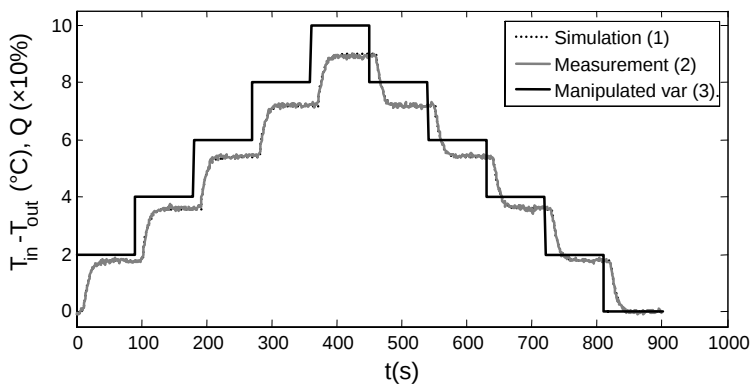
It is notable that the dead time of the manipulator is greater than that of the disturbance. This causes that after a step change in the disturbance the manipulator does not have any effect on the output, with no respect to the controller strategy used.

Black box modeling

The usual approach in control applications is black box modeling. To create a black box model measurement data is needed to identify its parameters (Figure 4). A series of measurements were carried out, in each the heater power, the manipulated variable, changed step by step, while the flow rate was constant. After each measurement a first order time delay model was fitted where the temperature rise (difference of outlet and inlet temperature) was the output and heater power signal was the input. These steps were repeated at other flow rates, and the parameters of the model (gain, time constant, dead time) were collected and plotted on a graph as the function of the flow rate (Figure 5, Table 2). Actually the signal obtained from the orifice plate has been used directly, instead of the calculated flow rate.

Figure 4

Open loop experiment for identification of black box model



4. ábra: Nyitott körű vizsgálat fekete-doboz modell identifikációjához

Szimuláció(1), Mérés(2), Beavatkozó jel(3)

Figure 5

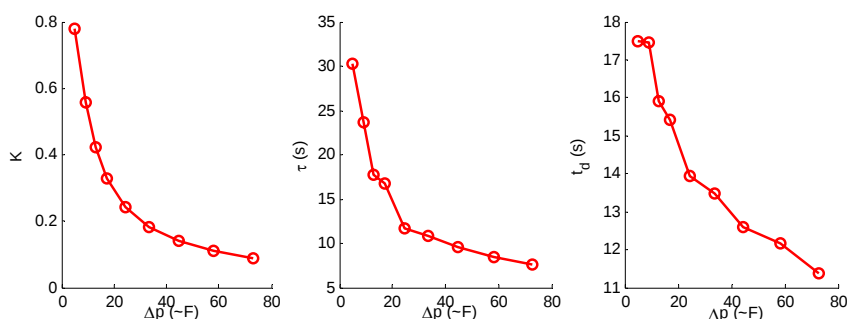
Black box model parameters as functions of Δp 5. ábra: Fekete-doboz modell paramétereinek függése Δp -től

Table 2

Relations of black box model parameters to Δp and calculation of F

$K = 3.36\Delta p^{-0.83}$	$\tau = 71.87\Delta p^{-0.53}$	$t_d = 24.43\Delta p^{-0.17}$	$F = 5.184\Delta p + 15.47$
----------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-----------------------------

2. táblázat: A fekete-doboz modell paramétereinek összefüggése Δp -vel és F számítása

It is clear that there is significant change in the behavior of the system due to flow rate. The gain is almost proportional to the -1 power of Δp , which can be justified on basis of first principle knowledge. The ratio of the minimal and maximal measured values is large enough to justify an adaptation strategy in feedback control.

PI control and programmed adaptation

For feedback control a constrained PI controller (Abonyi *et al.*, 2005) has been used. For the first try its parameters were fixed and calculated with ITAE method using the average of obtained model parameters. The control performance was so poor that no further investigation was needed to say: pure feedback control is unable to handle disturbances in the water heating system.

For the second attempt the parameters of the PI controller were set on-line by ITAE and direct synthesis methods. The measured flow rate has been used for calculating the model parameters on-line, and then PI parameters were calculated.

It may be a question if this concept is feedback or feed-forward. It is a mixture of both: obviously the PI controller is a feedback one, but as the parameters are depending on a measured disturbance, the manipulated variable is able to immediately react to the changes in the disturbance, which is a feed-forward quality.

Case studies

In the following section a set of reference and disturbance signals are applied in simulation and measurements.

Simulation studies

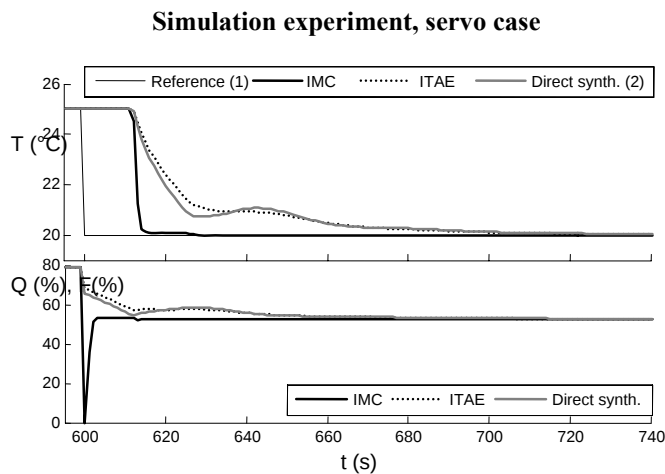
First simulation has been used to test the controller algorithms. The first principle model of the process has been used as controlled object, and a series of reference temperature and flow rate steps were used to evaluate controller performance.

In simulation studies the first principle model based controller has been superior to PI controllers of both tuning methods. This result is not surprising, as exactly the same model has been used as controlled object and reference model. Truly this is a feed-forward control, as no model error is fed back in the IMC structure.

In the servo case experiment the set point changes, while the disturbances remain on their previous values (*Figure 6*). The inverse controller acts faster, because dead time is compensated. The adaptive PI controllers act slower, they do not use the whole available manipulator capacity. Anyway all of them act immediately when the set point is changed. Moreover the PI controller tuned by direct synthesis shows some oscillations before reaching the set point, which is unwelcome characteristic in control.

In regulatory case the flow rate was changing while the set-point was constant (*Figure 7*). After the dead time of the disturbance had passed, the first changes in the controlled variable were the same for all control strategies, as the manipulator has greater dead time than the disturbance. All the controllers acted immediately, as the feed-forward element takes into consideration the measured disturbance. On the other hand the PI controllers had not continued to change the manipulated variable until observable error appeared on the controlled variable. They use the measured value of the output signal that does not belong to the same time as the manipulated variable, instead it is shifted with a dead time. The great difference at the inverse based controller, is that the dead time is compensated, and the effect of the manipulation is instantly observable on the model output, thus there is no time shift between the signals used to calculate the manipulated variable. The consistency of timing reduces the possibility of instability.

