

4. European Conference on Mixing, Paper D 2, Lesouwenhorst (1982). — 12. Hobbler T.: *Ruch cieplá i upravněníky*, WNT, Warszawa (1968). — 13. Pechová V.: *Příklady chemickotechnologických výpočtů — II*, SNTL Praha (1964). — 14. Mlíka V. a kol.: *Sběrka příkladů z chemického inženýrství*, SNTL Praha (1981). — 15. Bondy F., Lippa S.: *Chem. Eng. 4, 62 (1983)*. — 16. Cummins G. H.,

West S.: *Ind. Eng. Chem. 42, 2303 (1950)*. — 17. Ackley E. J.: *Chem. Eng. August 23, 133 (1966)*. — 18. Škubla P.: *Chem. prům. 32, 505 (1982)*. — 19. Hrubý M.: Referát „Problematika zvtěžování míchacích zařízení z hlediska výměny tepla“ — konference Michání, stavba míchacích zařízení, upeřky, Boboty (1979).

## Využití simulace chodu výroby při intenzifikaci

Jan Bartoň, Výzkumný ústav anorganické chemie, k.ú.o.Chemopetrof, Ústí nad Labem,  
Jitka Bártová, Jan Rančík, Vysoká škola chemickotechnologická, Praha

331.024.36

Redakci došlo 15. 3. 1985

*V článku je uveden příklad využití simulace chodu výroby pro rozhodování o způsobech intenzifikace výroby. Simulování chodu výroby spočívá v generování neplánovaných i plánovaných odstávek pro provozní soubory výroby. Spolehlivost provozních souborů je zjištěna rozбором provozních záznamů. Maximální výkony provozních souborů jsou ověřeny v provozních podmínkách. Na příkladu výroby s mezioperačními zásobníky je ukázáno, jaký vliv na výrobní kapacitu má zvýšení obsahu vybraných zásobníků, zvýšení maximálních výkonů některých provozních souborů, popřípadě rozšíření časového fondu pro provozní soubor a kombinace těchto zásahů.*

### Úvod

Stanovení výrobní kapacity<sup>1)</sup>, tj. maximálního množství roční produkce, kterou může výrobní linka vyrobit za předpokladu maximálního využití časového fondu\* a maximálních výkonů zařízení ve výrobně, je nezbytným výchozím bodem při intenzifikaci výroby. Na správném stanovení výrobní kapacity závisí rozhodnutí o tom, jakým způsobem výrobní linku rozšiřovat při případné modernizaci a intenzifikaci.

Velmi často se garantuje výkon výrobního zařízení či souboru zařízení menší než je maximálně možný při zachování kvality operace, která v zařízení probíhá. Chceme-li výrobní kapacitu stanovit ve smyslu výše uvedené definice, nutně to potom znamená upřesnit maximální výkony zařízení (provozních souborů) ve výrobně za skutečného provozu.

Maximální využití časového fondu lze chápat dvojitým způsobem. Jednak jako „úplné využití časového fondu“ (bez uvažování neplánovaných poruch a odstávek), nebo „maximální využití časového fondu dané stavem techniky (její spolehlivosti)“ a minimální dobou oprav výrobního zařízení (při optimální údržbě a opravách zařízení).

Při správné údržbě zařízení a kvalitní opravárenské činnosti lze předpokládat, že je dosaženo minimální doby neplánovaných zarážek v důsledku poruch zařízen. Proto při uvažování maximálního využití časového fondu při daném stavu techniky obdržíme výrobní kapacitu jako maximální reálnou produkci výroby. Tím zároveň zdůrazňujeme, že v daném zařízení či souboru zařízení lze trvale dosahovat maximálního výkonu.

Poruchovost lze kompenzovat zálohováním důležitějších zařízení. Pouze tam, kde by byly všechny články výroby zálohovány, je možné předpokládat,

že výrobní kapacita stanovená pro úplné využití časového fondu má reálný význam.

Srovnání výrobní kapacity, v níž se odráží spolehlivost techniky, se skutečnou produkcí výroby odhaluje ty rezervy, které vznikají při provozu výroby tím, že provozní soubory (zařízení) nejsou po určitou dobu vytěžovány na maximální výkon (např. pro nedostatky v zásobování surovinami či expedici výrobků, energetické problémy, nízkou úroveň obsluhy zařízení apod.).

