



Számítógéppel segített folyamatmodellezés

Piglerné Lakner R.

Veszprémi Egyetem, Számítástudomány Alkalmazása Tanszék, Veszprém, 8200 Egyetem u. 10.

ÖSSZEFOGLALÁS

A folyamatmodellek használatának széles körű elterjedése valamint az egyre bonyolultabb modellek alkalmazása miatt a folyamatmodellezés a vegyészmérnöki tevékenység egyik alapvető feladatává vált. Emiatt elengedhetetlenek lettek azok a magas szintű számítógéppel segített modellezési technikák, amelyek a folyamatmodellek számítógéppel segített építésén, karbantartásán és ellenőrzésén túlmenően a modellek dokumentálását is támogatják. A folyamatmodellezés általában nem fejeződik be annak elkészítésével, hiszen a túlságosan részletes vagy egyszerű modellek további egyszerűsítésére, illetve bővítésére, legrosszabb esetben pedig új modell elkészítésére van szükség. Az elkészített modell módosítását az ismert számítógéppel segített modellező eszközök csak kis mértékben vagy egyáltalán nem támogatják, ezért érdekes és kihívó feladat a modell egyszerűsítés, illetve bővítés számítógépes megvalósítása. A cikkben bemutatásra kerül egy modell építő eljárás, amely feltételvezérelt módon működve ellenőrzött és minimális folyamatmodelleket állít elő, egy modell egyszerűsítő eljárás, amellyel az elkészített modell egyszerűbb alakra hozható, valamint egy modellezési feltételezés visszafejtő eljárás, amely ugyanazon rendszer két különböző részletességgel leírt modellje ismeretében a modelleket összekapcsoló lehetséges egyszerűsítő feltételezéseket határozza meg.

(Kulcsszavak: számítógéppel segített folyamatmodellezés, modell egyszerűsítés, modellezési feltételezések visszafejtése)

ABSTRACT

Computer-aided process modelling

R. Pigler-Lakner

Department of Computer Science, University of Veszprém, Veszprém, H-8200 Egyetem u. 10., Hungary

Process modelling is a basic and most important activity in process system engineering. This fact explains that several computer-aided modelling tools have been proposed in the literature for automated model construction, verification, validation, analysis and documentation. Process models generated for a given modelling goal may be over-simplified or over-elaborated for another use, that is why there is usually a need to extend, simplify or generate a new model in the worst case. The known computer-aided modelling tools offer little or no support for the modification of the process models, so the automatic computer-aided model simplification and extension is a challenging task. A systematic computer-aided method is presented in this paper to support the model building process based on a well-defined incremental assumption-driven procedure. The resulted models are in a well-defined form, and they are verified and minimal ensured by construction. In addition, a model simplifying process is proposed which is used for refinement of process models by additional simplifying modelling assumptions. The effect of an assumption on a given model is determined by forward reasoning following all of the implications of the assumption through syntactical and

semantical rules. Finally, an efficient assumption retrieval algorithm is presented to generate assumption sequences leading from one model to another in an automated way.

(Keywords: computer-aided process modelling, model simplification, assumption retrieval)

BEVEZETÉS

A folyamatmodellezés (*Hangos és Cameron, 2001*) a vegyészmérnöki tevékenység egyik alapvető feladata, ami a folyamatmodellek használatának széles körű elterjedésével magyarázható, a folyamatrendszerek tervezésétől és szintézisétől kezdve az irányítási és optimalizálási feladatokig. A széles körű alkalmazás mellett fontos megemlíteni, hogy egy vegyészmérnöki tevékenység (például egy irányítási feladat) megvalósítása során a munka jelentős részét a folyamatmodell megalkotása jelenti. Ennek során a modellező gyakran abba a problémába ütközik, hogy a feladat kisebb-nagyobb módosítása vagy új feladat megfogalmazásakor teljesen új modell elkészítésére kényszerül. Ennek oka, hogy az elkészített modellek az esetek nagy részében még hasonló feladatok esetében sem vihetők át egyik feladatról a másikra a modellek rossz vagy hiányos dokumentáltsága, illetve strukturáltsága miatt.

Ezen kívül a nagyszámú alkalmazás mellett egyre bonyolultabb modellek megalkotására van szükség, emiatt elengedhetetlen a magas szintű számítógéppel segített modellezési technikák (*Marquardt, 1996*) használata. Ezt a folyamatot a számítógépes szoftverek és hardverek rohamos fejlődése is támogatja, aminek köszönhetően a folyamatmodellek automatikus elkészítésére számos számítógéppel segített eszköz készült és készül a folyamatmérnök munkájának megkönnyítésére.

Napjainkban nagyszámú kereskedelmi forgalomban kapható számítógépes modellező rendszer segíti a folyamatmérnököt egy előre definiált egység-modellekből felépített folyamatábra modell elkészítése során. Ezek az eszközök azonban legtöbbször nem támogatják kielégítően a modellezőt új modellek építésénél, tesztelésénél és dokumentálásánál. Emiatt az utóbbi években számos kutatócsoport foglalkozik különböző részletességi szintű modellek számítógéppel támogatott elkészítésével.

A folyamatmodellezés nem mindig fejeződik be egy folyamatmodell elkészítésével, hiszen gyakran az elkészített modell az adott feladat megoldásához vagy túlságosan részletes vagy túlságosan egyszerű. Ekkor a modell egyszerűsítésére, illetve bővítésére, legrosszabb esetben pedig új modell elkészítésére van szükség. Egy elkészített modell módosítását az ismert számítógéppel segített modellező eszközök csak kis mértékben vagy egyáltalán nem támogatják, ezért érdekes és kihívó feladat a modell egyszerűsítés, illetve bővítés számítógépes megvalósítása.

Modellek egyszerűsítésénél, illetve bővítésénél az inkonzisztenciák elkerülése érdekében ismerni kell a modell elkészítése, illetve módosítása során alkalmazott feltételeket. Ezeket a modellezési feltételezéseket (*Hangos és Cameron, 2001*) szerencsés esetben a modell dokumentációja tartalmazza, amely azonban sokszor hiányos vagy egyáltalán nem készül el. Ennek pótlásához modellezési feltételezésvissza-fejtő algoritmusok lennének használhatóak. A modellezési feltételezések visszafejtése inverz típusú mérnöki feladat, amelynek nemcsak megoldása, hanem konkrét kitűzése is nehéz probléma.

FOLYAMATMODELLEK ÉPÍTÉSE

A folyamatmodellek szisztematikus mérnöki módszerrel történő elkészítése egy olyan ún. *feltételezésvezérelt modellezési eljárással* valósítható meg, amelyben a modell a

modellezendő rendszerre megadott modellezési feltételezések sorozatának ismeretében készül el, így ezek a feltételezések meghatározzák magát a modellt.

A folyamatirányítási és diagnosztikai alkalmazások többségében olyan tökéletesen kevert modelleket használnak, amelyek a következő *általános modellezési feltételezésekkel* jellemezhetők:

- tökéletesen kevert rendszerek (ezek közönséges differenciál-algebrai egyenletrendszerrel (DAE) leírható modellek),
- kezdeti érték feladatok,
- a fizikai-kémiai tulajdonságok csak a termodinamikai állapotváltozóktól (hőmérséklet, nyomás, koncentrációk) függnék.

A továbbiakban ezeket az alapvető modellezési feltételezéseket felhasználva bemutatásra kerül egy olyan szisztematikus feltételezésvezérelt modellezési eljárás alapján alapuló számítógéppel segített modellező rendszer, amelyben két fő fázis különböztethető meg:

- a folyamatmodellek egyenleteinek specifikációja, a kezdeti modell elkészítése,
- az elkészített modell finomítása, egyszerűsítése további egyszerűsítő modellezési feltételezések megadásával.

A folyamatmodellek elemei

Egy tökéletesen kevert folyamatrendszer modellje a tömeg, a komponens-tömegek, illetve az energia megmaradását leíró közönséges differenciálegyenletekből származik. Az egyenletrendszer megoldásához további kiegészítő algebrai egyenletek definiálása szükséges, amelyek a modell változói közötti fizikai és kémiai összefüggéseket írják le. Mivel a modell különböző változói, egyenletei, illetve egyenlet tagjai közötti kapcsolatok jól definiált szintaktikai, illetve szemantikai relációkkal adhatók meg, a modellt leíró differenciál-algebrai egyenlet halmaz egy olyan struktúrált tudás együttes, amely a következő fő elemekből építhető fel (*Hangos és Cameron, 2001; Lakner et al., 1999; Lakner et al., 2002*):

- *mérlegelési térfogatok*, amelyekre a megmaradási mérlegegyenletek felállíthatóak,
- *modell egyenletek*, amelyek eredetük szerint a következő kategóriákba sorolhatók:
 - *mérlegegyenletek* (differenciális vagy algebrai egyenletek formájában), amelyek a mérlegelési térfogat megmaradó extenzív mennyiségeihez rendelt transzport tagok ismeretében automatikusan elkészíthetők,
 - *transzport mechanizmusokat meghatározó egyenletek* (algebrai egyenletek, amelyekből a mérlegegyenlet tagok meghatározhatók) Mivel egy transzport jelenség az esetek többségében több extenzív mennyiséget is befolyásol, egy transzport tag megadása általában további transzport tag(ok) definiálását indukálhatja,
 - *kiegészítő algebrai egyenletek* (intenzív-extenzív összefüggések, állapotegyenletek, termodinamikai tulajdonság relációk, átadási sebesség összefüggések, reakciókinetikai összefüggések, mérlegelési térfogat megszorítások, berendezési és szabályozási összefüggések),
- *változók*, amelyek a modellben elfoglalt szerepük szerint a következők lehetnek:
 - *megmaradó extenzív mennyiségek* (tömeg, energia, komponens tömegek) minden egyes mérlegelési térfogathoz,
 - *átadási- és reakciósebesség változók*,
 - *termodinamikai állapotváltozók*,
 - *fizikai-kémiai tulajdonság változók*,
 - *mérlegelési térfogatokhoz tartozó valós térfogatok* (fázistérfogatok),
 - *berendezési és irányítási változók*,
 - *tervezési változók*.

