



Klórozott polietilén gyártás modellezése; feladat-orientált folyamat-szimulátor

Kun G., Chován T., Nagy L., Szeifert F., ¹Czeller A., ¹Tóth A.

Veszprémi Egyetem, Folyamatmérnöki Tanszék
¹BorsodChem Rt., Kompaund Üzletág

ÖSSZEFOGLALÁS

A klórozott polietilén (CPE) széles körben alkalmazott, eredendően lágy polimer. Tulajdonságait alapvetően molekuláris és fázis összetétele határozza meg, ami a klórozási folyamat függvénye. A kedvező piaci helyzet indokoltá teszi a CPE gyártás bővítési lehetőségeinek feltárását. Ennek támogatására készítettük el a klórozott polietilén gyártás modellrendszerét és szimulátorát. A cikkben a vizsgált technológia leírásán túlmenően, saját fejlesztésű szoftverrendszert is bemutatunk, amely a megfelelő termodinamikai fázisok, a komponensek, továbbá a közöttük lévő kölcsönhatások (reakciók, komponens és hőátadások, egyéb folyamatok) definiálásával alkalmas a konkrét technológiával kapcsolatos fejlesztési lépések szimulációs alátámasztására. A szimulátor csomag alapvető elemei: a reaktor szimulátor, a reakció-kinetikai szimulátor és az identifikációs modul.

(Kulcsszavak: klórozott polietilén, tendencia modell, folyamat-szimulátor)

ABSTRACT

Modeling of the polyethylene chlorination process; a problem – oriented process simulator

G. Kun, T. Chován, L. Nagy, F. Szeifert, A. ¹Tóth, A. ¹Czeller
University of Veszprém, Department of Process Eng., Egyetem str. 10, H-8200 Veszprém
¹BorsodChem Ltd., Kazincbarcika

Chlorinated polyethylene (CPE) is a widely used, inherently soft polymer. The final properties of chlorinated polyethylene depend on the molecular and phase structure controlled by chlorination conditions. Present market situation justifies studying the possibilities for the extension of CPE production. To support this work a simulator of the chlorination technology was developed. In the paper, beside the introduction of the CPE process, the details of our modeling approach and the structure of the applied simulator package are discussed. This package allows supporting the process development steps by describing the involved thermodynamic phases and components as well as their interactions (reactions, heat and mass transfer etc.). The simulator package consists of three modules: a reactor simulator, a reaction-kinetic simulator and an identification module.

(Keywords: chlorinated polyethylene, tendency model, process simulator)

BEVEZETÉS

A számítógépek elterjedésével a matematikai modellezés és a számítógépes szimuláció közhasználatú eszközzé vált a különböző mérnöki területeken. Az alkalmazott modellek

skálája a modellezett objektum struktúráját is részleteiben visszatükröző, fizikai-kémiai tartalmat hordozó paramétereket magában foglaló *a priori* modellektől, az input-output méréseken alapuló *a posteriori* (fekete doboz) modellekig terjed. A kevésbé korszerű folyamatirányító berendezést tartalmazó technológiák vizsgálatában, elsősorban az *a priori* jellegű modelleket, az irányítási rendszer kialakításában pedig az *a posteriori*, ill. a kettő előnyeit kihasználó hibrid modelleket részesítjük előnyben.

A számítógépes szimulációs eszközök iránt is egyre erőteljesebb az igény, hiszen speciális feladatok gyors megoldását teszik lehetővé. Ez indította el a célfeladatok megoldására alkalmas, úgynevezett *feladat-orientált* programcsomagok kidolgozását. Ezek általában csak egyes technológiák, vagy szűkebb technológia típusok elemzésére alkalmasak. Legnagyobb előnyük, hogy a feladat jól definiáltságából következően igen pontosan meghatározható technológiai paraméterekre épülnek.

A CPE gyártás áttekintése során először a vizsgált technológiai rendszer matematikai modelljét alkotjuk meg, figyelembe véve azt, hogy itt a modellezés elsődleges célja a kapacitás bővítés tervezésének támogatása. A technológia modell az ehhez szükséges változókat és a közöttük fennálló összefüggéseket rögzíti. A megalkotott modell alapján a különböző feladatok megoldásához, különböző algoritmusok rendelkezhetők (pl. identifikációs, szimulációs, irányítási). Ezen algoritmusokra alapozva lehet a megfelelő számítógépes programot kialakítani, amelynek eredményeképpen létrejön egy számítógépes eszköz, a szimulátor, amely megfelelően alkalmazva segíti a megfogalmazott mérnöki feladat megoldását.