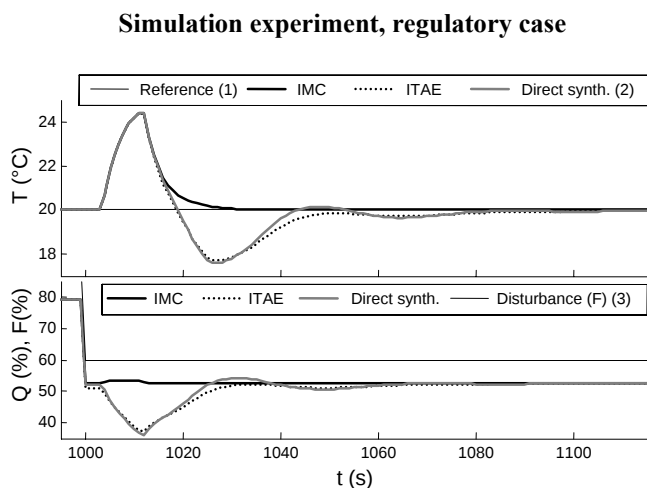
Figure 6



6. ábra: Szimulációs vizsgálat, szervó eset

Alapjel(1), Közvetlen szintézis(2)

Figure 7



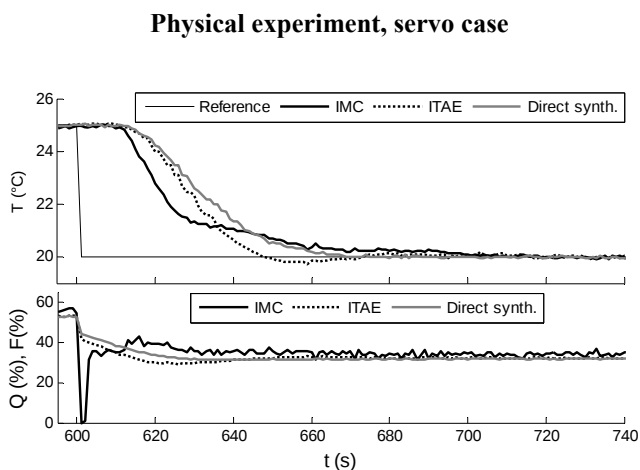
7. ábra: Szimulációs vizsgálat, zajkompenzációs eset

Alapjel(1), Közvetlen szintézis(2), Zavaró jel (3)

Physical measurements

The same reference and disturbance signals were used also in a physical measurement (Figure 8, Figure 9). The simulation predicted most of the observed effects well, but here model error was also present.

Figure 8

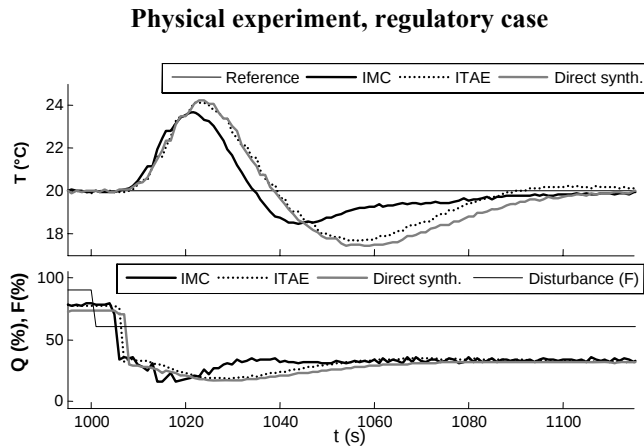


8. ábra: Fizikai vizsgálat, szervó eset

Lásd 6. ábra

The superiority of the inverse-based controller is not clear from the measurements. The set point change case differs from the simulation results. Though the inverse-based controller is still faster at the beginning, it continues to settle slowly. This may be the result of model error and its mild feedback compensation. The PI controllers also seem to be slower than in simulation, with slightly different characteristics. In their case the parameters of the black box model are calculated from the noisy differential pressure signal. This may also result model error, and different PI parameters than the simulation uses. Among the PI controllers the ITAE method is faster, but has a slight overshoot. As it is comparable to the measurement noise, it is negligible.

Figure 9



9. ábra: Fizikai vizsgálat, zajkompenzációs eset

Lásd 7. ábra

The regulatory case for PI controllers resembles to the simulation, with generally slower settling, and smaller oscillations. The difference in the inverse-based controller is significant, because there are two oscillations: the first is due to the dead time differences mentioned above, the second is due to model error and its compensation. The controlled variable settles in about the same time, as in the case of PI controllers, but with smaller peaks of swinging. The main advantage seems to be the dead time compensation of this strategy.

CONCLUSIONS

We have seen the modeling and controller synthesis for water heating laboratory device. The two approaches used both had feedback and feed forward elements, as pure feedback had too poor control performance. The programmed adaptation PI controllers focus on feedback, and the feed forward is hidden in the PI parameter calculations. The IMC structure containing a constrained inverse focuses on feed forward, and there is only mild feedback in the model error compensation.

Using measured disturbance signal in the calculation of the manipulated variable improves controller performance. Utilizing correct a priori information in the synthesis of the controller also improves the final performance. The first principle and the black

box models are both vulnerable to latency and noise of measurements. A first principle model also needs to have some degrees of freedom by it can be fitted on measurement data. The structure of the model needs to be chosen carefully, as a well fitted model can be misleading, if its structure is not appropriate. In our case a multiple input system was simplified to a SISO system by the black box model.

The main advantage of the IMC structure was the dead time compensation. This is clear when simulation prevents model error, but in the measurements the model errors, especially dead time mismatch, significantly decreases the performance of the inverse-based controller. The feed forward by the inverse function makes the system to behave as it is prescribed, but model error flaws this strategy, as the feedback compensation is not in focus.

To summarize this work and draw conclusions we can state that any of the control strategies that used feed forward outperformed the pure feedback of the fixed parameter PI controller. Besides the three studied controllers the inverse-based IMC has proven to be the most pleasing. It should be noted that measurement studies show the real performance, and simulation studies usually show better performance.

ACKNOWLEDGEMENT

The financial support from the TAMOP-4.2.2-08/1/2008-0018 (Livable environment and healthier people – Bioinnovation and Green Technology research at the University of Pannonia) project is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- Abonyi J., Chován T., Nagy L., Szeifert F. (2005): Constrained PI(D) algorithms (C-PID). In: Hungarian Journal of Industrial Chemistry, 35. 47-55. p.
- Camacho E.F., Rubio F.R., Berenguel M., Valenzuela L. (2007a): A survey on control schemes for distributed solar collector fields. Part I: Modeling and basic control approaches. In: Solar Energy, 81. 1240-1251. p.
- Camacho E.F., Rubio F.R., Berenguel M., Valenzuela L. (2007b): A survey on control schemes for distributed solar collector fields. Part II: Advanced control approaches. In: Solar Energy. 81. 1252-1272. p.
- Padhi R., Ali S.F. (2009): An account of chronological developments in control of distributed parameter systems. In: Annual Reviews in Control, 33. 59-68. p.
- Szeifert F., Chován T., Nagy L. (2007): Control structures based on constrained inverses. In: Hungarian Journal of Industrial Chemistry, 35. 47-55. p.