A folyamatmodellek elkészítéséhez az alábbi matematikai elemek szükségesek:

- *differenciál egyenletek*, amelyek mérlegegyenletekből származnak,
- *algebrai egyenletek*, amelyek eredete többféle: lehetnek kiegészítő egyenletek, transzport mechanizmusokat meghatározó egyenletek, illetve származhatnak megmaradási egyenletekből,
- *differenciális változók*, amelyek idő szerinti deriváltjai a differenciálegyenletekben szerepelnek,
- *algebrai változók*, amelyek a nem differenciális változók ideértve a konstansokat és tervezési változókat is.

A bemutatott modell elemek közötti szintaktikai és szemantikai kapcsolatokat mutatja be az 1. ábra objektum-orientált módon. A lekerekített téglalapokkal jelölt modell elemek egy-egy osztály példányaként definiáltak, ahol természetes módon ugyanazon osztály többszörös példányai is előfordulhatnak. Az elemek közötti zárt relációkat, illetve szintaktikai és szemantikai összefüggéseket az ábrán nyilak mutatják.

1. ábra

A folyamatmodellek szerkezete

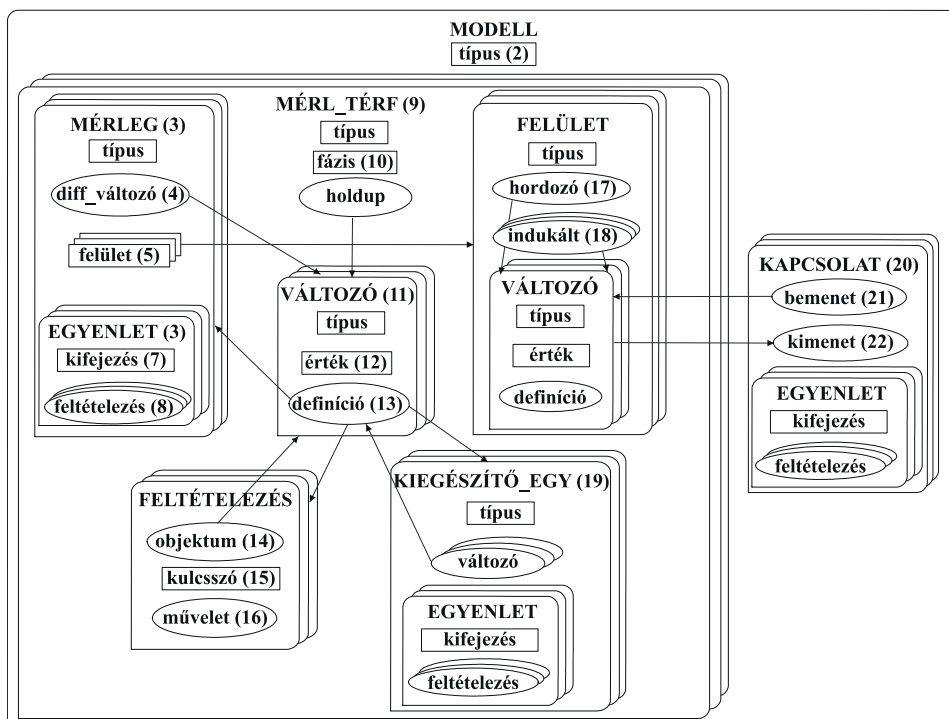


Figure 1: The structure of process models

Model(1), Type(2), Balance(3), Diff. variable(4), Surface(5), Equation(6), Expression(7), Assumption(8), Bound vol.(9), Phase(10), Variable(11), Value(12), Definition(13), Object(14), Keyword(15), Operation(16), Carrier(17), Induced(18), Constitutive(19), Connection(20), Inlet(21), Outlet(22)

Modell építő eljárás

Egy folyamatrendszer adott feladat megoldására alkalmas folyamatmodell egyenletei és modell elemei, illetve a közöttük érvényes relációk definiálásához egy szisztematikus modell építő eljárás szükséges. Habár a modell építés általában egy ciklikus folyamat, amely gyakran visszatér már befejezett lépésekhez, a szisztematikus modell építő eljárás a következő modellezési lépések sorozatával definiálható (Lakner *et al.*, 1999; Lakner *et al.*, 2002):

- *Mérlegelési térfogatok definiálása.* A modellezési cél ismeretében a modellezendő rendszer olyan elemi dinamikai egységekre bontása, amely egységekre triviális megmaradási egyenletek írhatók fel.
- *Extenzív mennyiségek definiálása.* Az összes tömeg, energia és komponens tömeg változók közül azon extenzív mennyiségek definiálása minden egyes, az 1. lépésben definiált mérlegelési térfogathoz, amelyek mérlegegyenletei a modell elkészítéséhez szükségesek.
- *Transzport tagok megadása.* A konvekció, átadás, reakció, illetve forrás/nyelő tagok definiálása minden egyes, az 1. lépésnél definiált mérlegelési térfogathoz és a hozzá kapcsolódó extenzív mennyiségek mérlegeihez, illetve a különböző mérlegelési térfogatok (ideértve a környezetet is) között.
- *Mérlegegyenletek automatikus elkészítése.* Az extenzív mennyiségekhez kapcsolódó transzport tagok ismeretében minden egyes extenzív mennyiség időbeli megváltozását leíró megmaradási egyenlet automatikusan elkészíthető.
- *Kiegészítő algebrai egyenletek definiálása.* A mérlegegyenletekben és a kiegészítő egyenletekben szereplő összes algebrai változó egyenletének meghatározása. Ez egy ciklikus folyamat, amely mindaddig folytatódik, amíg az összes algebrai változó definiált nem lesz.

A modell építési fázis eredménye az adott folyamatmodell elemeit és az elemek közötti relációkat tartalmazó tudásbázis. Ennek ismeretében elkészíthető egy teljes és ellenőrzött DAE modell, amelyben a teljesség az előre definiált modell elemekből történő szisztematikus modellkészítés miatt biztosított.

A modell építő eljárás működésének bemutatása

A modell építő eljárás implementálása Prolog programnyelven történt. Az elkészített modellező eszköz működésének illusztrálása egy egyszerű elpárologtató rendszer példájának segítségével történik.

A vizsgált elpárologtató (Ponton és Gawthrop., 1991) a 2. ábrán látható tökéletesen kevertnek feltételezett egykomponensű, fázisegyensúlyban levő gőz-folyadék rendszer. A rendszerbe F tömegárammal folyadékbetáplálás, V , illetve L tömegárammal pedig gőz-, illetve folyadéklevétel történik. A folyadékfázis fűtését fűtőszál segítségével oldják meg.

A folyamatmodell elkészítése során a korábban bemutatott modell elemek és a köztük le-vő relációk definiálása történik kérdőív-típusú felhasználói felületek segítségével. A 3-5. ábra illusztrálja a modell építés lépéseit, amely a különböző típusú modell elemekre vonatkozó modellezési feltételezések kikérdezésével és ezek összes következményének figyelembevételével történik. A modell építés eredményeképpen egy lépésről-lépésre bővülő modellt leíró Prolog tudásbázis készül el. A tudásbázis alapján meghatározott modell egyenletek a 6. ábrán láthatók.