A modellt alkotó folyamatmérnök egyre inkább olyan feladatok megoldásával találja magát szemben, melyek háttérében nagy volumenű, többségében hiányos és bizonytalan információ áll, melynek áttekintése, egészben történő felhasználása és tudássá kovácsolása feltétlenül szükséges a bonyolult problémák eredményes megoldásához. A CPE gyártás során is információszegény környezetben vagyunk kénytelenek dolgozni, hiszen a meglehetősen bonyolult folyamatok kinetikájára vonatkozó információink szegényesek. Ezért a teljes *a priori* tudást magában foglaló részletes kinetikai modell általában nem identifikálható. Ezt a problémát az ún. *tendencia modell* értelmezésével kezelhetjük (Filippi et al., 1975). A tendencia modellt a megoldandó feladat igényei és a rendelkezésre álló információk kompromisszuma mentén alakítjuk ki. Menetének ismertetését megelőzően e cikk először a vizsgált technológiát ismerteti – a következő fejezetben –, ezt követően bemutatjuk a modellt és az implementációt szolgáló szimulátor rendszert.

A VIZSGÁLT TECHNOLÓGIA LEÍRÁSA

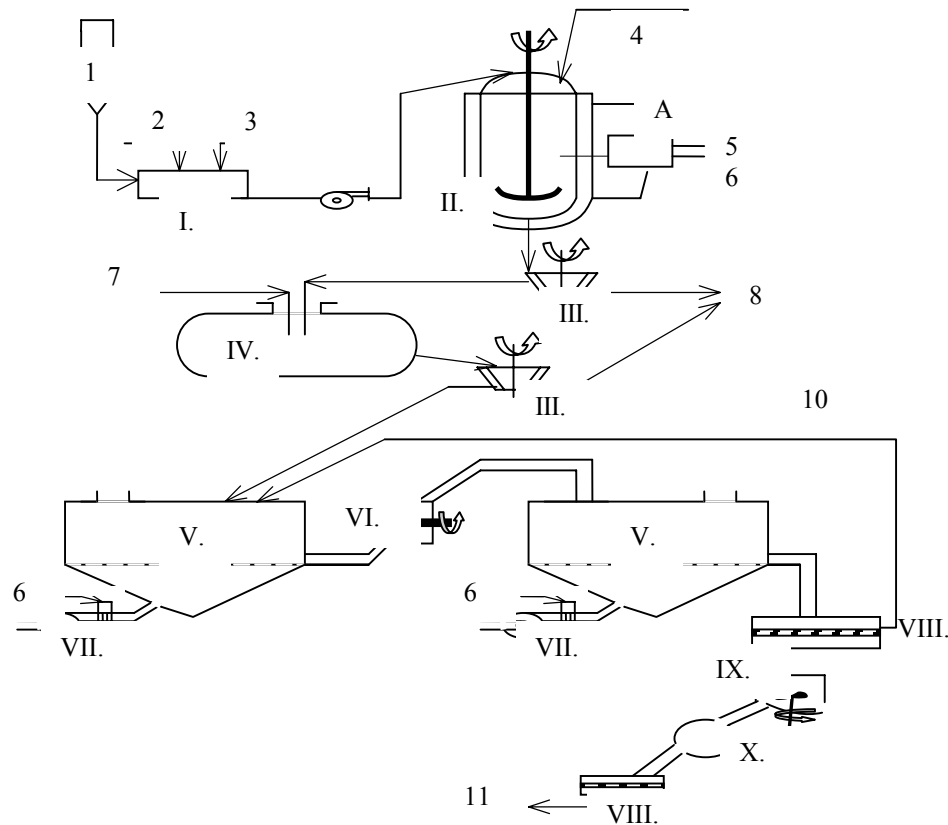
A CPE gyártás többlépcsős technológia, melynek sémáját az 1. ábrán mutatjuk be. Az első lépés az alapanyag polietilénből (1) a hidrofób polietilén-szemcsék nedvesítéséhez szükséges adalékanyagok (3) jelenlétében vizes (2) szuszpenzió készítése (I.). Az előkészített szuszpenziót a reaktorba (II.) töltik és a kezdő hőmérséklet elérése után, megkezdődik a klór (4) pontosan szabályozott sebességű adagolása. A klórozás előrehaladtával a hőmérsékletet meghatározott program (A) szerint emelve a számított mennyiségű klór beadása után a reakcióelegyet hűtik. A reaktorból leengedett reakcióelegyből elválasztják (III.) a CPE-t, majd sósavmentesítés érdekében két lépcsőben mossák (IV.). A CPE nedvességét kétfokozatú, meleg levegős szárítóban (V.) távolítják el, majd megfelelő adalékanyagok hozzáadása után a terméket csomagolják (Kun et al., 2002). A technológiának folyamatosan (V.) és szakaszosan működő (I.-IV.) elemei vannak, melyek együttes jelenléte teszi bonyolultabbá a technológia modellezését

és analizését, továbbá nehezíti a technológia üzemeltetését, kapacitás bővítését (Tóth és Czeller, 2001).