Corresponding author (*Levelezési cím*):

László Richárd Tóth

University of Pannonia, Department of Process Engineering

H-8200 Veszprém, Egyetem út 10.

Pannon Egyetem, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék

8200 Veszprém, Egyetem út 10.

Tel.: 36-88-624-295, Fax: 36-88-624-171

e-mail: tothl@fmt.uni-pannon.hu



Szakaszos gyártócella szimulációja

Balaton M.G., Nagy L., Szeifert F.

Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék, 8200 Veszprém, Egyetem út 10.

ÖSSZEFOGLALÁS

A Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék laboratóriumában működik egy 50 literes zománcozott reaktorra épülő gyártócella, melynek felújítása során új, monofluidos hűtő-fűtő rendszert alakítottunk ki. Ezen cikk célja a gyártócella monofluidos hőellátó és szakaszos reaktor részét leképező dinamikus szimulátor elkészítésének bemutatása, valamint a szimulációs szoftverben a munka során tapasztalt korlátok ismertetése. A szimulátor elkészítésekor a fizikai rendszeren végzett mérések minél jobb közelítése volt a cél. A szimulátor az AspenTech HYSYS® programján alapuló Honeywell UniSim™ Design szimulációs programmal készült.

(Kulcsszavak: : batch, monofluid, UniSim design, reaktor szimulátor)

ABSTRACT

Simulation of a batch unit

M.G. Balaton, L. Nagy, F. Szeifert

University of Pannonia, Faculty of Engineering, Department of Process Engineering, H-8200 Veszprém, Egyetem út 10.

In the Department of Process Engineering University of Pannonia (Hungary) a 50 liter stirred batch reactor with a monofluid jacket heating-cooling including three temperatures can be found. The aim of this paper to present the process creating the dynamic simulator of the jacketed batch reactor and its monofluid termoblock. The limits of the simulation software experienced during our work are also presented. The objective of our project is to create a simulator that produces nearly the same measured values as the real system. The simulator was created with the AspenTech HYSYS® based UniSim™ Design (Honeywell).

(Keywords: batch, monofluid, UniSim Design, dynamic, reactor simulator)

BEVEZETÉS

A vegyipar egyes területein, ahol a nagy folyamatos technológiákhoz képest sokféle és kis mennyiségű terméket állítanak elő, túlnyomórészt szakaszos technológiákat alkalmaznak, mint például a gyógyszeriparban (Molnár és Nagy, 1991), finomvegyszer gyártásban, stb.. Ezen technológiák esetében nagyon fontos a receptben előírt hőmérsékletek pontos tartása, és a reaktorban egyenletes hőmérséklet eloszlás biztosítása. Szakaszos technológiák esetében a reaktorok köpenyen keresztüli hűtése illetve fűtése sokféleképpen megvalósítható. Az iparban még mindig a legelterjedtebb a változó közegű, azaz multifluid köpeny hűtés-fűtés (több mint 90%), amely esetében két vagy három különböző közeg végzi a hűtést illetve a fűtést (CHINOIN Gyógyszer és Vegyszeti Termékek Gyára Rt., 1995; Louleh, 1996; Louleh, 1999). Ebben az esetben a szabályozás feladata a megfelelő közeg és annak a mennyiségének beállítása.

A szakaszos technológiai rendszert alkalmazó üzemek egyre inkább áttérnek a multipurpose, azaz többcélú üzemek építésére. Ha több reaktor van egymás környezetében, akkor gazdaságosabb egy központi hő ellátó rendszert megépíteni.

Egy másik megoldás az új monofluidos köpeny hűtés-fűtés, amelynél azonos, de különböző hőmérsékletű közegekkel lehet végezni a reaktor köpenyének hőmérséklet-szabályozását. Ebben az esetben mind a fűtés, mind a hűtés is közvetlen (direkt), és a rendszer egy közeget tartalmaz (ezért monofluid), de különböző hőmérsékleten, amelyeknek az előállítása a reaktor környezetében történik, tehát nem külső hálózatról érkezik a hőenergia. A megfelelő hőközlő folyadék megválasztása esetén a hőmérséklet-tartomány akár $-30 - 360\text{ }^{\circ}\text{C}$ is lehet.

A monofluidos köpeny hűtés-fűtés előnyei közé tartozik, hogy egyenletes hőmérséklet eloszlást lehet biztosítani a köpenyben, így elkerülhetőek a nem kívánt mellékreakciók és a reaktorelfutás. A legtöbb esetben a köpeny egy recirkulációs körrel rendelkezik, aminek következményeként egyenletes a hőmérséklet változása is, azaz nem jelentkeznek hősokk illetve lokális túlmelegedési (hot spot) problémák. A monofluidos rendszer emellett gyors reagálása és kisebb a karbantartási igénye, mivel azonos közegek esetén kevesebb korróziós termék keletkezik, mint például gőz és hűtővíz esetén.

A 1. ábrán a tanszéki rendszerrel megegyező köpenykapcsolást lehet látni, amely három különböző hőmérsékletű közeget tartalmaz.

1. ábra

Monofluidos hűtő-fűtő rendszer

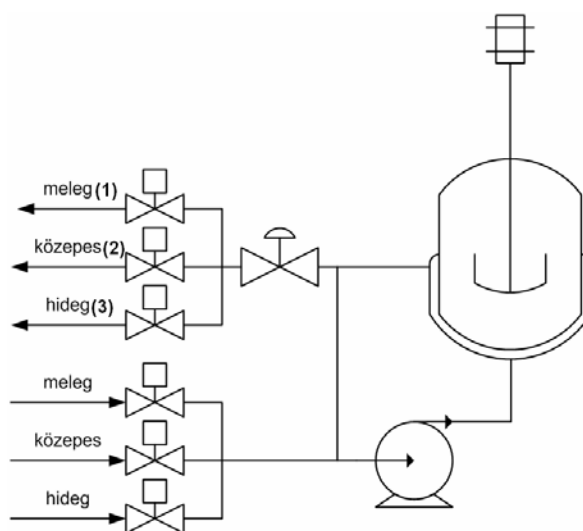


Figure 1: Monofluid heating-cooling system

High temperature level(1), Medium temperature level(2), Low temperature level(3)

A 2. ábrán látható a tanszéken működő monofluidos köpeny hűtés-fűtés, amely három különböző hőmérséklet előállítására alkalmas körrel rendelkezik. Egyszerre csak egy tartály folyadékát vezethetjük a köpenybe, amit gömbcsapokkal lehet megválasztani. Ha

a kilépő oldalon a köpenyből távozó folyadékot a hőmérsékletéhez a legközelebb eső tartályba vezethetjük vissza, akkor így csökkenthetjük a tartályok hőmérsékleteinek nem kívánt változásait, illetve gazdaságosabbá tehető a rendszer.