Případné zvýšení výrobní kapacity je možné jednak zvýšením spolehlivosti zařízení, jednak zvýšením maximálních výkonů zařízení (úpravou či výměnou zařízení), popř. rozšířením časového fondu (vícesměnný provoz) daného zařízení a u linek s mezioperačními zásobníky za určitých podmínek i zvtěžováním obsahu mezioperačních zásobníků.

### Teoretická část

#### Výkon a výkonnost provozního souboru

Výkonem provozního souboru  $V$  se rozumí podíl produkce  $Q$  vyrobené provozním souborem za čas  $\tau$  (obvykle sekundu nebo hodinu).

$$V = Q/\tau \quad (1)$$

Soubor může obvykle pracovat spolehlivě v intervalu produkce  $Q \in (Q_{\min}, Q_{\max})$ , kde  $Q_{\min}$  je minimální a  $Q_{\max}$  je maximální produkce zařízení při zachování kvalitativních požadavků na produkci. Výkonnost provozního souboru definujeme jako

$$W = Q_{\max}/\tau \quad (2)$$

Je to poměr maximální hodnoty produkce  $k$  času  $\tau$ . Pro daný provozní soubor nelze dosáhnout  $V > W$  bez zhoršení kvality produkce či zhoršení jiného parametru výroby.

\*) časovým fondem se rozumí využitelný časový fond

### Spolehlivost provozního souboru

Pod pojem provozní soubor rozumíme jedno nebo několik zařízení, v nichž probíhá z hlediska dané výroby definovaný výrobní proces. Provozní soubor je složen z řady součástek nezbytných pro spolehlivou činnost. Předpokládáme, že pro spolehlivost  $[R_i(t)]$  i-té součástky lze psát<sup>2)</sup>

$$R_i(t) = \exp(-\lambda_i t) \quad (3)$$

Jestliže exponenciální zákon spolehlivosti platí pro všechny součástky, pro spolehlivost provozního souboru platí

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t\right) \quad (4)$$

kde  $n$  je počet součástek provozního souboru.

Empirická spolehlivost provozního souboru se stanoví

$$R^*(t) = 1 - L(t)/L(\tau^*) \quad (5)$$

### Poruchy provozního souboru

Aby mohl provozní soubor úspěšně plnit výrobní úkoly, musí většina poruch být krátkodobých a zařízení musí mít vysokou pohotovost<sup>3)</sup>. Nemí-li tato zásada dodržena a frekvenční charakteristika dělek poruch provozního souboru má maximum v oblasti dlouhých poruch, svědčí to o chybné konstrukci zařízení. Tento případ může nastat např. tehdy, jestliže drobná, relativně často se opakující porucha, může být odstraněna teprve po zdlouhavé demontáži apod.

Předpokládáme, že pro pravděpodobnost opravitelnosti provozního souboru  $P(t)$  platí exponenciální zákon

$$P(t) = \exp(-I \cdot t) \quad (6)$$

kde  $I$  je intenzita opravitelnosti provozního souboru nezávislá na  $t$ . Podle vztahu (6) pravděpodobnost  $P(t)$  udává, že soubor zařízení nebude po vzniku poruchy opraven do doby  $t$ . Z exponenciálního vztahu (6) lze dokázat, že v čase  $t = t_p$ , kde  $t_p$  je střední doba poruchy, je  $P(t) = 0,367$ . Znamená to, že asi 63 % poruch je menší nebo rovno  $t_p$ .

Empirická opravitelnost  $P^*(t)$  provozního souboru se stanoví obdobně vztahu (5)

$$P^*(t) = 1 - S(t)/S(\tau^*) \quad (7)$$

### Průměrná výkonnost a průměrný výkon výrobní linky

V důsledku poruchovosti zařízení a návaznosti zařízení ve výrobní kolísá výkon posledního provozního souboru s časem. Jestliže celoroční produkci výrobní linky označíme  $Q_e$ , potom průměrný výkon výrobní linky  $V_1$  činí

$$V_1 = Q_e/F \quad (8)$$

kde  $F$  je časový fond, při němž bylo dosaženo produkce  $Q_e$ . Jestliže bychom zabezpečili, aby pro danou spolehlivost a opravitelnost zařízení ve výrobní mohli být dosahováno  $V = W$ , výroba by vyrobila za rok produkci  $Q_{e,max}$ . Pro průměrnou výkonnost  $V_1$  výrobní linky platí

$$W_1 = Q_{e,max}/F \quad (9)$$

Výrobní kapacita je rovna  $Q_{e,max}$ .