Az alkalmazott modellezési módszer illusztrálására a továbbiakban a reagáltató alrendszer modellalkotását és a modell, általunk kifejlesztett felhasználói szoftveren való leképezését mutatjuk be.

1. ábra

A CPE gyártás technológiai vázlatja



- | | | | |
|-------|------------------------------------|-----|-----------------------------------|
| I. | Szuszpenzió-készítés (Preparatory) | 1. | Polietilén (Polyethylene) |
| II. | Reaktor (Reactor) | 2. | Desztillált víz (Distilled water) |
| III. | Centrifuga (Centrifuge) | 3. | Adalékanyagok (Additives) |
| IV. | Mosótartály (Washing unit) | 4. | Klór gáz (Chlorine gas) |
| V. | Szárító berendezés (Dryer) | 5. | Fűtőgőz (Steam) |
| VI. | Örlő (Mill unit) | 6. | Hűtővíz (Cooling water) |
| VII. | Kalorifer (Calorific) | 7. | Mosóvíz (Washing water) |
| VIII. | Szita (Drizzle unit) | 8. | Anyalúg (Supernatant) |
| IX. | Keverő (Mixing unit) | 10. | Recirkuláció (Recycle) |
| X. | Hűtő (Cooler) | 11. | Termék (Product) |

Figure 1: The process diagram of CPE production

A MATEMATIKAI MODELL MEGALKOTÁSA

A klórozott polietilényártó technológia vizsgálatához a rendszer feladattól függő, meghatározott részletességű a priori jellegű modelljét alkotjuk meg. A modellalkotás első fázisa a technológia dekomponálása. A klórozó reaktor modellezésének kiindulási alapját a reaktorban lejátszódó folyamatok részletes mechanizmusára vonatkozó elképzelés szolgáltatja. A modell definíciója során az alábbiakat kell figyelembe venni:

- minden olyan termodinamikai fázis definiálása, amely a jelenségek adott pontosságú leírásában szerepet játszik,
- minden egyes termodinamikai fázisban, azon kémiai komponensek megadása, amelyek a leírásban aktív szerepet játszanak,
- fázisonként a kémiai reakciók definiálása, a reakciósebességi egyenletek, ill. reakcióhők megadásával,
- több fázis esetén a fázisok közötti komponens átadás definiálása.

A klórozás műveletét kevert, szakaszos reaktorban végzik. A reaktortér így első lépésben gáz, folyadék és szilárd fázisokra dekomponálható, amely utóbbi azonban önmagában is összetett. Elektronmikroszkópos felvételek alapján feltételezhető, hogy a komponens transzport szempontjából, a folyadék tömbfázist (F1) és a polimer megolvadásakor a “szilárd fázis” üregeibe zárt folyadék fázist (F2) célszerű különválasztani, mert azok a komponens koncentrációk szerint különböznek egymástól (Marossy, 1982). A dekomponálás mértékének meghatározásánál arra is tekintettel kell lennünk, hogy a kialakítandó modell paramétereinek meghatározásához megfelelő információk álljanak rendelkezésünkre. Ezen megfontolások alapján alakítottuk ki a reagáltató alrendszer struktúráját, mely a 2. ábrával szemléltethető.

Az összetett rendszer modelljét elemeinek modelljéből építjük fel (Árva és Szeifert, 1981). A dekompozíció legfelső szintjén a *reaktortest*, a *reaktortér* és a *köpenytér* rendszerelemet különböztetjük meg. Ezeket hőátadási folyamatok kapcsolják össze.

A *reaktortér modellezéséhez* az alábbi folyamatokat vesszük figyelembe:

- klórozási reakció,
- komponensátadás a folyadék fázisok között,
- ionreakciók a folyadék fázisokban (F1 és F2).

A reaktortér modellje a vegyészmérnöki modellezési gyakorlatban elterjedten használt mérlegegyenletek felírásával tehető teljessé (Simándi et al., 2002). Minden fázisra, a fázistömeg időbeli változását, a fázisokon belül minden komponens tömegváltozását, valamint a fázisokra vonatkozó entalpiaváltozásokat differenciálegyenletekkel felírva kapjuk a komponensmérlegeket, illetve a lejátszódó reakciók és a betáplálások-eltvételek összegzett hőáramát az alábbi formában:

$$\frac{d m(t)}{d t} = \sum_{I=1}^N F_I(t) \quad (1)$$

$$\frac{d(m \cdot x_J)}{d t} = \sum_{I=1}^N [F_I(t) \cdot x_{I,J}(t)] + M_J \cdot m(t) \cdot \sum_{I=1}^N [\mu_{I,J} \cdot r_I(t)] \quad (2)$$

$$Q_R = m(t) \sum_{I=1}^N (\Delta H_{R,I} \cdot r_I(t)) + B_{BE} \cdot (\rho \cdot c_p) \cdot (T_{BE} - T_R) \quad (3)$$