2. ábra

Szakaszos reaktor és a monofluidos termoblokk

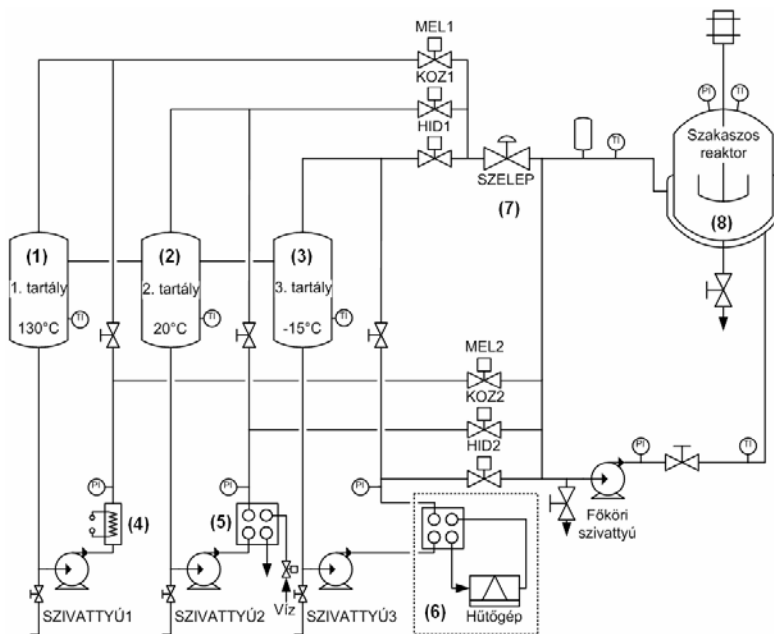


Figure 2: The batch reactor and the monofluid thermoblock

High temperature level puffer tank(1), Medium temperature level puffer tank(2), Low temperature level puffer tank(3), Electric heater(4), Tap water cooled heat exchanger(5), Refrigerator(6), Control valve(7), Batch reactor(8)

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az UniSim™ Design szimulációs program az AspenTech HYSYS® programjának továbbfejlesztésével jött létre, és 2005-ben adta ki az első szériát a Honeywell. A programcsomag stacioner és dinamikus szimulációt is egyaránt lehetővé tesz. A program segítséget nyújthat tervezési, üzemeltetési és optimalizálási feladatok megoldásában, illetve a vegyipar különböző területein a beruházások gazdaságosságának vizsgálatakor.

A vegyipari üzemek ritkán működnek stacioner üzemben, ami a külső és belső zavarásoknak együttes következménye, mint például a környezeti hatások, hőcserélők elkoszolódása, katalizátor aktivitáscsökkenés, stb. Ebből kifolyóan a kémiai technológiai objektumok tranziens állapotainak vizsgálatára dinamikus szimulációs eszközökre van szükség, mint amilyen az UniSim™ Design programcsomag is (Edwards, 2001).

A szimuláció alapját differenciál egyenletek diszkrét időintervallumokban történő numerikus megoldása adja. Minél kisebbek az időintervallumok, annál közelebb kerülünk

az analitikus megoldáshoz, viszont ez növeli a számíthatáshoz szükséges időt. Az UniSim™ Design koncentrált paraméterű modelleket használ, mivel az osztott paraméterű modellek megoldásához több idő és számítási igény szükséges. A tulajdonságok hely szerinti változását más módon számolja, a térfogattal rendelkező egységeket több kisebb részre osztja, és az egyes hold up-ok modelljeit koncentrált paraméterűként megoldva a teljes egységre megkapjuk az adott tulajdonság hely szerinti változását.

Az UniSim™ Design dinamikus megoldója szimultán és nyomásvezérelt. Alapvetően kétféle modellt különböztetünk meg, az ellenálláson és a térfogatmérlegen alapulókat. Az ellenálláson alapuló esetében egy összefüggés határozza meg a nyomás hold up-ok ki- és belépő áramainak nyomásviszonyait. A második típusú modellek esetében a térfogatmérleg határozza meg a nyomás hold up-ok ki- és belépő áramainak mennyiségét.

„Egy modell, számos felhasználás”. Ez azt jelenti, hogy az adott eljárásról elég egy modellt létrehozni, amit a tervezés különböző fázisain fel lehet használni. Tervezési fázis alatt segítséget nyújthat a tervezés elvi kérdéseiben, a tényleges eljárásstervezésben, részletes mérnöki tervezésben és végül a működőképességi vizsgálatokban. A technológia felépítése után ugyanazt a modellt fel lehet használni az üzemeltetés hatékonyságának növelésére, az operátorok tréningjére, biztonságtechnikai vizsgálatokra és a technológia optimalizálásra. Mindemellett az UniSim™ Design megfelelő környezetet biztosíthat a vegyipar különböző területein jelentkező modellezési feladatok esetében is.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

A vegyiparban már bevált szokás meglévő technológiák leképzése szimulációs programokkal, azzal a céllal, hogy operátorok betanítását végezzék, üzemzavarok elhárítását, az üzem indítását, leállítását gyakorolják (OTS – Operator Training Simulation), a valós rendszeren nehezen kivitelezhető mérést, üzemeltetési módot próbáljanak ki (biztonságtechnika), illetve a telepítés előtt új szabályozókat, szabályozási struktúrákat teszteljenek. A tanszéken is hasonló céllal készül a szakaszos gyártócella dinamikus szimulátora, mivel így lehetőség nyílik a valós rendszertől függetlenül szabályozási struktúrák tesztelésére, illetve az OTS-ekhez hasonlóan, hallgatói laborok során oktatási célra is fel lehet használni az elkészült szimulátort. A szimulátor folyamatirányító szoftverekkel OPC (OLE for process control) kapcsolaton keresztül történő összekötéshez az UniSim™ Design helyett a célnak megfelelő UniSim™ Operations programcsomag szükséges.

A különböző reaktormegoldások bemutatása

A vegyiparban eddig elsősorban folyamatos technológiák szimulátorát készítették el. Szakaszos technológiák dinamikus leképzése esetén a szimulációs programok korlátokkal rendelkeznek. Ilyen korlátba ütköztünk a köpenyes reaktor esetén is, mivel az UniSim™ Design programban nincs pontosan erre a célra alkalmazható modell. Ezért közelítő megoldást kellett alkalmaznunk.

Az UniSim™ Design beépített modelljeivel a szakaszos gyártócella folyamatos, monofluidos része problémák nélkül létrehozható volt. A valós rendszer összes rendelkezésre álló adatát figyelembe véve készítettük el a szimulátort. A teljes rendszer, azaz a reaktor és a monofluidos köpeny hűtés-fűtés egyszerűsített PFD ábrája a 3. ábrán látható.

1. megoldás: Benyúló csőköteges szeparátor

Első megoldásként a köpenyes reaktort az UniSim™ Design egyik beépített modelljének átalakításával, a benyúló csőköteges szeparátorral közelítettem. A reaktor oldalt modellezi

a szeparátor, a köpeny oldalt pedig a benyúló csőköteg. A szeparátor lehetőséget ad reakció megadására is, de ez nem feltétel, tehát a tökéletesen kevert reaktorral szemben ezzel a modellel végezhetőek hőtani vizsgálatok reakció megadása nélkül is.

A benyúló csőköteg azért közelíti jól a reaktor köpenyét, mert a modell nem tartalmaz olyan paramétert, ami egyértelműen definiálná a hőátadó szerkezet alakját. Tehát ezzel a modellel köpeny is definiálható.