### Výpočet průměrné výkonnosti výrobní linky s mezioperačními zásobníky

Pro výpočet průměrné výkonnosti výrobní linky  $W_1$  lze v případě výroby s mezioperačními zásobníky s výhodou použít simulační metodu chodu výroby na počítači<sup>4)</sup>. Výhoda této metody spočívá zejména v tom, že lze snadno zjišťovat tzv. úzká místa výroby pro zvolené podmínky výpočtu. Podle výsledků výpočtu lze navrhnout intenzifikační opatření.

Podstatou simulačního výpočtu je generování vzniku poruchy a její délky z rozdělení náhodné veličiny „doba do poruchy“, resp. rozdělení náhodné veličiny „doba trvání poruchy“. S využitím (4) a (6) lze dobu do poruchy  $t_0$  generovat podle vztahu

$$t_0 = -\ln(\alpha) \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (10)$$

a dobu trvání poruchy  $t_p$  lze generovat podle vztahu

$$t_p = -\ln(\alpha)/I \quad (11)$$

Pro  $\sum_{i=1}^n \lambda_i$  a  $I$  lze dokázat, že platí

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1/\bar{t}_0, \quad I = 1/\bar{t}_p \quad (12)$$

Při výpočtu se pomocí náhodných čísel generují doby do poruchy a doby trvání poruch jednotlivých provozních souborů; nepracuje-li zařízení v nepřetížitém provozu, jsou u něho generovány plánované odstávky (soboty, neděle). Činnost výroby se simuluje po časové ekvidistantním kroku  $\Delta h$ . V případě, že simulovaný čas provozu výrobní linky je menší než generovaná doba vzniku poruchy, provozní soubor pracuje a může podávat maximální výkon. Leží-li simulovaná doba provozu výrobní linky v intervalu, pro který byla generována porucha provozního souboru, je výkon tohoto provozního souboru nulový. U poruch se předpokládá, že jsou pro jednotlivé provozní soubory navzájem nezávislé.

Kromě toho se při výpočtu kontroluje zaplnění zásobníků tak, aby momentální zásoba v zásobníku byla menší nebo rovna obsahu zásobníku a vypočítá se průměrné zaplnění zásobníků.

Průměrná výkonnost výrobní linky je určena podílem produkce posledního provozního souboru k simulovanému provoznímu intervalu výroby o délce  $T = k\Delta h$ , kde  $k$  je celočíselný počet intervalů  $\Delta h$ .

$$W_1 = Q_{e,max}/T \quad (13)$$

### Průměrné zaplnění zásobníků ve výrobní jako míra plynulosti výroby

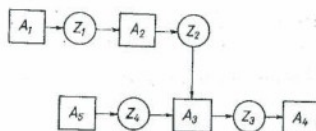
Máme dva provozní soubory, mezi nimiž je zařazen mezioperační zásobník. Spolehlivost a pohotovost obou provozních souborů je stejná. Jestliže výkonnost provozního souboru před zásobníkem bude větší než výkonnost provozního souboru za zásobníkem, meziprodukt se akumuluje v mezioperačním zásobníku. Po zaplnění zásobníku se v praxi musí snížit výkon provozního souboru před zásobníkem.

Je-li vypočtené průměrné zaplnění zásobníku blízko hodnoty maximálního objemu zásobníku, leží úzké místo výroby za mezioperačním zásobníkem. Ob-

dobně, je-li vypočtené průměrné zaplnění zásobníku blízké nule, leží úzké místo výroby před mezioperačním zásobníkem.

#### Praktický příklad

Výroba práškových pracích prostředků je zjednodušeně znázorněna schématem na obrázku 1. Provozní soubor  $A_1$  na výrobu aktivní látky (dodecylbenzen-sulfonát sodný) obsahuje mimo jiné dvoucelennou kaskádu promíchávaných reaktorů a neutralizační reaktor. Výroba stříkaného poloproduktu v provozním souboru  $A_2$  je zabezpečována rozstřikováním směsné pasty v granulární věži proti proudě horkého plynu. Podstatou provozních souborů na výrobu míchaného podproduktu  $A_5$  a finálního produktu  $A_3$  jsou míchače. Provozní soubor  $A_4$  balicích linek je tvořen čtyřmi balíčkami.