2. ábra

A CPE gyártás reagáltató alrendszerének dekompozíciója

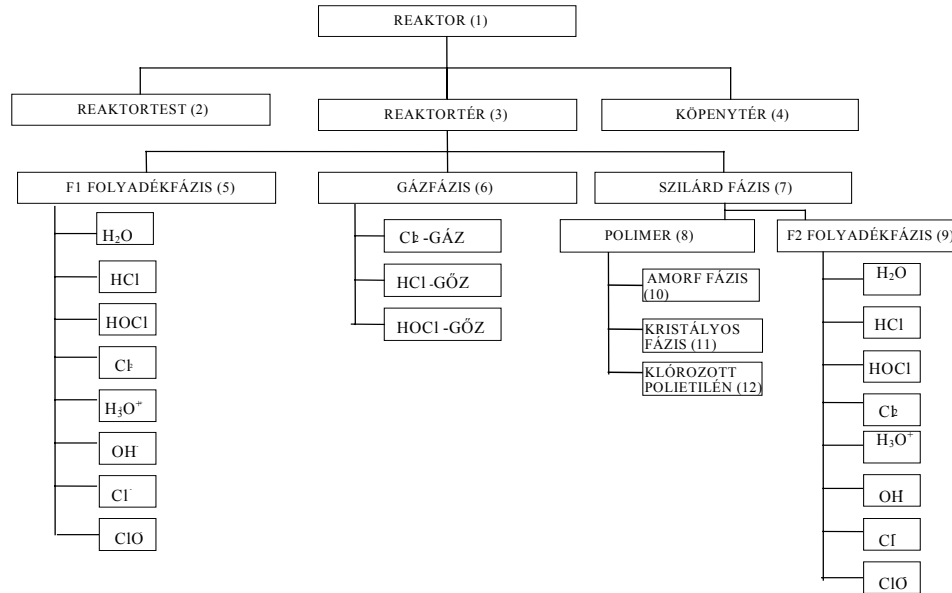


Figure 2: Decomposition of the CPE reactor subsystem

Reaktor(1), Reaktor test(2), Inside the reactor(3), Inside the jacket(4), F1 liquid phase(5), Gas phase(6), Solid phase(7), Polymer phase(8), F2 liquid phase(9), Amorphous parts of the polyethylene(10), Crystalline parts of the polyethylene(11), Chlorinated polyethylene(12)

Az egyenletben alkalmazott t jelöli az időt [óra], m a fázistömeget [kg], F_i a fázistömeg-áramot [kg/óra], x_j a J-ik komponens tömegtörtjét, M_j a J-edik komponens móltömegét [kg/kmol], $\mu_{i,j}$ a J-ik komponens sztöchiometriai együtthatóját az I-edik reakcióban és az r_i az I-edik reakció reakció-sebessége. A B_{BE} a betáplált komponens tömegáramát, ρ a sűrűségét, c_p a fajhőjét, T_R pedig a reaktor hőmérsékletét jelenti.

A reagáltató alrendszerben lejátszódó egyik leglényegesebb folyamatnak a folyadékfázisok közötti sósav, illetve a maradvány-komponensek (Cl_2 , HOCl) átadási folyamatát, valamint magát a klórozást tekintettük. Az átadási folyamatokat formális kémiai reakciónak vettük. Feltételeztük továbbá, hogy a gáz- és a folyadékfázis, a kristályos, ill. az amorf polimer fázis homogén, valamint a reaktortér termodinamikai fázisai közötti hőátadás gyors, ezért a különböző fázisok hőmérsékletei megegyeznek.

A köpeny és a reaktortest modellezésekor figyelembe kell venni, hogy a köpenytérben a köpeny hőmérséklete az idő mellett a hosszúnak is függvénye, így itt elosztott paraméterű modellel közelítünk. A folyadékkal feltöltött köpenytér a következő differenciál egyenlettel definiálható:

$$V \cdot \rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t} + B \cdot \rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial x} = (\kappa \cdot F) \cdot (T_R - T) + (\alpha \cdot F_K) \cdot (T_K - T) \quad (4)$$

$$\frac{\partial(V \cdot \rho \cdot c_p \cdot T_R)}{\partial t} = Q_R - \kappa \cdot F (T_R - \bar{T}) \quad (5)$$

Ahol a B a köpenyen átfolyó térfogatáramot jelöli, $\kappa \cdot F$ és $\alpha \cdot F_K$ a hőátzármaztatás paramétere a reaktortér, illetve a köpeny felé, V a köpeny teljes térfogata, ρ a köpenyben áramló közeg sűrűsége, c_p a fajhője, T_R a reaktor hőmérséklete, \bar{T} a köpeny átlagos hőmérséklete (integrál középérték); x pedig dimenziómentes hosszkoordináta.