A megadható paraméterek a csőköteg esetén a következők:

- térfogat,
- hőátadási tényező a fal mindkét oldalára, folyadékra és gőzre egyaránt,
- hőátadási felület,
- a hőátadó felület magassága,
- a fal tömege,
- a fal fajhője,
- a fal anyagára jellemző faktor.

A reaktorkialakítás PFD ábrája a 4. ábrán látható, ahol megfigyelhető a reaktor mellett a köpenyhez tartozó recirkulációs kör is. A kört alkotó csőszakaszok modellezésére is szükség volt, mivel összterfogatuk összemérhető a köpeny térfogatával.

3. ábra

A monofluidos termoblokk és a reaktor egyszerűsített PFD ábrája

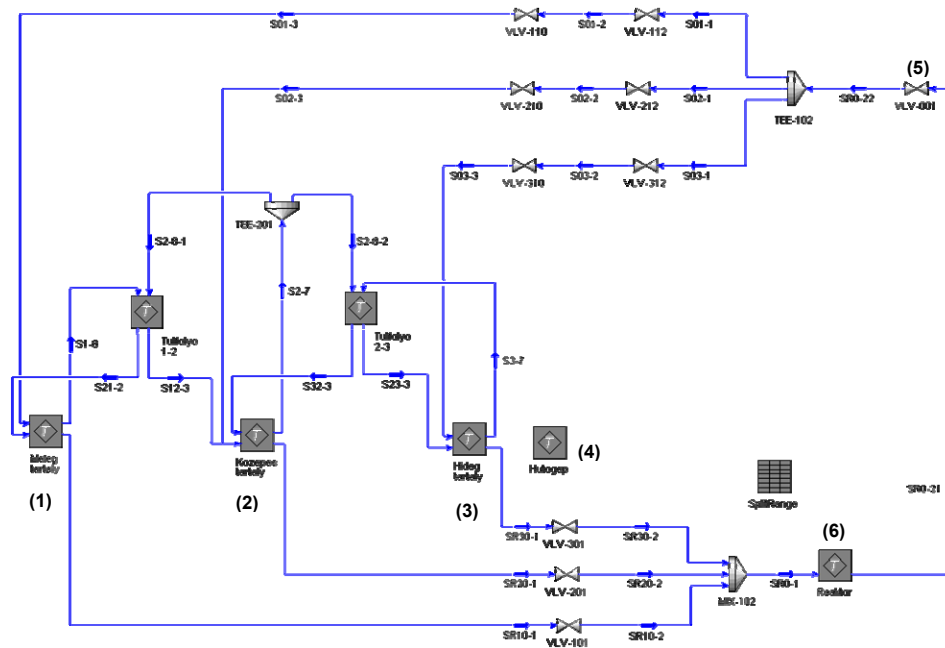


Figure 3: The simplified flowsheet of the batch reactor and the monofluid thermoblock in UniSim™ Design

High temperature loop(1), Medium temperature loop(2), Low temperature loop(3) Refrigerator(4), Control valve(5), Batch reactor(6)

4. ábra

A benyúló csőköteges reaktorkialakítás

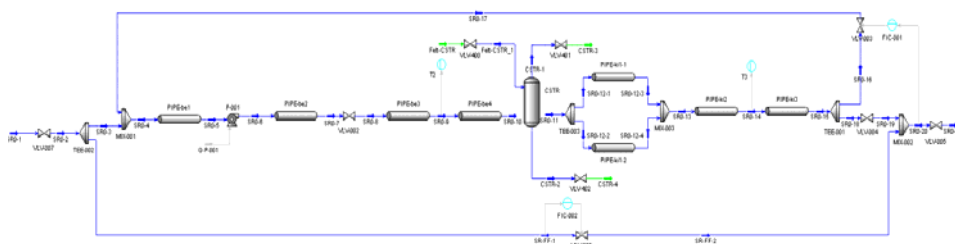


Figure 4: The reactor configuration using the separator with tube bundle module

Ezzel a reaktorkialakítással végzett szimuláció eredményét az 5. ábrán lehet látni. A szimuláció célja, hogy szimulátor paramétereinek állításával minél jobban meg tudjam közelíteni a valós rendszeren végzett mérés eredményeit. Jól látható, hogy ez a modell a felmelegítési szakaszon jól követi a reaktor hőmérsékletét, viszont a hűtési szakaszon nagyon pontatlan.

2. megoldás: Reaktor és hőcserélő kombinációja

A köpenyes reaktort egy tökéletesen kevert üstreaktorral és egy 1-1 átfutású hőcserélővel (köpeny) helyettesítettük, ahol a tökéletesen kevert üstreaktor falon átadott hő a hőcserélő csőoldali hőáramával tettük egyenlővé. A hőcserélő csőoldali anyagáramának belépő hőmérsékletét minden pillanatban a tökéletesen kevert reaktor pillanatnyi hőmérsékletével írtuk felül. A csőoldalon áramló közeg tömegáramát a keverő fordulatszámának függvényében változtattuk (*Balaton, 2009*). Az összekötést az UniSim™ Design egy rugalmas moduljával végeztük („Spreadsheet”), amely lehetőséget biztosít a szimulátorban szereplő bármelyik változó beolvasására, valamint a felhasználó által módosítható változók írására. Felülete nagyban hasonlít a Microsoft Excel felépítéséhez, alaphelyzetben négyszer tíz cellából áll, amelyek között cellahivatkozásokkal számítások végezhetőek. Lehetőség van a könnyebb áttekinthetőség szempontjából a változók mértékegységeinek megadására is. Az UniSim™ Design kezelőfelületét a 6. ábrán lehet látni, ahol a bal felső részben a „Spreadsheet” modul, a bal alsó részbe egy modell paraméterezésének ablaka, jobb oldalt a rendelkezésre álló modellek eszköztára, valamint a háttérben a PFD részlete található.

Első megközelítésre egy egyszerű egyenletet használtunk az átadott hő számítására, amely megegyezik a program beépített hőcserélőmodelljével, amely esetén a hőátzármaztatási tényező megadásával, a logaritmikus átlagos hőmérséklet, illetve a töltettömeg és a köpenybe be- és kilépő folyadékáramok mennyiségének felhasználásával számítható az átszármaztatott hő. Dinamikus szimulátorról lévén szó, még figyelembe vettük, hogy a térfogatáram változásával a hőátzármaztatási tényező is változik, tehát ezt a változót egy referencia térfogatáram segítségével normáljuk. Ezzel a reaktorkialakítással végzett szimuláció eredményei a 8. ábrán láthatóak, ahol a valós rendszeren végzett nyitott körű mérésnek megfelelően működött a szimulátor is. Ezen megoldás PFD ábráját a 7. ábrán láthatjuk. A mérés során a három különböző hőmérsékletű közegből csak kettőt használtunk, mégpedig a közepes (20 °C) és a meleg közeg (90 °C).