2. ábra

Az elpárologtató rendszer folyamatábrája

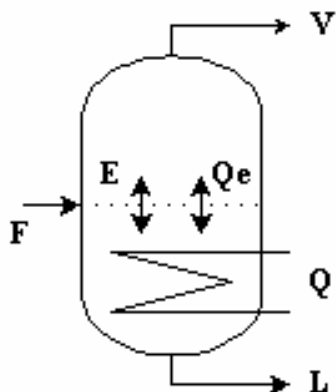


Figure 2: The flowsheet of the evaporator

3. ábra

Mérlegelési térfogat definiálása

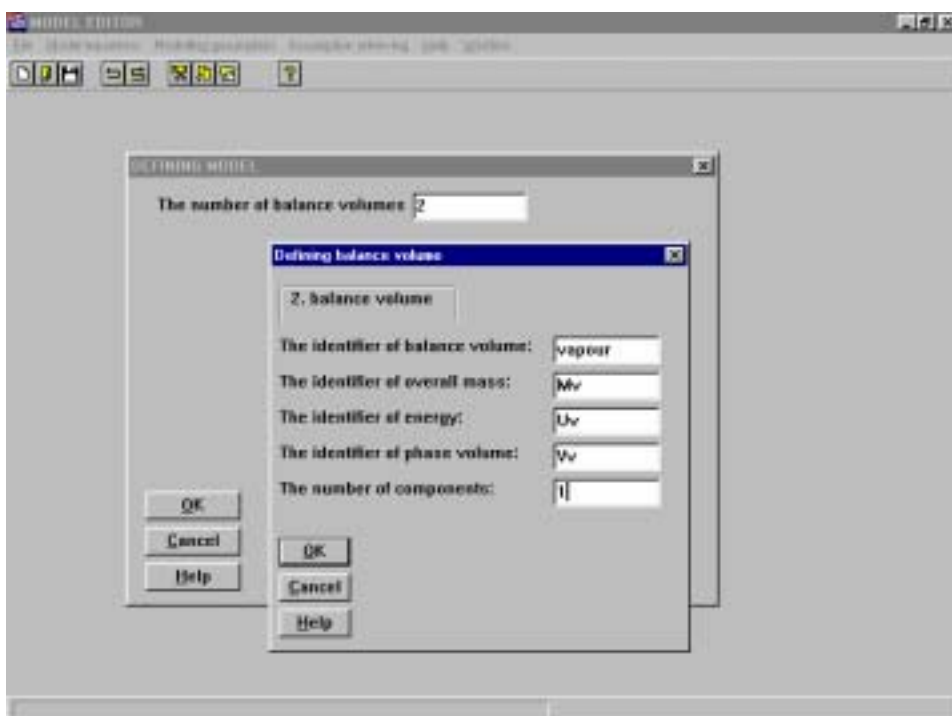


Figure 3: Specification of balance volume

4. ábra

Transzport mechanizmusok definiálása

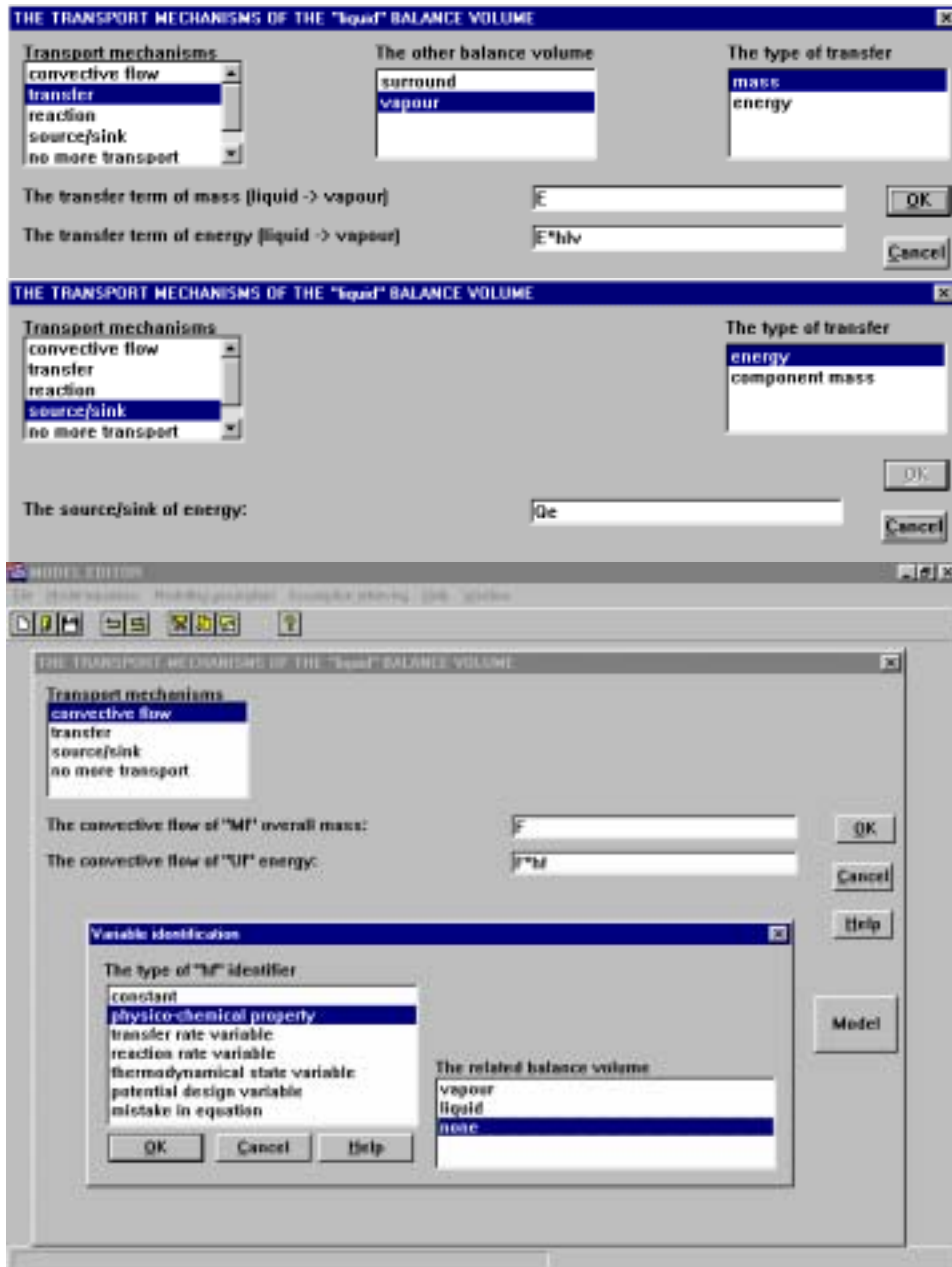


Figure 4: Specification of transport mechanisms

5. ábra

Változó egyenletének specifikálása

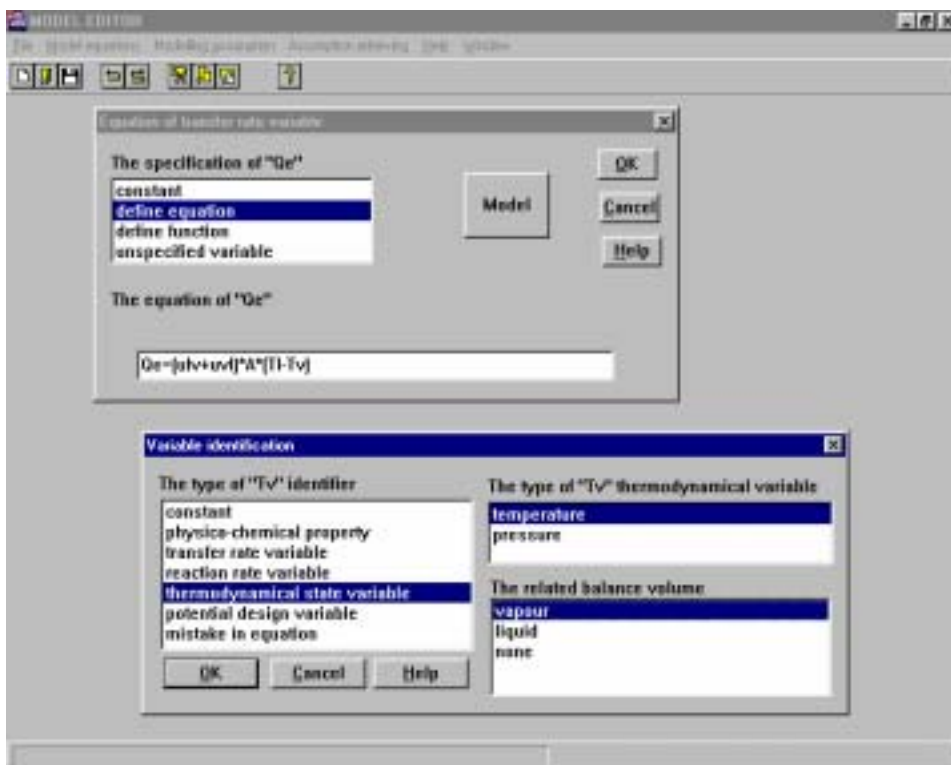


Figure 5: Specification of variable's equation

FOLYAMATMODELLEK EGYSZERŰSÍTÉSE

Modellezési feltételezések

A folyamatmodellezés egyik legfontosabb lépése a *modellezési feltételezések* specifikálása. A modellezési feltételezések a modellezési folyamat különböző fázisai során a modellezendő rendszerről alkotott mérnöki ismereteket és döntéseket reprezentálják, amelyek alapján a folyamatrendszerek matematikai modellje elkészíthető és módosítható. Megkülönböztethetők a modellezési folyamat kezdeti építési fázisában alkalmazott modellezési feltételezések, az ún. modell építő feltételezések, amelyek meghatározzák a modell szerkezetét, valamint egy már meglévő modellre alkalmazott egyszerűsítő, illetve bővítő feltételezések, amelyek módosíthatják a modell egyenleteket, s bizonyos esetekben a modell szerkezetét is megváltoztathatják. A továbbiakban ez utóbbi csoportba tartozó modellezési feltételezésekről lesz szó, amelyek általában az alábbi két kategória egyikébe sorolhatók:

- kiegészítő matematikai összefüggések a modell változók és paraméterek között, vagy
- megszorítások a korábban bevezetett változókra, illetve paraméterekre.

6. ábra

Az elpárologtató rendszer modellje

```
Free model
CONSERVATION BALANCES

Mass
dMv/dt=-V+E
dMl/dt=F-L-E

Energy
dUv/dt=-V*hv+Qe+E*hlv
dUl/dt=F*hl-L*hl-Qe-E*hlv+Q

CONSTITUTIVE EQUATIONS
Transfer rate equations
E=(kdv+kvf)*A*(Pcs-P)
Qe=(ulv+uvf)*A*(Tl-Tv)

Property relations
hv=fu1(Tv,P)
hlf=fu2(Tl,P)
hl=fu3(Tl,P)
hf=fu4(Tl,P)
kdv=fu5(Tl,Tv,P)
kvf=fu6(Tl,Tv,P)
ulv=fu7(Tl,Tv,P)
uvf=fu8(Tl,Tv,P)
rol=fu11(Tl,P)
Pcs=fu9(Tl)
Uv=Mv*hv
P*Vv=Mv/mw*R*Tv
Ul=Ml*hl
constants: Tf

Balance volume relations
Vl=Ml/rol
Vv=Vt-Vl

Equipment and control relations
L=fu10(Ml)
constants: A, Vt
pdes: V, F, Q
```

Figure 6: The model of the evaporator system

Az elemi modellezési feltételezések formális leírására egy hármas használható a következő alakban (Hangos és Cameron, 2001; Lakner et al., 1999; Lakner és Hangos, 2001; Lakner et al., 2001):

változó_név **reláció** *kulcsszó*

ahol:

változó_név: egy modell elem azonosító,

reláció: egy reláció azonosító, amely legtöbb esetben egyenlőség (=) vagy "is",

kulcsszó: egy konstans (numerikus vagy szimbolikus) vagy egy másik *változó_név*.