AZ ALKALMAZOTT SZIMULÁTOR RENDSZER

A technológiatervezés, fejlesztés, (analízis és szabályozás) területén az egyik legsikeresebben alkalmazható eszköz az adott kémiai technológia szükséges részletességű modellje alapján történő számítógépes *szimuláció*. E szimulációs vizsgálatok célja elsősorban:

- a technológia legfontosabb folyamatainak jó megértése,
- a termékminőséget meghatározó legfontosabb folyamatok részletes vizsgálata,
- azon technológiai elemek kiemelése, amelyek a szűk keresztmetszetét jelentik,
- az egyes alrendszerek kapacitásainak becslése, korszerű irányítási rendszer kialakításának megalapozása.

A gazdasági és a konkrét igények szempontjait is figyelembe véve, a kereskedelmi forgalomban vásárolható szoftverek (CHEMCAD, BatchCAD stb.) mellett, saját fejlesztésű programokra is szükség van. Az elmúlt évek technológiafejlesztési projektjeinek lehetőségeit kiaknázva részben általános célokat is kielégítő szimulátort fejlesztettünk ki. A szimulátor rendszer három elkülönülő autonóm részből áll.

- BRS (Batch reaktor szimulációja): köpenyoldalon hűthető-fűthető autokláv struktúráját visszatükröző szimulátor, amely alkalmas a reaktoron végzett mérésekre kísérlettervezésre, illetve a mérési adatok feldolgozására, irányítási algoritmusok tesztelésére. A reaktor és a benne lejátszódó kémiai reakciók szimulálására az alábbi KRS-sel együtt használható.
- KRS (Kinetikai rendszerek szimulációja): definiált reakció mechanizmus alapján tetszőleges, többfázisú reakciórendszer szimulálására alkalmas. A reakciókinetikai modell megoldását szolgálja. Autonóm módon a BRS alrendszertől függetlenül is, illetve azzal együttesen is használható.
- RKI (Reakciókinetika identifikáló): a reakciókinetika szimulátor megfelelő szélsőérték-kereső eljárással kiegészített változata. Mérési adatok alapján (hőáramok, analitikai mérések) olyan reakciókinetikai paramétereket tudunk identifikálni, mint pl. reakciósebességi állandók, aktiválási energiák.

Az előző részben bemutatott modellek alapján kialakított szimulációs algoritmust a MATLAB nyelven megírt, fenti szimulátor rendszerben képeztük le. A differenciálegyenletek megoldását biztosító szimulációs keretrendszer a három modulból épül fel. A reaktor modell struktúrájában az alacsonyabb hierarchia szintek a termodinamikai fázisokban lejátszódó kémiai reakciókra és komponens átadásokra specifikusak, ezért a reaktorteret a KRS szimulátorban (3. ábra) képeztük le.