5. ábra

A benyúló csőköteges reaktorkialakítás esetében a szimuláció és a valós rendszeren végzett mérés eredménye

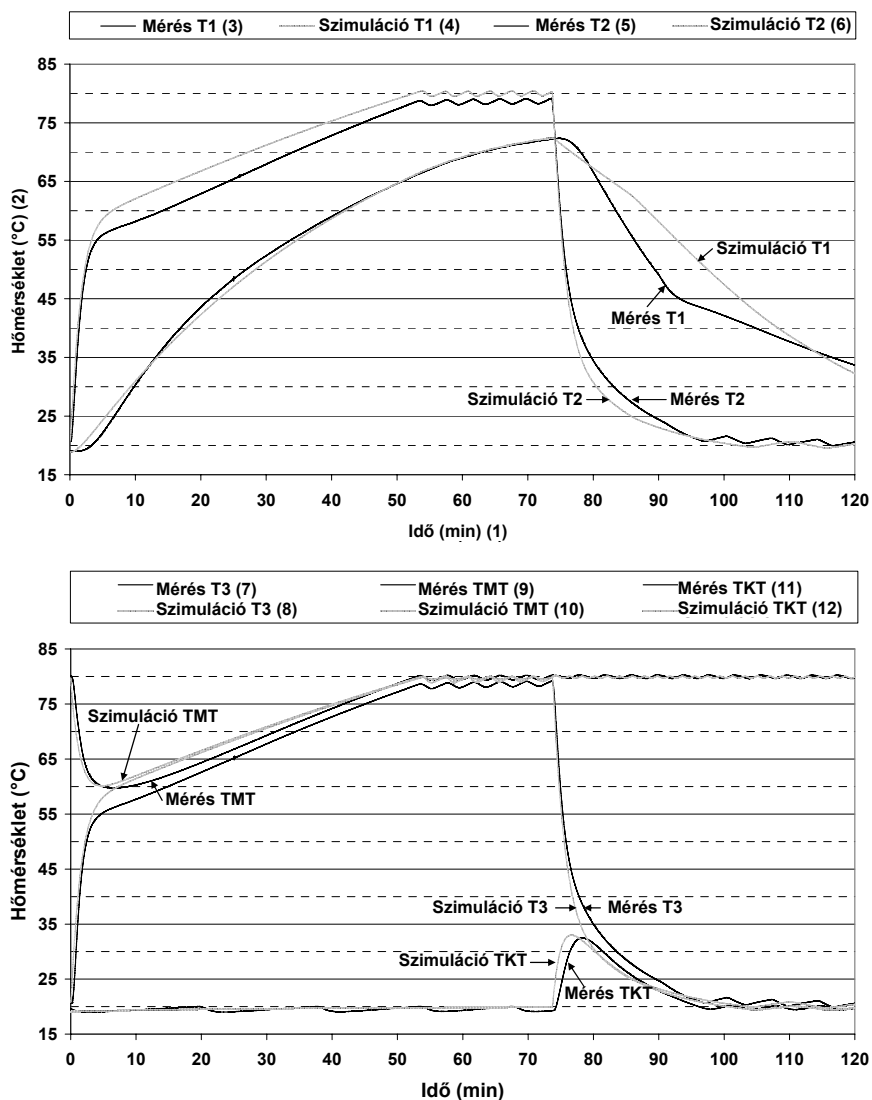


Figure 5: The test measurement and simulation results in the case of the reactor configuration containing the separator with tube bundle module

Time (min)(1), Temperature (°C)(2), Test measurement reactor temperature (T1)(3), Simulation T1(4), Test measurement jacket inlet temperature (T2)(5), Simulation T2(6), Test measurement jacket outlet temperature (T3)(7), Simulation T3(8), Test measurement high temperature level (TMT)(9), Simulation TMT(10), Test measurement medium temperature level (TKT)(11), Simulation TKT(12)

6. ábra

A program kezelőfelülete

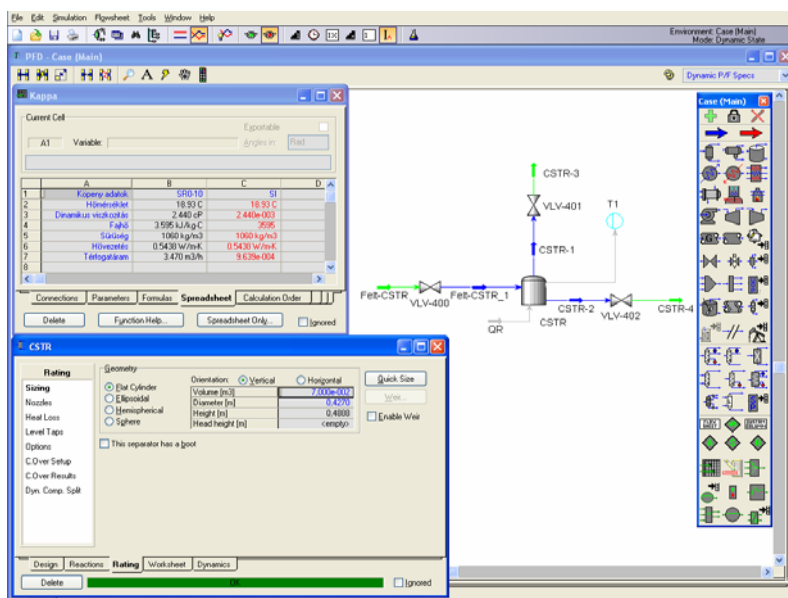


Figure 6: The user interface of the simulation software

7. ábra

A reaktorrész PFD ábrája az összekapcsolt kialakítás esetén

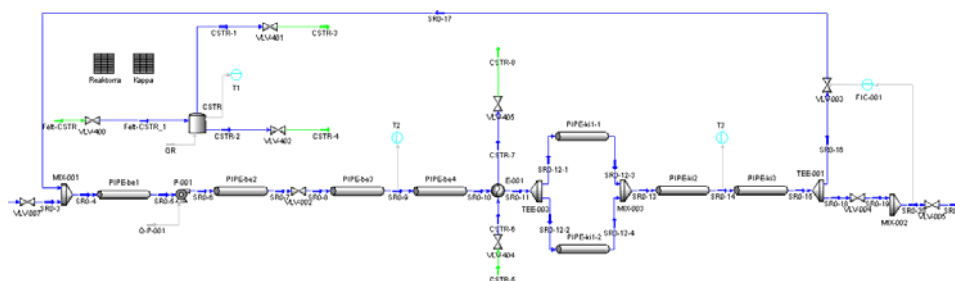


Figure 7: The flowsheet of the reactor and the jacket recirculation loop in the case of the custom reactor configuration

A diagrammon jól látható, hogy tendenciájában mindegyik hőmérséklet megfelelően követi a mérés eredményét, viszont a reaktor hőmérséklete a hűtési szakasz végén növekvő hibát tartalmaz, ahol az eltérés már nagyobb, mint 6 °C, viszont a felmelegítési szakasz esetén a hiba mindvégig 0,5 °C alatt marad. Ez annak a következménye, hogy a modell nem veszi figyelembe a viszkozitás hőmérsékletfüggését, ami hatással van a hőátzármaztatási tényezőre is. Ezért a reaktorhőmérséklet csak a felmelegítési szakaszon követi jól a mérési eredményt, mivel a szimulátor paraméterei elsődlegesen erre a szakaszra lettek beállítva.