Néhány egyszerű példa elemi modellezési feltételezések formális leírására:

a reaktorban nincs hőátadás:	<i>reaktor_hőátadás is nil</i>
a gőz- és folyadékfázis hőmérséklete azonos:	T_G same as T_F
a reakcióhő elhanyagolható:	ΔH_R is negligible

A modellezési feltételezések lehetnek a bemutatott elemi (atomi) feltételezések vagy feltételezések konjunkciójaként előállított összetett feltételezések. Ezen szintaxis szabályok alapján a modellezési feltételezések úgynevezett *kanonikus* alakban állíthatók elő. Megjegyzésként megállapítható, hogy a modellezési feltételezések diszjunkciója is értelmezhető, ez azonban több különböző modellezési feltételezés alternatívát, s ennek eredményeként több különböző modellt jelent.

A modellezési feltételezések szemantikája a feltételezések hatását írja le egy adott modellre, amely szerint a modellezési feltételezések a modell egyenleteken végzett formális transzformációknak tekinthetők. Ezek hatását egyrészt a feltételezések szintaktikája, másrészt pedig a modell szerkezete határozza meg, s a transzformáció eredményeként transzformált (egyszerűsített vagy bővített) modell(ek) állítható(k) elő. Elemi feltételezések hatását vizsgálva - ezek alkalmazhatósága esetén - az eredmény modell egyértelmű, azonban összetett feltételezések esetén a konjunkciót alkotó elemi feltételezések alkalmazási sorrendjének megváltoztatása más-más modellt eredményezhet, illetve előállhat olyan eset is, hogy bizonyos feltételezés sorrend nem alkalmazható. Ez azzal magyarázható, hogy a modellezési feltételezések összefüggőek lehetnek, s ebben az esetben nem mindig kommutatívak.

A modellezési feltételezések hatása a modell egyenletekre szintaktikai, illetve szemantikai szabályok segítségével írható le. A teljesség igénye nélkül néhány transzformációs szabály a következő:

Ha	<i>algebrai_változó (V) is negligible</i>
akkor	V meghatározó egyenlete: $V=0$, és V további előfordulásai: V helyettesítése 0-val.
Ha	<i>transzport_mechanizmus is nil</i>
akkor	transzport tag egyenlete: törlés, és mérlegegyenleteben szereplő transzport tag: törlés, és <i>indukált_transzport_mechanizmus(ok) is nil</i> .
Ha	<i>differenciális_változó is constant</i>
akkor	differenciális változó: konstans, és differenciális változó mérlegegyenlete: algebrai egyenlet.

A bemutatott szabályokból jól látható, hogy a modellezési feltételezések hatása általában több modell elemére is kiterjed, s egyes modellezési feltételezések továbbiakat is indukálhatnak. Modell transzformáció során egy elemi vagy összetett modellezési feltételezés hatása a modell egyenletekre az összes alkalmazható szabály végrehajtásával, úgynevezett *előrefelé haladó következtetéssel* valósítható meg.

Az elemi modellezési feltételezések rendszerezése egy természetes hierarchia szerint történhet aszerint, hogy mennyire széleskörű a feltételezés modellre gyakorolt hatása. Ezek szerint a következő, a feltételezések hatása szerint csökkenő sorrendbe rendezett hierarchiaszintek különböztethetők meg:

- mérlegelési térfogatra vonatkozó feltételezések,
- differenciális változóra vonatkozó feltételezések,
- transzport mechanizmusokra vonatkozó feltételezések,
- kiegészítő egyenletekre vonatkozó feltételezések,
- algebrai változókra vonatkozó feltételezések.

Modell transzformáció során érdemes először a magasabb hierarchiaszinten levő feltételezések hatását vizsgálni, hiszen ezek módosítják leginkább a modellt, majd a módosított modellt az alacsonyabb hierarchiaszinten levő feltételezésekkel tovább finomítani.

Modellezési feltételezések hatása a folyamatmodellre, előrefelé haladó következtetés

Egy feltételezés modellre gyakorolt hatásának meghatározásához a megfelelő modell transzformációk elvégzésére van szükség. Mivel ezek a transzformációk hatékonyan megfogalmazhatók "ha-akkor" alakú következtetési szabályok formájában, s az alkalmazható szabályok végrehajtásával eljutunk a transzformált modellhez, maga a transzformáció folyamata előrefelé haladó következtetéssel valósítható meg.

Egy meglevő modell bonyolultabbá (bővebbé) alakítható modell bővítő, valamint egyszerűbb alakra hozható modell egyszerűsítő feltételezésekkel. Ezek közül a gyakorlatban a modell egyszerűsítés használata a gyakoribb, mivel egyrészt az első lépésben megalkotott modellek sokszor túl részletesek, emiatt egyszerűsítésre van szükség, másrészt a modell egyszerűsítés könnyebb (de még így is elég bonyolult) feladat, mint a modell bővítés. Egy túlságosan egyszerű modellt sokszor könnyebb előlről kezdve újra felépíteni, mint modell bővítő feltételezésekkel bonyolultabb formára hozni. Az említett gondolatok alapján a továbbiakban a modell egyszerűsítésről lesz szó.

Modell egyszerűsítésénél a cél az adott modellezési feltételezés hatását leíró összes alkalmazható transzformáció elvégzése után kapott egyszerűsített modell meghatározása a lehető legegyszerűbb algebrai formában. Ennek előállítását a következő két lépésben történik:

- modell egyszerűsítő transzformációk végrehajtása,
- formális algebrai transzformációk végrehajtása.

A modell egyszerűsítő transzformációkat leíró szintaktikai és szemantikai szabályok végrehajtása a következő egyszerű elv szerint történik: amennyiben egy szabály feltételi része igaz (azaz adott a szabály feltételi részében szereplő feltételezés), a szabály következmény része is igazzá válik (azaz a következmény részben szereplő modell módosítások és esetleges újabb feltételezések - amelyek újabb szabályok végrehajtását indukálják - elvégzésre kerülnek). Természetesen a folyamat mindaddig folytatódik, amíg a végrehajtható szabályok el nem fogynak.

A modell egyszerűsítő transzformációk működése a következő példa segítségével, nevezetesen a modell építésnél bemutatott elpárologtató rendszer (Ponton és Gawthrop, 1991) modell-részletén elvégzett egyszerűsítéssel jól nyomon követhető:

A modell:

$$Q_E = (u_{LV} + u_{VL}) * A * (T_L - T_V)$$

$$h_V = h_V(T_V, P)$$

$$U_V = M_V * h_V(T_V, P) \quad (T_V \text{ meghatározó egyenlete})$$

A feltételezés:

$$T_V \text{ same as } T_L$$

Az alkalmazott transzformációs szabály:

Ha	<i>algebrai_változó</i> (V1) same as <i>algebrai_változó</i> (V2)
akkor	V1 meghatározó egyenlete: V1=V2, és V1 további előfordulásai: V1 helyettesítése V2-vel.

Az egyszerűsített modell:

$$Q_E = (u_{LV} + u_{VL}) \cdot A \cdot (T_L - T_L)$$

$$h_V = h_V(T_L, P)$$

$$T_V = T_L \quad (T_V \text{ meghatározó egyenlete})$$

A modell egyszerűsítés elvégzése után az egyszerűsített modell egyenleteket a könnyebb kezelhetőség és átláthatóság érdekében érdemes algebrailag ekvivalens, azonban egyszerűbb alakra hozni. Ez szintaktikai szabályok segítségével végrehajtott formális algebrai transzformációk segítségével valósítható meg, amely során az egyenletek átalakítása ciklikus folyamatban az alkalmazható szabályok végrehajtásával történik. Az előző példa folytatásaként szemléltethető a modell egyenletek formális átrendezése.

Az alkalmazott transzformációs szabályok:

Ha	a kivonás operátor két operandusa azonos
akkor	a kifejezés: 0.
Ha	a szorzás operátor valamelyik operandusa 0
akkor	a kifejezés: 0.

Az átrendezett egyszerűsített modell:

$$Q_E = 0$$

$$h_V = h_V(T_L, P)$$

$$T_V = T_L$$

A modell egyszerűsítő eljárás

Egy adott folyamatmodellre alkalmazható modellezési feltételezések meghatározása, valamint az egyszerűsítés(ek) eredményeképpen keletkező modell létrehozása a következő jól definiált lépésekből álló eljárással valósítható meg (Lakner et al., 1999; Lakner és Hango, 2001; Lakner et al., 2001):

1. *A lehetséges feltételezések összegyűjtése.* Egy a modell építésnél bemutatott szerkezetű egyszerűsítendő folyamatmodell ismeretében a modellen elvégezhető egyszerűsítő feltételezések automatikusan meghatározhatók. Ezt a modell tudásbázisában a konkrét modell elemekről tárolt információk, valamint a modell elem típusokra alkalmazható modellezési feltételezés készlet előzetes definiálása teszi lehetővé.
2. *Egy egyszerűsítő feltételezés kiválasztása.* Az összegyűjtött lehetséges egyszerűsítő feltételezések közül történik egy megvizsgálandó feltételezés kiválasztása.
3. *Előrefelé haladó következtetés.* A kiválasztott egyszerűsítő feltételezés hatása a folyamatmodellre a korábban bemutatott szintaktikai és szemantikai szabályok alkalmazásával meghatározható. Ez két jól elkülöníthető lépésre bontható előrefelé haladó következtetéssel valósítható meg: a modellezési feltételezések hatását leíró modell egyszerűsítő, majd a modell egyszerűbb alakra hozását segítő formális algebrai transzformációk végrehajtásával.
4. *Az egyszerűsített modell vizsgálata.* Az előrefelé haladó következtetés eredményeképpen egy egyszerűsített modell keletkezik, amelyről a modellező a következőképpen dönthet:
 - amennyiben megfelel a céljainak, véget ér a modell egyszerűsítés,
 - amennyiben további egyszerűsítésre van szükség, az 5. lépéssel folytatódik a modell egyszerűsítés,

- amennyiben pedig az utolsó egyszerűsítő lépés nem vezetett jó irányba, az utolsóként tett egyszerűsítő feltételezés törlése és az előző modell állapot visszaállítása után a 2. lépéssel folytatódik a modell egyszerűsítés.
- 5. *A lehetséges feltételezések módosítása.* Amennyiben a modell további egyszerűsítésére van szükség, a lehetséges egyszerűsítő feltételezések közül érdemes eltávolítani azokat, amelyek egy korábbi feltételezésnek ellentmondanak vagy amiatt feleslegessé válnak. Ez a lépés a modellezési feltételezések hierarchiájának ismeretében automatikusan elvégezhető.
- 6. *Visszatérés a 2. lépéshez.*

A modell egyszerűsítés eredménye az egyszerűsített folyamatmodell elemeit, beleértve a modell egyenleteket, valamint az alkalmazott modellezési feltételezéseket tartalmazó tudásbázisok.