3. ábra

A KRS szimulátor modul működési sémája

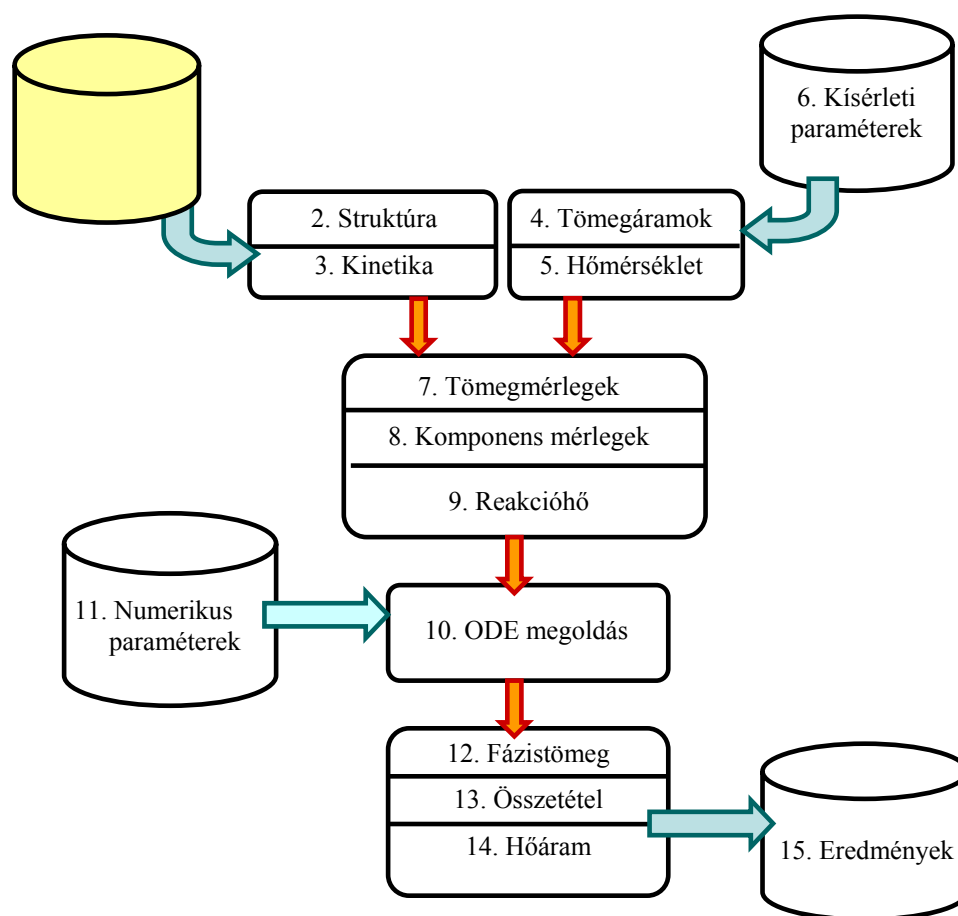


Figure 3: Operational schema of the KRS module

Reaction parameters(1), Structure(2), Kinetics(3), Mass flows(4), Temperature(5), Experimental parameters(6), Mass Balance(7), Component balance(8), Reaction heat(9), ODE solution(10), Numerical parameters(11), Mass of phase(12), Composition(13), Heat flow(14), Results(15)

Az KRS modulhoz beviteli mezőkben adhatjuk meg a számításhoz szükséges bemenő adatokat, táblázatos, jól áttekinthető formában (4. ábra). A reakciókinetikai szimulátor működéséhez olyan paraméterek megadása szükséges, mint a termodinamikai fázisok és a komponensek száma, a komponensek molekulatömege, a fázisban lejátszódó reakciók száma, valamint a reakciókinetikai paraméterek.

4. ábra

Felhasználói felület I.: Komponensek, fázisok megadása

The screenshot shows the 'KinSim paraméterek' window with the 'Fázisok, komponensek' tab selected. The interface is divided into several sections:

- Megjegyzés:** Klórozás első lépése
- Termodinamikai fázisok megadása:**
 - Fázisok száma: 4 (with < új and új > buttons)
 - Aktuális fázis: 1 (with < and > buttons)
 - Fázis kódja: faz_1 (with Törölés button)
 - Fázis neve: Szilárd
- Komponensek az aktuális fázisban:**
 - Komponensek száma: 3 / 15 (with < új and új > buttons)
 - Aktuális komponens: 1 / 1 (with < and > buttons)
 - Komponens kódja: komp_1 (with Törölés button)
 - Komponens neve: 1 PE(A)
 - Móltömeg: 160000

At the bottom, there are buttons for 'Paraméter fájlok konfigurálása', 'Beolvasás fájlból', 'Mentés fájlba', and 'OK'.

Figure 4: User interface I.: Definition of the components and the phases

Phases and components(1), Reactions(2), Stoichiometry and reaction order(3), Numerical parameters(4), Thermodynamic phases(5), Number of phases(6), Actual phase(7), Phase code(8), Phase name(9), Components in the actual phase(10), Number of components(11), Actual component(12), Component code(13), Component name(14), Molecular weight(15)

A szimulátorban a reaktorban végrehajtandó műveleteket fázisokra bontva tudjuk leképezni (5. ábra).

Ez az eszköz lehetővé teszi, hogy különböző bemeneti paraméter értékek mellett megvizsgálhassuk az egyes események következményeit, az eredményeket pedig mind táblázatos, mind grafikus úton megjelenítve értékelni tudjuk.

A reaktor modell struktúrájában a felső két szint a reaktorra és a hőátadásra specifikus, ezért azt a BRS szimulátorban (6. ábra) képeztük le. Ez a modul alkalmas szakaszos reaktorok hőtani vizsgálatára, valamint szabályozók hangolására is.

5. ábra

Felhasználói felület II.: Adagolási művelet

Műveleti szakaszok **Adagolás, párlatösszetétel** Hőmérsékletek, desztillátum

Megjegyzés: Klórozás első lépése

Művelet 1 Klórozás első lépése < >

Művelet lépéseinek megadása

Paraméterek kiválasztása Adagolási program

Lépés	Idő(perc)	Hossz(perc)	Fázis (-)	Cp(kJ/kgK)	Hőmérs.(C)	Tömeg(kg)
1	0	0	faz_3	4.2	60	10000
2	0	0	faz_1	1.68	40	301
3	0	0	faz_1	1.68	40	399
4	0	0	faz_2	4.2	40	50
5	0	160	faz_4	0.477	40	397.15

< új új > Törlés

	8	9	10	11
	komp_8	komp_9	komp_10	komp_11
x_komp	1	0	0	0

Paraméter fájlok konfigurálása Beolvasás fájlból Mentés fájlba OK

Figure 5: User interface II.: Dosing operations

Operation steps(1), Dosing and distillate composition(2), Temperatures and distillate(3), Comment(4), Actual operation(5), Definition of operation steps(6), Selection of parameter: Dosing program(5), Step(6), Time(7), Duration(8), Phase(9), Specific heat(10), Temperature(11), Amount(12)

A batch reaktor szimulátor működéséhez olyan paraméterek megadása szükséges, mint a köpeny belső átmérője, a hő-átvezetés, a reaktorfal hővezető-képessége. A KRS modulhoz hasonlóan beviteli táblákban tudjuk megadni ezeket az információkat, melyek könnyen kezelhető és átlátható felületet biztosítanak a felhasználóknak. A szimulátor RKI eleme a modellben szereplő paraméterek értékeinek kísérleti adatokból történő meghatározását segíti.