Obr. 1. Schéma výrobní linky

Výkonnosti provozních souborů byly přepočteny na finální produkt se započtením ztrát v daném místě výroby. Výkonnosti provozních souborů byly vesměs ověřeny provozní zkouškou.

Data pro vyhodnocení spolehlivosti provozního souboru  $A_1$  byla shromážděna za období 10 měsíců, v němž došlo ke 47 poruchám. Data pro vyhodnocení spolehlivosti provozního souboru  $A_2$  byla vyhodnocena za období 6 měsíců, v němž došlo k 17 poruchám. Pro provozní soubory  $A_3$ ,  $A_4$  a  $A_5$  nejsou vedeny záznamy o poruchách. Navíc tyto soubory nejsou v nepřetržitém provozu, což umožňuje méně skutni opravy a údržbu soustředit do období plánovaných odstávek. Z těchto důvodů je pro spolehlivost souborů  $A_3$ ,  $A_4$  a  $A_5$  aproximativně předpokládáno  $R(t) = 1$  pro všechna  $t$ .

Opravitelnost provozních souborů vyjádřená parametrem  $I$  byla získána podobně jako spolehlivost. Časový fond  $F$  v hodinách za rok (365 dní) vychází z toho, že provozní soubor  $A_1$  je v provozu nepřetržitě, soubory  $A_2$ ,  $A_3$  a  $A_5$  jsou v nepřetržitém provozu 5 dní v týdnu, v sobotu a neděli jsou odstaveny. Provozní soubor  $A_4$  je od pondělí do pátku ve dvoušměnném provozu.

Výkonnost, spolehlivost, opravitelnost a časový fond provozních souborů je uveden v tabulce I. Obsahy mezioperačních zásobníků jsou uvedeny v tabulce II v tunách finálního produktu.

Za podmínky, že by časový fond byl úplně využit a jednotlivé provozní soubory pracovaly s maximálním výkonem, mohly by vyprodukovat za rok produkci  $Q_{\max}$  (přepočtenou na finální produkt) uvedenou v tabulce I.

Tabulka I naznačuje, že tzv. úzkým místem výroby je za současného  $F$  pro jednotlivé provozní soubory soubor  $A_1$ .

Tabulka I

Hodnoty  $W$ ,  $I$ ,  $\sum_{i=1}^n \lambda_i$ ,  $F$  a  $Q_{\max}$  pro provozní soubory

| provozní soubor | $W$<br>[kg h <sup>-1</sup> ] | $I$<br>[h <sup>-1</sup> ] | $\sum_{i=1}^n \lambda_i$<br>[h <sup>-1</sup> ] | $F$<br>[h] | $Q_{\max}$<br>[t] |
|-----------------|------------------------------|---------------------------|--|------------|-------------------|
| $A_1$           | 7 260                        | 0,264                     | 0,00835  | 8 424      | 61 158            |
| $A_2$           | 17 260                       | 0,317                     | 0,00788  | 6 017      | 103 853           |
| $A_3$           | 36 000                       | 0                         | 0  | 6 017      | 216 612           |
| $A_4$           | 16 720                       | 0                         | 0  | 4 011      | 67 064            |
| $A_5$           | 12 200                       | 0                         | 0  | 6 017      | 73 407            |

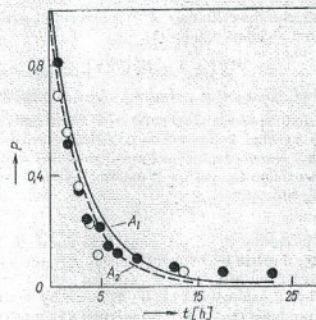
Tabulka II

Obsahy mezioperačních zásobníků

| zásobník | obsah<br>[t] |
|----------|--------------|
| $Z_1$    | 263          |
| $Z_2$    | 240          |
| $Z_3$    | 6            |
| $Z_4$    | 110          |