A modell egyszerűsítő eljárás működésének bemutatása

A modell egyszerűsítő eljárás számítógépen történő implementálása Prolog programnyelven készült el, amelyben az egyszerűsítendő modellre alkalmazható modellezési feltételezések meghatározása után az egyszerűsítő modellezési feltételezés(ek) kiválasztása egy menüvezérelt felhasználói felületen történik, az egyszerűsítési folyamat pedig logikai következtetések segítségével valósul meg. Az elkészített modell egyszerűsítő eljárás lépései a következők:

1. *A lehetséges feltételezések összegyűjtése* az egyszerűsítendő modell beolvasásával egyidőben automatikusan történik meg, s a modellre alkalmazható feltételezések modell elem típusonként csoportosítva a 7. ábrán látható legördülő menüben jelennek meg.
2. *Egy egyszerűsítő feltételezés kiválasztása* a 7. ábrán bemutatott menü egyik elemének kijelölésével lehetséges.
3. *Előrefelé haladó következtetéssel* határozható meg a kiválasztott egyszerűsítő feltételezés hatása, amely egy egyszerűsített modellt eredményez. A 8. ábra együtt mutatja be a kiindulási és az egyszerűsített modellt, valamint az alkalmazott modellezési feltételezéseket.
4. *Az egyszerűsített modell vizsgálata* a 8. ábrán látható egyszerűsített modell tanulmányozásával történik. Amennyiben további egyszerűsítés szükséges, a felhasználónak nyilatkoznia kell a legutolsóként alkalmazott modellezési feltételezés megtartásáról avagy visszavonásáról.
5. *A lehetséges feltételezések módosítása* az újabb modellezési feltételezések kiválasztása előtt történik a 7. ábrán található legördülő menü automatikus módosításával. A módosítás során az ellentmondásossá, illetve redundánssá váló modellezési feltételezések a menüben kiválaszthatatlanná válnak. Az ellentmondásos, illetve redundáns feltételezések automatikus kiszűrése a modell elemek szintaktikai kapcsolatainak valamint a feltételezés-hierarchiák ismeretében valósítható meg. Így például egy mérlegelési térfogat törlése után bármelyik hozzá tartozó változóra megadott további feltételezés ellentmondásra vezetne, egy elhanyagolható (azaz 0 értékű) modell elemre tett konstans feltételezés pedig redundáns lenne.
6. *Visszatérés a 2. lépéshez.*

7. ábra

Lehetséges modell egyszerűsítő feltételezések

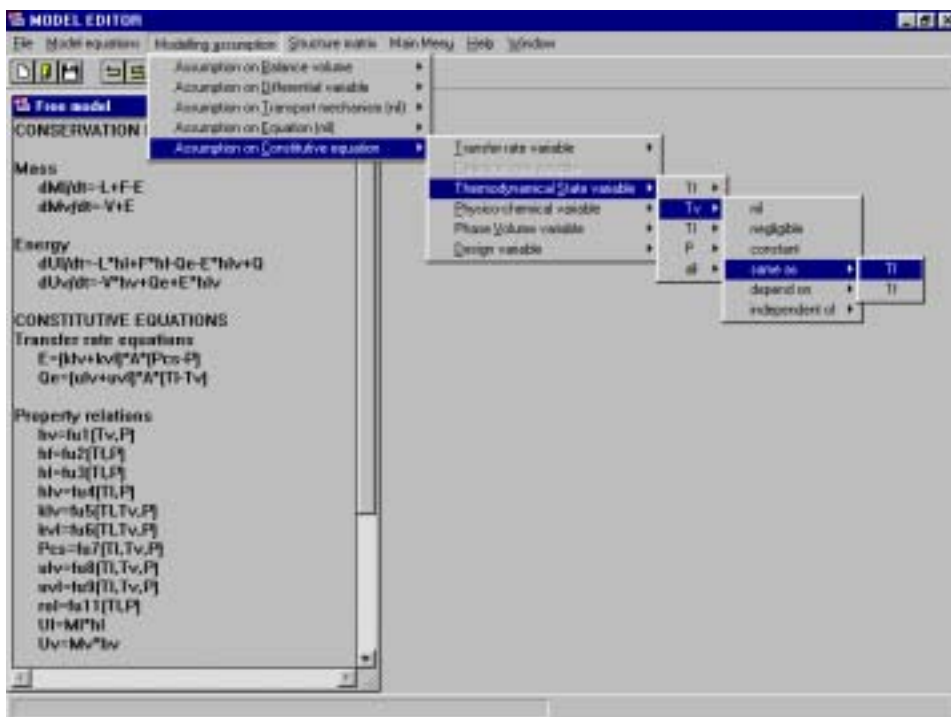


Figure 7: Possible model simplification assumptions

A továbbiakban a modell egyszerűsítő eljárás működése a folyamatmodellek építésénél ismertetett elpárologtató rendszerre (Ponton és Gawthrop, 1991) alkalmazott egyszerűsítő feltételezés sorozat modellre gyakorolt hatásának végigkövetésével kerül bemutatásra.

A modell egyszerűsítő feltételezések:

- A gőz mérlegelési térfogat elhanyagolható: *vapour is negligible*
- A fázisok hőmérséklete azonos: T_L same as T_V
- A fizikai-kémiai tulajdonságok állandók. Ez egy összetett modellezési feltételezés, amely *X is constant* szerkezetű egyszerű modellezési feltételezések konjunkciója, ahol $X = \rho_L, k_{LV}, k_{VL}, u_{LV}, u_{VL}, h_V, h_L, h_F$ (azaz X egy fizikai-kémiai tulajdonság változó).

A modell egyszerűsítő feltételezések hatása:

- A gőz mérlegelési térfogat elhanyagolható, ezért a gőz mérlegelési térfogathoz tartozó differenciális változók és a gőz fázistérfogata szintén elhanyagolhatók lesznek: $M_V=0, U_V=0, V_V=0$. Ezzel egyidőben M_V, U_V és V_V minden egyes előfordulása 0-val helyettesítődik. A fáziselhanyagolás következtében a differenciális változókhoz tartozó mérlegegyenletek algebrai egyenletekké válnak: $0=-V+E, 0=-V \cdot h_V + Q_E + E \cdot h_{LV}$. A gőz mérlegelési térfogat tömegmérlegéből átrendezéssel a

$V=E$ egyenlet keletkezik, amely lehetővé teszi V változó minden egyes előfordulásának E -vel történő behelyettesítését.

- A két fázis hőmérséklete azonos, ezért T_L meghatározó egyenlete a $T_L=T_V$ egyenlet lesz, s T_L minden egyéb előfordulása T_V -vel helyettesítődik. A fázisok közötti termikus egyensúly miatt természetesen a fázisok közötti energiaátadás, Q_E is 0-vá válik.
- A konstans fizikai-kémiai tulajdonság feltételezés miatt a ρ_L , k_{LV} , k_{VL} , u_{LV} , u_{VL} , h_V , h_L , h_F változók konstansokká válnak.

A 8. ábrán külön-külön ablakokban láthatók az egyszerűsítés eredményeként kapott egyszerűsített modell (transformed model), a kiindulási modell (free model), valamint az alkalmazott egyszerűsítő feltételezések (modelling assumptions).

8. ábra

A modell egyszerűsítés eredménye

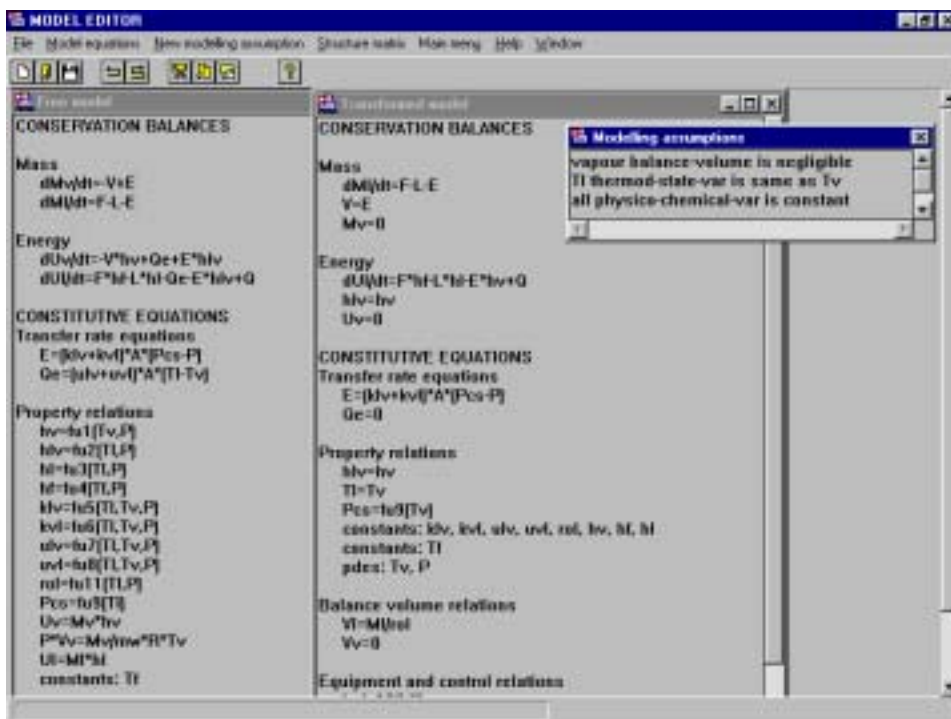


Figure 8: The result of model simplification

MODELLEZÉSI FELTÉTELEZÉSEK VISSZAFEJTÉSE

A modellezési feltételezések visszafejtése (Lakner és Hangos, 2001; Lakner et al., 2001) a folyamatmodellezés egy fontos, azonban a korrekt, kiforrott mérnöki értelmezés és hatékony algoritmus hiánya miatt nem szokásos lépése. Feltételezés-visszafejtés során egy fizikai rendszert leíró két különböző részletességű modell azon modellezési feltételezéseinek meghatározása történik, amelyek alkalmazásával a részletesebb modell

az egyszerűbb modell alakra transzformálható. Az alkalmazott modellezési feltételezések utólagos megállapítása a hiányos vagy elmaradt dokumentáció pótlására szolgálhat, ezen kívül az azonos hatást eredményező modellezési feltételezések értelmezése segíti a modell analízisét, a modellre már alkalmazott modellezési feltételezések meghatározása pedig lehetővé teszi az inkonzisztenciák elkerülését a modell továbbfejlesztése, valamint modellek integrálása során.