6. ábra

A BRS szimulátor modul működési sémája

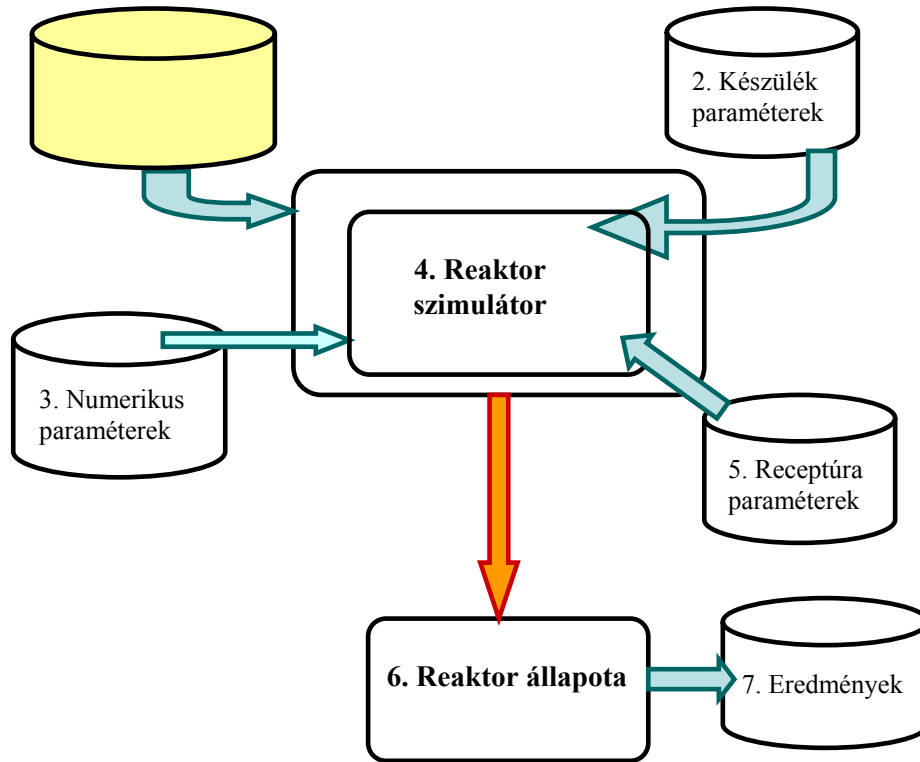


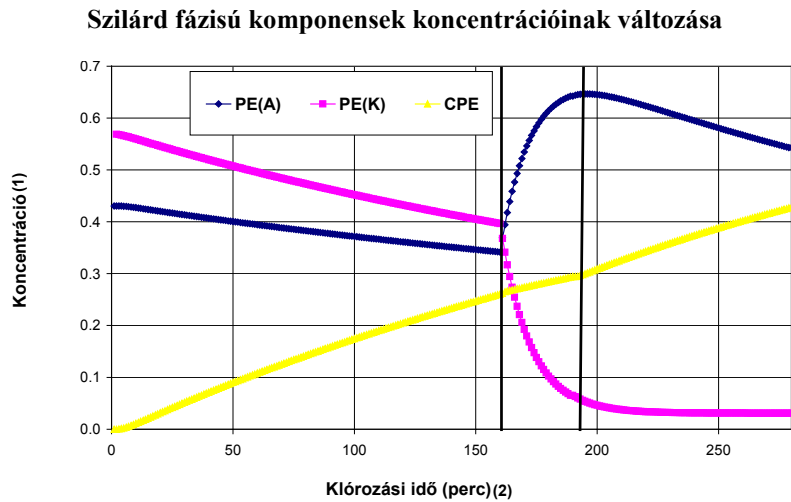
Figure 6: Operational schema of the BRS module

$Q(t)$ from the kinetic simulator or from a time function(1), Equipment parameters(2), Numerical parameters(3), Reactor simulator(4), Recipe parameters(5), State of the reactor(6), Results(7)

SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATOK

A szimulátor működését a CPE gyártás reagáltató alrendszerén keresztül mutatjuk be. A kémiai reakciót a szakaszosan működő klórozó reaktorokban klór gáz bevezetésével két különböző hőmérséklet szinten valósítják meg, a két izoterm fázis közé rövid felfűtési szakaszt iktatva. A szilárd fázisban lejátszódó reakció mellett a fő folyamat a klór szilárd fázisba való juttatása és a keletkező sósav komponens folyadék, ill. gőz fázisba való transzportja. Ezen folyamatok időbeli lefutását mutatja a 7. és 8. ábra. A szimulátor valósághoz történő illesztését a rendelkezésünkre bocsátott mérési adatok alapján végeztük.