8. ábra

Mérési és szimulációs eredmények az egyszerű modell esetén

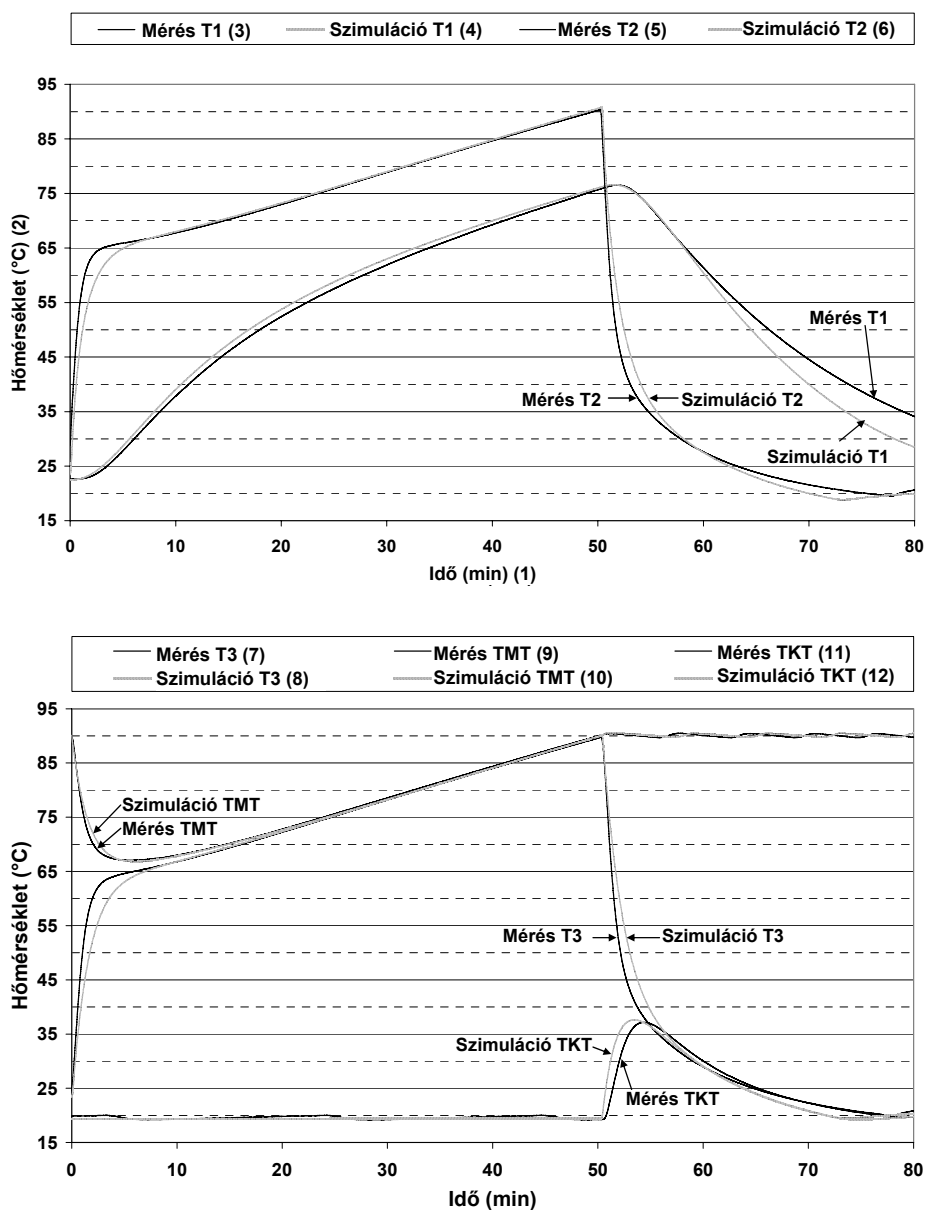


Figure 8: The test measurement and simulation results in the case of the custom reactor configuration containing the simple heat transfer model

See Figure 5

A felhasznált egyenletek:

Az átszármaztatott hő mennyisége:

$$Q = \kappa A \Delta T_{LM} F_t \quad (1)$$

A dinamikus számításokhoz szükséges korrekciós faktor:

$$F_T = \frac{2f_1 f_2}{f_1 + f_2} \quad (2)$$

$$f_1 = \left(\frac{M_{cs}}{M_{cs,ref}} \right)^{0,8} \quad (3)$$

$$f_2 = \left(\frac{M_k}{M_{k,ref}} \right)^{0,8} \quad (4)$$

Az egyszerű modell hiányossága miatt egy összetettebb reaktormodellt hoztunk létre, amely már figyelembe veszi a viszkozitás hőmérsékletfüggését, és dinamikusán számolja a reaktor méretei, szerkezeti anyagai, közegetulajdonságok, lineáris áramlási sebességek illetve a keverő figyelembevételével a hőátzármaztatási tényező értékét. Így egy dinamikus változót alkalmazunk konstans helyett. A reaktor belső tere esetén a Chilton-Cummings-West összefüggést, a reaktor köpenyénél a Sieder-Tate összefüggést vettük figyelembe. A 9. ábrán látható, hogy az összetett modellnek köszönhetően a reaktor hőmérséklete mind a felmelegítési, mind a hűtési szakaszon jól közelíti a mérés eredményét (~1 °C).

A felhasznált egyenletek:

Hőátzármaztatási tényező:

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{reaktor}} + \frac{1}{\alpha_{köpeny}} + \frac{\delta_{fal}}{\lambda_{fal}} + \frac{\delta_{zománc}}{\lambda_{zománc}}} \quad (5)$$

Hőátadási tényező reaktor oldalon:

$$\alpha_{reaktor} = Nu \cdot \frac{\lambda}{D_{belső}} \quad (6)$$

Nusselt szám a reaktor oldalon (Chilton összefüggés):

$$Nu = C \cdot Re^{2/3} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{fal}} \right)^{0,14} \quad (7)$$

Hőátadási tényező a köpenyoldalon:

$$\alpha_{köpeny} = Nu \frac{\lambda}{d_h} \quad (8)$$

Egyenértékű átmérő a köpeny esetén:

$$d_h = \frac{4 \cdot f}{U} \quad (9)$$

Nusselt szám a köpeny oldalon (Sieder-Tate összefüggés):

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{fal}} \right)^{0,14} \quad (10)$$