A feltételezés-visszafejtés a modell egyszerűsítés inverz feladatának tekinthető, amelynek célja az azt megelőző modell egyszerűsítő fázis során lehetségesen alkalmazott modellezési feltételezések meghatározása a kiindulási és az eredmény modellek alapján. Mivel egy bonyolultabb kiindulási modell egyszerűsítése során számos esetben többféleképpen, többféle modellezési feltételezés sorozat alkalmazásával is előállítható ugyanaz az egyszerűsített modell, a feltételezés-visszafejtés során az eredmény feltételezés-sorozat nem egyértelműen meghatározott, így a cél egy vagy az összes lehetséges feltételezés-sorozat előállítása lehet.

A feladat a modell egyszerűsítéshez hasonlóan *előrefelé haladó következtetéssel* valósítható meg, ahol az összes lehetséges egyszerűsítő feltételezés és a hozzá tartozó következtetési lépések kipróbálása *kereséssel* történik. A keresési feladatnál adott a keresési tér kezdeti-, illetve célállapota (azaz a részletes, illetve az egyszerűsített modell) valamint az alkalmazható akciók (azaz a modell egyszerűsítő transzformációk) készlete, s keresendő egy vagy az összes lehetséges út (modell transzformáció sorozat) a kezdeti- és a célállapot között.

A feltételezés-visszafejtés következtetéssel történő megfogalmazása a keresés irányától függően alapvetően kétféleképpen történhet:

I. Következtetés a bonyolultabb modellből kiindulva (előrefelé haladó keresés)

Előrefelé haladó keresés során a kezdeti állapotból, azaz a részletes modellből indul a keresés, s az egyszerűsítő feltételezések végrehajtásával keletkező egyszerűbb modell alakok előállítása mindaddig folytatódik, amíg (az összes lehetséges módon) nem sikerül a célállapotként definiált egyszerűsített modell elérése.

A keresés megvalósításakor problémát okoz az egy adott modellre alkalmazható lehetséges feltételezések nagy száma, amely az egy modellből közvetlenül előállítható egyszerűsített modellek számát, azaz az állapotok elágazási tényezőjét adja meg. Ez a példaként bemutatott egyszerű elpárologtató rendszer modell esetén is több száz lehet, amely előrevetíti a kombinatorikus robbanás problémáját. Ez egyrészt kiküszöbölhető a lehetséges feltételezések számának csökkentésével, amely a kezdeti, illetve a célállapotot leíró modellek összehasonlításával valósítható meg, s az összehasonlítás eredményeként modellezési feltételezések csupán azokra a modell elemekre adhatók meg, amelyek a két modellben különböznek. Másrészt gyakorlati és mérnöki megfontolások alapján a keresési fa mélysége korlátozható, hiszen a modell egyszerűsítési folyamat az esetek többségében néhány modell egyszerűsítő feltételezés alkalmazásából áll.

II. Következtetés az egyszerűbb modellből kiindulva (hátrafelé haladó keresés)

Mivel a feltételezés-visszafejtés a modell egyszerűsítés inverz feladatának is megfogalmazható, kézenfekvőnek tűnik az egyszerűsített modell bonyolultabb modellé alakítása fordított irányú transzformációk segítségével. Ebben az esetben a kiindulási állapot természetesen az egyszerűsített modell, a keresés során alkalmazható akciók pedig az inverz egyszerűsítő feltételezés transzformációk, amelyek segítségével az előd (részletesebb) modellek előállíthatók. A keresés a kezdőállapotban megadott részletes modell (összes lehetséges módon történő) eléréséig folytatódik. A módszer ilyen formában az esetek nagy részében nem használható, mivel ezek a vetítés típusú

feltételezés transzformációk nem mindig invertálhatók. A módszer alkalmazásával azonban az invertálható feltételezések végrehajtása során előállított részben visszafejtett modelleket az ismertett előrefelé haladó kereséssel megvalósított következtetés "jobb" (kevesebb számú transzformációval elérhető) célállapotainak tekintve a keresési fa mérete jelentősen csökkenthető.

A feltételezés-visszafejtő eljárás

A modellezési feltételezések visszafejtése során feltételezés-sorozat(ok) előállítása a cél, amely(ek) alkalmazásával egy megadott részletes modell egy másik, szintén meghatározott egyszerűbb modell alakra transzformálható. A megoldás kereséssel történik, ahol a keresési tér állapotai a folyamatmodellek, az akciók pedig a modellezési feltételezések. Mivel a nagy elágazási tényező miatt a keresés során egyidejűleg kezelendő nagyszámú strukturált tudásegységgel definiált folyamatmodellek egyidejű tárolása nehézségeket okozhat, a modellek tárolása helyett érdemesebb a vizsgálandó modelleket közvetlenül a kezdeti állapotból előállítani. Ebben az esetben mindig három modell (kezdeti-, cél-, illetve aktuális állapot) kezelését kell megoldani egyidőben, s emellett gondoskodni kell arról, hogy az összes lehetséges feltételezés, illetve feltételezés-sorozat kipróbálásra kerülhessen.

A feltételezés-visszafejtő eljárás (Lakner és Hangos, 2001; Lakner et al., 2001) a következő főbb lépésekből áll:

1. Modellek összehasonlítása

A modellek összehasonlítása a megadott részletes, illetve egyszerűsített modellek durva összevetését jelenti, amely során a modellekben szereplő modell elemek (mérlegelési térfogatok, változók és modell egyenletek) számának és típusának összehasonlítása történik meg. Ennek alapján eldönthető, hogy a két modell ugyanazt a folyamatrendszert definiálja-e azonos modell hierarchiában és modell struktúrában megadva. Ha a két modell nem ugyanannak a rendszernek különböző részletességű modellje, az összehasonlítás sikertelen, s a modellezési feltételezések visszafejtése sikertelenül véget ér.

2. Hátrafelé haladó keresés

A hátrafelé haladó keresés során az egyszerűsített modellből kiindulva, a modell egyszerűsítés során egyértelműen alkalmazott inverz modellezési feltételezések segítségével részben visszafejtett modellek előállítása történik, amelyek a következő előrefelé haladó keresési lépés lehetséges célállapotai lesznek. Ezen lépés részletes kidolgozásához természetesen szükség van az invertálható modellezési feltételezések, illetve az inverz transzformációk meghatározására, amely önmagában is nagy és nehéz feladat.

3. Előrefelé haladó keresés

Az előrefelé haladó keresés a következő részfeladatokra osztható:

- Egy lehetséges célállapot kiválasztása

A hátrafelé haladó kereséssel meghatározott, az előrefelé haladó kereséssel még nem vizsgált részlegesen visszafejtett modellek egyike, ennek hiányában pedig a feladat megfogalmazásakor definiált egyszerűsített modell alkotja az előrefelé haladó keresés célállapotát. Az összes lehetséges célállapot kipróbálása után a keresés véget ér.

- A lehetséges feltételezés-lista összegyűjtése

A keresés kezdeti állapotára, azaz a részletes modellre alkalmazható modellezési feltételezések a modell elemek és a feltételezések készletének ismeretében

gyűjthetők össze. Az egy modellre alkalmazható feltételezések nagy száma miatt szükség van a lehetséges feltételezések számának csökkentésére. Ez a kiindulási-, illetve a célállapotot tartalmazó modellek elemeinek összehasonlításával történik, amely során modellezési feltételezések csupán a két modell különbözőképpen definiált modell elemeire adhatók meg. Az így összegyűjtött egyszerűsítő feltételezések a hierarchia sorrendnek megfelelően egy listára kerülnek, amely lista elemeinek egymás utáni kiválasztása biztosítja a lehetséges feltételezések szisztematikus végigpróbálását a keresés során.

- *Keresés iteratív mélyítéssel*

Iteratív mélyítési technika felhasználásával a részletes modellből kiindulva a lehetséges feltételezésekkel végrehajtott modell egyszerűsítéssel részben egyszerűsített modellek állíthatók elő, amelyek a célállapotként megadott modellel összehasonlításra kerülnek. Egyezés esetén a modell eléréséhez felhasznált egyszerűsítő feltételezés sorozat (amely természetesen a hátrafelé haladó keresésnél felhasznált egyszerűsítő feltételezést is tartalmazza) ad egy lehetséges megoldást. Különbözőség, valamint az összes lehetséges megoldás megadása esetén a keresés a modell további egyszerűsítésével folytatódik.