7. ábra



PE(A): a polietilén amorf része (*Amorphous parts of the polyethylene*), PE(K): a polietilén kristályos része (*Crystalline parts of the polyethylene*), CPE: klórozott polietilén (*Chlorinated polyethylene*)

Figure 7: Change of the concentration of the solid phase components

Concentration(1), Time of chlorination (min)(2)

8. ábra

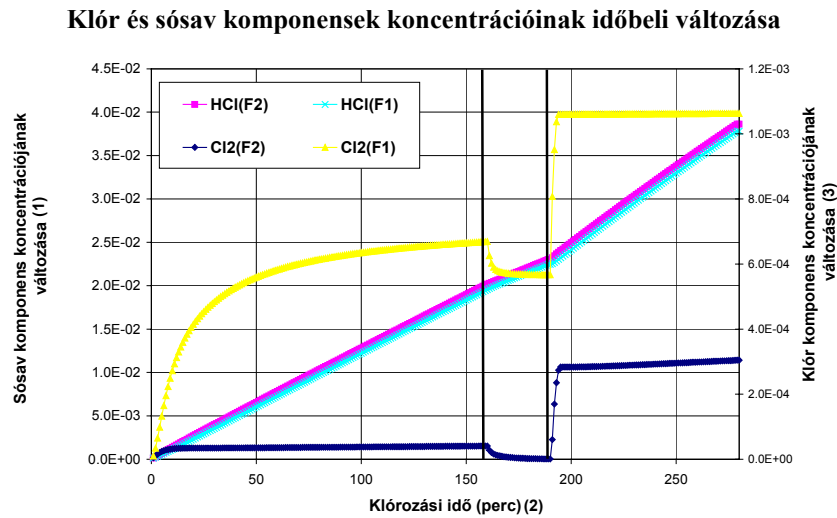


Figure 8: Change of concentration of the component Cl_2 and HCl

HCl concentration(1), Time of chlorination (min)(2), Chlorine concentration(3)

A részletes analízissel feltárhatjuk a lejátszódó részfolyamatok konverzióra gyakorolt hatását, amiből a klórbevezetés és hőmérséklet vezetés optimális körülményei meghatározhatók.

Munkánkat összefoglalva, CPE gyártó technológia kapacitásbővítési lehetőségeinek feltárásához a működő technológia analizisét kellett elvégeznünk. Ehhez a technológia olyan modell rendszerét alakítottuk ki, amely hierarchikus rendszer szemléletet követve, magában foglalja a technológia analizis szempontjából fontos folyamatok leírását, ugyanakkor figyelembe veszi az információ szegény környezetet is. A technológia kulcs műveleteinek modelljét általános célú saját fejlesztésű szimulátor rendszeren képeztük le. A bemutatott szimulátorral elvégezhető vizsgálatok segítséget nyújtanak a technológia optimális munkapontjainak meghatározásához és a kapacitásbővítési döntések megalapozásához.

IRODALOM

- Árva P., Szeifert F. (1981). Kémiai technológiai rendszerek matematikai modellezése, Magyar Kémikusok Lapja, 12. 648-654.
- Filippi C., Bordet, J.L., Villermaux, J., Barney, J.L., Bonte, P., Gerogakis, C. (1975). Tendency modeling of semibatch reactors for optimization and control. Chem. Engng. Sci., 41. 913-920.
- Kun G., Chován T., Szeifert F., Tóth A., Czeller A. (2002). Klórozott polietiléngyártás modellezése, Műszaki Kémiai Napok'02, április
- Marossy K. (1982). A CPE többfázisú szerkezete, Műanyag és Gumi, 3. 19.
- Simándi B., Sawinsky J., Deák A. (2002). Kémiai reaktorok kísérleti vizsgálata és modellezése, Magyar Kémikusok Lapja, 3. 102-105.
- Tóth A., Czeller A. (2001). Klórozott polietilének gyártásának fejlesztése, az alkalmazási lehetőségek bővítése. OAAKK. 3. Balatonfüred, október 14-17.

Corresponding author (*levelezési cím*):

Tibor Chován

Veszprémi Egyetem, Folyamatmérnöki Tanszék

8201, Veszprém, Pf. 158.

University of Veszprém, Department of Process Engineering

H-8201, Veszprém, POB. 158

Tel: +36-88-624 209, fax: +36-88-624 171

E-mail: chovan@fmt.vein.hu