9. ábra

Mérési és szimulációs eredmények az összetett modell esetén

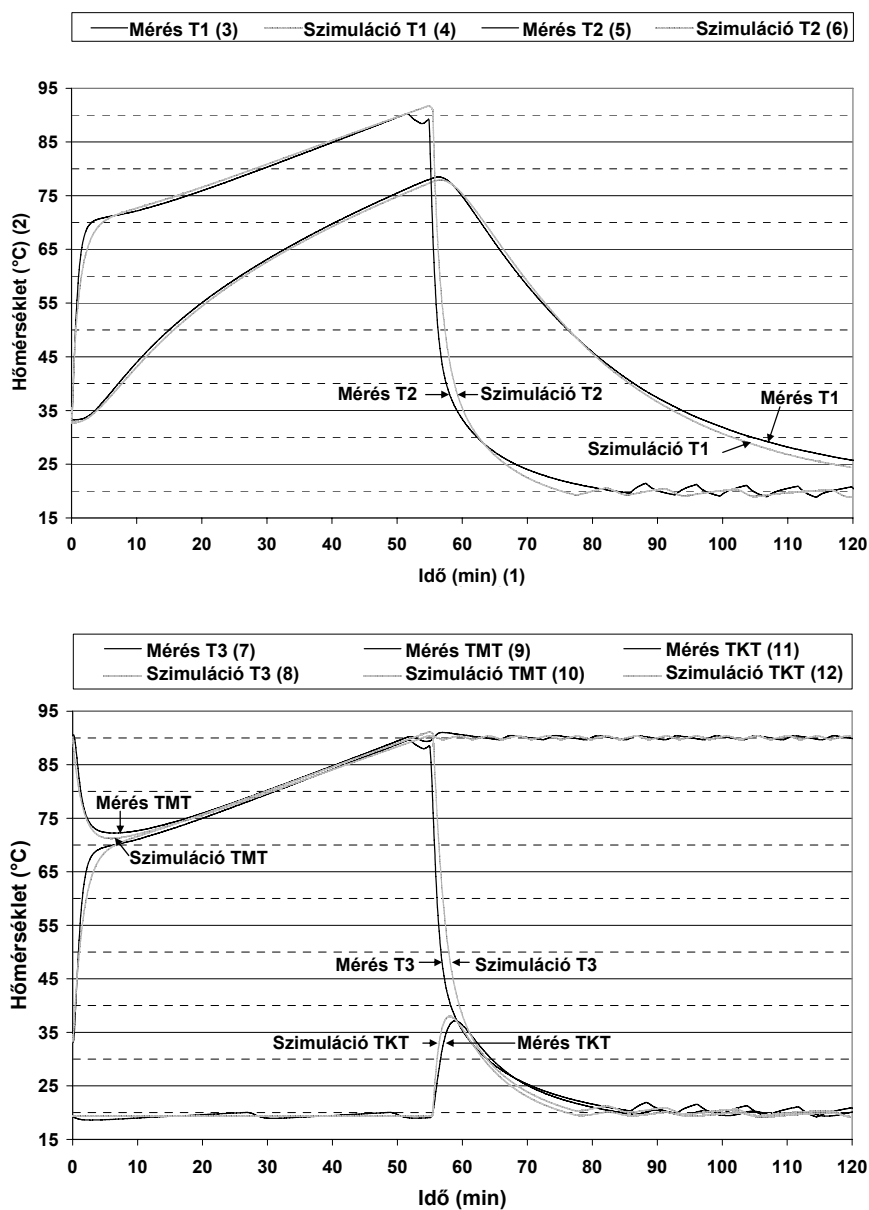


Figure 9: The test measurement and simulation results in the case of the custom reactor configuration containing the complex heat transfer model

See Figure 5

KÖVETKEZTETÉSEK

A munkák során létrehoztunk egy olyan szimulátort, amely nagymértékben megközelíti a valós rendszer működését. Későbbiekben ezt a szimulátort felhasználva, OPC kapcsolaton keresztül a valós folyamatirányító rendszerrel összekötve létrehozható egy OTS rendszer, aminek a segítségével a szabályozási algoritmusok gyorsabban és költséghatékonyabban tesztelhetők, illetve hallgatói laborok során is felhasználható.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk a TÁMOP-4.2.2-08/1/2008-0018 (Élhetőbb környezet, egészségesebb ember - Bioinnováció és zöldtechnológiák kutatása a Pannon Egyetemen, MK/2) projekt anyagi támogatásáért.

A jelen cikk a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003 projekt keretében készült. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

JELÖLÉSJEGYZÉK

Jelölés	Jelentés	Mértékegység
α	Hőátadási tényező	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
δ	Vastagság	m
κ	Átlagos hőátadási tényező	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
λ	Hővezetési tényező	$\frac{W}{m \cdot K}$
μ	A reaktorban lévő közeg dinamikus viszkozitása	$Pa \cdot s$
μ_{fal}	A reaktorban lévő közeg dinamikus viszkozitása a fal hőmérsékletén	$Pa \cdot s$
A	Hőátadási felület	m^2
C	Konstans	1
$D_{belső}$	A reaktor belső átmérője	m
d_h	Egyenértékű átmérő	m
f	Áramlási keresztmetszet	m^2
F_T	LMTD korrekciós faktor	1
M_{cs}	Csőoldali tömegáram (reaktoroldal)	$\frac{kg}{s}$
$M_{cs, ref}$	Csőoldali referencia tömegáram (reaktoroldal)	$\frac{kg}{s}$
M_k	Köpenyoldali tömegáram	$\frac{kg}{s}$
$M_{k, ref}$	Köpenyoldali referencia tömegáram	$\frac{kg}{s}$
Nu	Nusselt-szám	1
Pr	Prandtl-szám	1
Q	Hőmennyiség	J
Re	Reynolds-szám	1

$T1$	A reaktor hőmérséklete	$^{\circ}C$
$T2$	A reaktor recirkulációs körének belépő oldali hőmérséklete	$^{\circ}C$
$T3$	A reaktor recirkulációs körének kilépő oldali hőmérséklete	$^{\circ}C$
TKT	A közepes hőmérsékletű tartály hőmérséklete	$^{\circ}C$
ΔT_{LM}	logaritmikus hőmérsékletkülönbség	K
TMT	A magas hőmérsékletű tartály hőmérséklete	$^{\circ}C$
U	A „nedvesített” kerület	m

IRODALOMJEGYZÉK

- Balaton M.G., Nagy L. (2009): Szakaszos gyártócella szimulációja. Műszaki kémiai napok, Veszprém, 117-122 p.
- CHINOIN Gyógyszer és Vegyészeti Termékek Gyára Rt. (1995): Berendezés hőközlési műveletek végrehajtására. Szabadalom, Lajstromszám: 211223.
- Edwards J. E. (2001): Dynamic modelling of batch reactors & batch distillation. Batch Reactor Systems Technology Symposium, Teesside.
- Louleh, Z., Cabassud, M., Le Lann, M.V., Chamayou, A., Casamatta, G. (1996): A new heating-cooling system to improve controllability of batch reactors. In: Chemical Engineering Science, 51. 11. 3163-3168. p.
- Louleh, Z., Cabassud, M., Le Lann, M.V. (1999): A new strategy for temperature control of batch reactors: experimental application. In: Chemical Engineering Journal, 75. 11-20 p.
- Molnár F., Nagy T. (1991): Rugalmas gyógyszergyári autokláv vezérlés Honeywell Micro TDC 3000 folyamatirányító géppel. In: Mérés és Automatika. 39. 225-228. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Balaton Miklós Gábor

Pannon Egyetem, Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék

8200 Veszprém, Egyetem út 10.

University of Pannonia, Department of Process Engineering

H-8200 Veszprém, Egyetem út 10.

Tel.: 36-88-624-295, Fax: 36-88-624-171

e-mail: balatonm@fmt.uni-pannon.hu