A modellre alkalmazható feltételezések, azaz az állapotok elágazási tényezője egy modell egyszerűsítés sorozatot tartalmazó út mentén lépésről-lépésre csökken. Ez annak köszönhető, hogy a már alkalmazott egyszerűsítő feltételezések miatt bizonyos további feltételezések a már meglevő feltételezéseknek ellentmondanak vagy a már meglevő feltételezések miatt redundánssá válnak. Ezt felhasználva a keresési fa mérete korlátozható minden egyes keresési lépésben az ellentmondó és redundáns modellezési feltételezések feltételezés-listáról való eltávolításával.

Gyakorlati és mérnöki megfontolások alapján a keresési fa maximális mélységére egy korlát definiálható, amelyet a keresés megkezdése előtt a felhasználó ad meg. (Jelen esetben ez a korlátérték maximum 3 lehet.)

- *Visszatérés a 3. lépéshez*

A feltételezés-visszafejtés eredménye feladattól függően egy vagy az összes egyszerűsítő feltételezés sorozat, amely alkalmazásával a megadott részletes modell a megadott egyszerű alakra transzformálható.

A feltételezés-visszafejtő eljárás működésének bemutatása

A feltételezés-visszafejtő eljárás implementálása Prolog programnyelven történt, amelynek működését és az eredményül kapott feltételezés-sorozatokat az elpárologtató rendszer modell (Ponton és Gawthrop, 1991) segítségével illusztrálom.

A kiindulási modellek:

- részletes modell: a modell építésnél ismertetett elpárologtató rendszer modell
- egyszerűsített modell: az alábbi két egyszerűsítő feltételezés alkalmazásával keletkező modell:
 - a gőz mérlegelési térfogat összes tömege állandósult állapotú: M_V is constant
 - a fizikai-kémiai tulajdonságok állandóak: *all physico-chemical-variable is constant*

A 9. ábra "Free model", illetve "Transformed model" ablakaiban láthatók a megadott részletes, illetve egyszerűsített modellek.

9. ábra

A feltételezés-visszafejtés felhasználói felülete

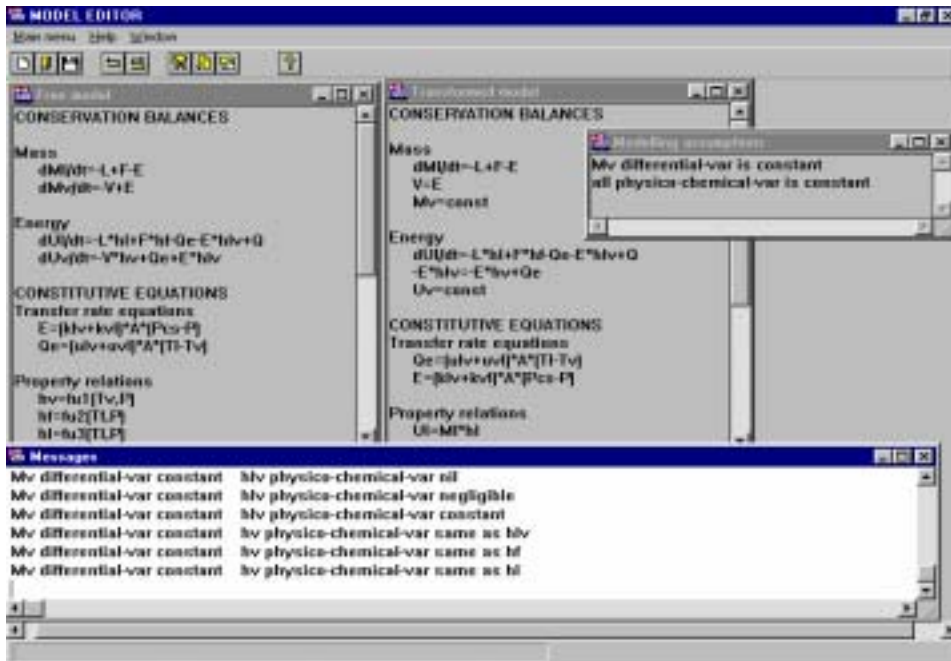


Figure 9: The user interface of assumption retrieval

A feltételezés-visszafejtés lépései:

Modellek összehasonlítása

A példában megadott részletes és egyszerűsített modellek durva összehasonlítása sikeres, hiszen mindkét modell azonos számú és azonosítójú mérlegelési térfogatot, valamint azonos számú, azonosítójú és típusú változót továbbá egyenletet tartalmaz.

Visszafelé haladó keresés

Ez az eljárás még nem teljesen kidolgozott lépése, így jelen pillanatban a részben visszafejtett modell azonos a kiindulási lépésben megadott egyszerűsített modellel.

Előrefelé haladó keresés

A keresési fa maximális mélységét definiáló korlát értékének beállítása a 10. ábrán látható módon történik, amely jelen esetben 2.

- Egy lehetséges célállapot kiválasztása

A feladat egyetlen célállapota a beolvasott egyszerűsített modell.

- Lehetséges feltételezés-lista összegyűjtése

A részletes, illetve az egyszerűsített modellek elemeinek összehasonlítása során az algoritmus a következő különbözőképpen definiált modell elemeket találta:

M_V és U_V differenciális változók,

ρ_L , k_{LV} , k_{VL} , u_{LV} , u_{VL} , h_V , h_L és h_F fizikai-kémiai tulajdonságok,

V tervezési változó.

Egy differenciális változóra alkalmazhatók az **is nil**, **is negligible**, **is constant** és az **is pseudo-steady-state** feltételezések, egy fizikai-kémiai tulajdonságra, illetve tervezési változóra (mint algebrai változóra) pedig az **is nil**, **is negligible**, **is constant**, **same as VI** feltételezések, ahol **VI** egy másik ugyanolyan típusú algebrai változó. Így a különböző modell elemek és a lehetséges feltételezés típusok ismeretében az alkalmazható feltételezések listája automatikusan elkészül, amely jelen esetben 95 lehetséges feltételezést tartalmaz.

10. ábra

A keresési fa maximális mélységének beállítása

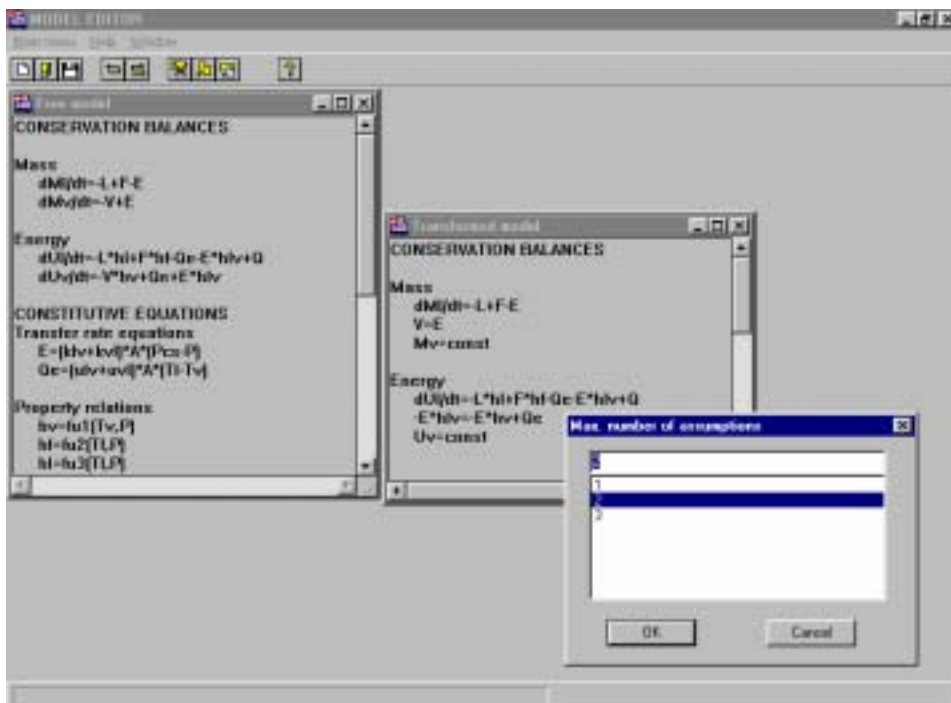


Figure 10: Specification of maximum depth in the searching tree

Keresés iteratív mélyítéssel

A feltételezés lista (akciók), a részletes és az egyszerűsített modell (kezdeti- és célállapot), valamint a mélységi korlát maximumának ismeretében a lehetséges feltételezés-sorozatok meghatározása iteratív mélyítéssel történik. Mivel a példában szereplő keresési fa elágazási tényezője 95, így a 2 mélységben történő vizsgálat közel 9.000 egyszerűsített modell előállítását és vizsgálatát jelenti.

A feltételezés-visszafejtés eredménye

A 11. ábra jobb oldalán láthatók a feltételezés-visszafejtés eredményeként kapott maximálisan két feltételezést tartalmazó feltételezés-sorozatok, amelyek a következők:

- M_V differential-variable **is constant** és all physico-chemical-variable **is constant**
- U_V differential-variable **is constant** és all physico-chemical-variable **is constant**

- *all physico-chemical-variable is constant* és M_V differential-variable **is constant**
- *all physico-chemical-variable is constant* és U_V differential-variable **is constant**

Látható, hogy 4 lehetséges feltételezés-sorozatot talált az eljárás, amely mindegyike 2-2 feltételezést tartalmaz (tehát 1 feltételezés alkalmazásával nem állítható elő az egyszerűsített modell). Az 1. és 3., illetve a 2. és 4. feltételezés-sorozat egy-egy párt alkot, amely csupán a feltételezések sorrendjében különbözik. Ez azt mutatja, hogy ezek a feltételezés transzformációk kommutatívak. A célállapotot alkotó egyszerűsített modell előállításához felhasznált egyszerűsítő feltételezés pár (1. és 3.) mellett az algoritmus egy ettől különböző feltételezés párt (2. és 4.) is talált. Ennek az oka az, hogy az M_V differential-variable **is constant** és az U_V differential-variable **is constant** modellezési feltételezések összefüggőek, és az *all physico-chemical-variable is constant* feltételezés fennállása mellett ekvivalensek is az $U_V = M_V \cdot h_V \rightarrow U_V = M_V \cdot \text{const}$ egyenlet miatt.

11. ábra

A feltételezés-visszafejtés eredménye

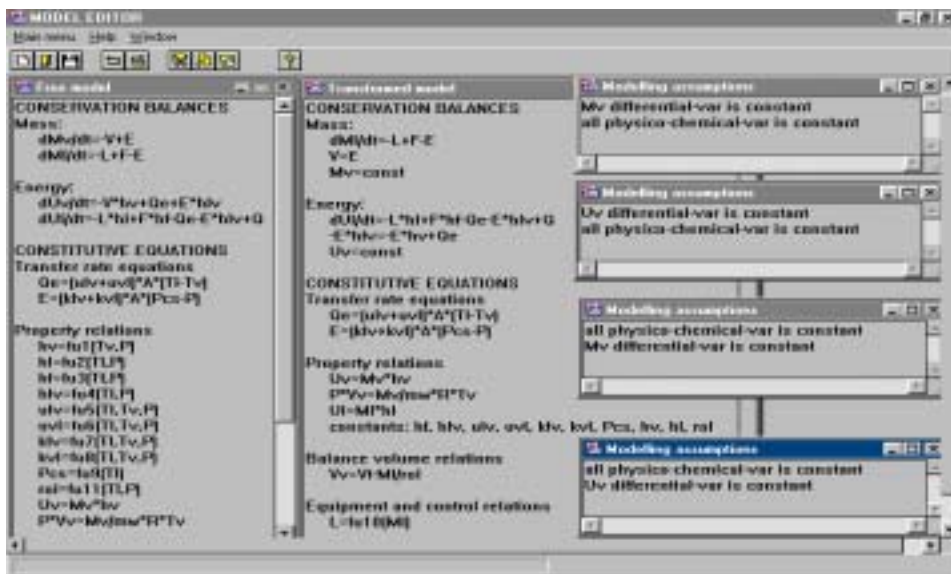


Figure 11: The result of assumption retrieval

Az előállított feltételezés-sorozat analízise, a feltételezés transzformációk kanonikus alakja
Az ismertetett és a vizsgált esettanulmányok részletes eredményei azt mutatják, hogy valószínűleg létezik olyan rendezett és minimális feltételezés-sorozat, úgynevezett *kanonikus alak*, amely a részletes modellt az egyszerűsített modell alakra transzformálja, s amely bizonyos értelemben egyedülálló. Ez a feltételezés-sorozat a következő javasolt módszerrel lenne előállítható:

- *A jelölt feltételezés-sorozatok generálása a feltételezések hierarchiasorrendje szerint*
A részletes és az egyszerűsített modellek különbsége ismeretében meghatározott lehetséges feltételezések kipróbálása a keresés során a feltételezések csökkenő hierarchiasorrendje alapján történik.

- *Az ekvivalens feltételezések közül egy előnyben részesített forma figyelembe vétele*
Ekvivalens feltételezés transzformációk esetében egy preferált feltételezés transzformáció kiválasztása történik, s a feltételezés-visszafejtés során ez a kiválasztott forma szerepel.
- *A feltételezés-sorozatban résztvevő feltételezések összes következmény feltételeinek figyelmen kívül hagyása*
Amennyiben a feltételezés-sorozatban szerepel egy olyan magasabb szintű feltételezés, amely magában foglal további modellezési feltételezéseket, ezek a további feltételezések a lehetséges feltételezés listából elhagyhatók.
- *A kommutatív feltételezések figyelembe vétele egyedül egy előre definiált sorrend szerint*
Abban az esetben, ha a visszafejtett modellezési feltételezés-sorozatok kommutatív, nem összefüggő feltételezéseket tartalmaznak minden lehetséges sorrendben, elegendő egy előre definiált sorrend szerinti lehetséges permutáció meghatározása, amely kifejezi az összes többi sorrendet is.

Összefoglalva, a cikk olyan számítógéppel segített modellezési eszközökben alkalmazható módszereket és eljárásokat mutat be, amelyek feltételezésvezérelt módon folyamatmodellek készítésére, az elkészített modellek egyszerűsítésére, valamint ugyanazon rendszer két különböző részletességgel leírt modellje ismeretében a modellek közötti lehetséges modellezési feltételezések meghatározására használhatók.

A kifejlesztett modell építő eljárás a modellező kikérdezése során lépésről-lépésre bővülő modellt szolgáltat, s a modellezési folyamat egy teljes és ellenőrzött, kanonikus alakban megadott folyamatmodell elkészítésével ér véget. A módszer valójában a papírral ceruzával történő modell alkotás folyamatának ötletén alapul, azonban az eljárás számítógépes megvalósítása során alkalmazott következtetési mechanizmus használata miatt lényegesen több ennél. Ennek magyarázata az, hogy a modell építés során a rendszer minden egyes modellezési lépésben definiált modellezési feltételezés, illetve modell elem összes következményének kikérdezésével vezeti a modellezőt, így nem történhet meg az, hogy a modellező a modell valamely részletét "elfelejti" definiálni.

A bemutatott felépített modellek egyszerűsítésére alkalmas módszer az egyszerűsítendő modell ismeretében automatikusan létrehozza az alkalmazható modell egyszerűsítő feltételezések készletét, majd előállítja a kiválasztott egyszerűsítő feltételezés összes következményének eredményeképpen keletkező egyszerűsített modellt. A kifejlesztett módszer és a felhasznált szabályok szintén a papírral ceruzával történő modell manipulálás ötletén alapulnak, azonban az eljárás az alkalmazandó feltételezés kiválasztásától eltekintve teljesen automatikus, s emiatt minden lehetséges következményt figyelembe vesz. Ezen kívül több egymás utáni feltételezés magadása esetén a módszer gondoskodik az ellentmondó, illetve bizonyos redundáns feltételezések eltávolításáról is.

A modellezési feltételezések visszafejtésére alkalmas módszer egy fizikai rendszert leíró két különböző részletességű (egy egyszerűbb és egy bonyolultabb) modell ismeretében határozza meg azokat a modellezési feltételezés sorozatokat, amelyek alkalmazásával a bonyolultabb modell az egyszerűbb modell alakra transzformálható. A javasolt modellezési feltételezés visszafejtő eljárás a megoldások előállításához iteratív mélyítéssel keresést használ.

Az eljárások alkalmazhatóságának igazolására elkészült számítógépes implementáció a három eljárást egyazon integrált környezetben tartalmazó, egyazon tudásbázison dolgozó *intelligens modell editor*. A modell editort az irodalomból megismert modellező eszközökkel összehasonlítva megállapítható, hogy a modell egyszerűsítő, illetve modellezési feltételezés-visszafejtő szolgáltatások alapvetően új

elemei a számítógéppel segített modellezési folyamatnak. Az irodalomban megtalálható modellező eszközök a modell editor modell építő szolgáltatásához hasonlóan a folyamatmodellek elkészítéséhez nyújtanak hatékony segítséget, azonban nem használják ki teljes mértékben a folyamatmodellek elemei között rejlő szintaktikai és szemantikai összefüggések automatikus kezelését. Mivel ezek megadása többé-kevésbé a modellezőre marad, előrevetíti annak lehetőségét, hogy hiányos és/vagy ellentmondásokat tartalmazó modell készüljön, emellett az elkészített modell használhatóságát jelentősen befolyásolja a modellező szaktudása. Másrészt sokszor problémát okozhat, hogy a modellező eszközök kezelése túlságosan szerteágazó, ami azt jelenti, hogy egy modell elkészítéséhez számos különböző, egymástól látszólag független adat definiálására van szükség, amelynek módszeres, a felhasználót "vezető" megadásához nincs kellő mértékű támogatás. Ezeket a hiányosságokat pótolja az elkészített modell építő modul, amely a felhasználó modell elemekről, illetve modellezési feltételezésekről történő szisztematikus kikérdezésével készíti el a folyamatmodellt. A módszer újszerűsége abban rejlik, hogy logikai következtetések alkalmazásával egy megadott modell elem összes hatását figyelembe kell vennie a modellezőnek, amiről a modell építő modul automatikusan gondoskodik.

IRODALOM

- Hangos, K.M., Cameron, I.T. (2001). Process modelling and model analysis, Academic Press, New York, 1-543.
- Hangos, K.M., Cameron I.T. (2001). A formal representation of assumptions in process modelling. *Comput. Chem. Engng.*, 25. 237-255.
- Lakner, R., Hangos, K.M., Cameron, I.T. (1999). An assumption-driven case-specific model editor. *Comput. Chem. Engng.*, 23. S695-S698.
- Lakner, R. Hangos K.M. (2001). Intelligent assumption retrieval from process models by model-based reasoning. *Engineering of Intelligent Systems (Lecture Notes in Computer Science: Lecture Notes in Artificial Intelligence)* 2070 Springer, 145-154.
- Lakner, R., Hangos, K.M., Cameron, I.T. (2001). Assumption retrieval from process models. *Computer Aided Chemical Engineering* 9 Elsevier, 195-200.
- Lakner, R., Hangos, K.M. (2002). Computer-aided incremental model building *IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control, MIC'2002*, 426-431.
- Marquardt, W. (1996). Trends in computer-aided modelling. *Comput. Chem. Engng.*, 20. 591-609.
- Ponton, J.W., Gawthrop, P. (1991). Systematic construction of dynamic models for phase equilibrium processes. *Comput. Chem. Engng.*, 15. 803-808.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Piglerné Lakner Rozália

Veszprémi Egyetem, Számítástudomány Alkalmazása Tanszék
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

Department of Computer Science, University of Veszprém

H-8200 Veszprém, Egyetem u. 10., Hungary

Tel.: 88-422-022/4712, Fax: 88-428-275

e-mail: lakner@dcs.vein.hu