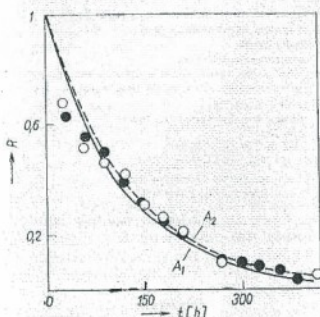
Na obrázku 2 je znázorněna plnou čarou závislost spolehlivosti provozních souborů  $A_1$  a  $A_2$  na čase podle vztahu (4) s tím, že hodnoty  $\sum_{i=1}^n \lambda_i$  jsou použity z tabulky I. Body je označena empirické spolehlivosti  $R'(t)$  vypočtená podle vztahu (5). Na obrázku 3 je znázorněna závislost pravděpodobnosti  $P(t)$  na čase podle vztahu (6) pro provozní soubory  $A_1$  a  $A_2$ . Body označují empirickou opravitelnost  $\bar{P}(t)$  vypočtenou podle vztahu (7).

Schéma výrobní linky pro výpočet průměrné výkonnosti výroby mohlo být proti obrázku 1 dále zjednodušeno (obr. 4). Za výkonnost provozního souboru  $A_2$  byla dosazena výkonnost provozního souboru  $A_1$ . Tato úprava schématu je možná proto, že spolehlivost souborů  $A_3$ ,  $A_4$  a  $A_5$  je uvažována jednotková. Výkon-

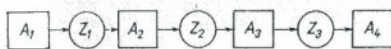


Obr. 2. Rozdělení spolehlivosti souborů  $A_1$ ,  $A_2$  v čase (body označují empirické hodnoty spolehlivosti z provozních záznamů)

●  $A_1$ , ○  $A_2$



Obr. 3. Rozdělení opravitelnosti souborů  $A_1$ ,  $A_2$  v čase (body označují empirickou hodnotu opravitelnosti z provozních záznamů  
●  $A_1$ , ○  $A_2$ )



Obr. 4. Schéma výroby pro výpočet průměrné výkonnosti

nost provozního souboru  $A_5$  je tudíž limitována výkonností souboru  $A_5$  a obsah mezioperačního zásobníku  $Z_4$  není nutné uvažovat.

Průměrná výkonnost výrobní linky pro spolehlivost provozních souborů, jejich opravitelnosti a výkonnosti podle tabulky I, pro obsahy mezioperačních zásobníků podle tabulky II byla stanovena na 6000 kg  $h^{-1}$ . Průměrná výkonnost výroby je vztažena na časový fond 8424 hodin. Výrobní kapacita činí proto 50 544 000 kg pracích prostředků za rok.

**Intenzifikace výroby zvýšením mezioperačního zásobníku  $Z_3$**

Tabulka III (sloupec A) ukazuje průměrné zaplnění zásobníků výroby vypočtené při stanovení výrobní kapacity. Relativně nízká průměrná zásoba v zásobníku  $Z_3$  a vysoká průměrná zásoba v zásobníku  $Z_0$  svědčí o tom, že je nízká plynulost výroby mezi soubory  $A_3$  a  $A_4$ . Proto by zvýšení obsahu zásobníku  $Z_3$  (což je vlastně ekvivalentní zvýšení výkonnosti souboru  $A_3$ ) mělo vést ke zvýšení průměrné výkonnosti výroby v důsledku snížení prostojů souboru  $A_4$  z důvodu nedostatku suroviny. Při zvýšení obsahu zásobníku  $Z_3$  z 6900 kg na 25 000 kg finálního produktu, zvýší se průměrná výkonnost výroby na 6500 kg  $h^{-1}$ , tj. o 8,3 %. Zvýšením obsahu zásobníku  $Z_3$  se sníží průměrné zaplnění zásobníků  $Z_1$  a  $Z_2$ , což lze

Tabulka III  
Průměrné zaplnění zásobníků

| zásobník | maximální objem [%] |      |      |
|----------|---------------------|------|------|
|          | A                   | B    | C    |
| $Z_1$    | 62,5                | 27,4 | 25,3 |
| $Z_2$    | 97,3                | 55,5 | 6,3  |
| $Z_3$    | 50,7                | 56,0 | 0    |

vysvětlit tím, že se zvýšila plynulost výroby (viz tabulka III, sloupec B).

**Intenzifikace výroby rozšířením časového fondu souboru  $A_4$**

V případě třísměnného provozu baličích linek pět dní v týdnu (časový fond baličích linek 6017 hodin), by se průměrná výkonnost výroby zvýšila na 6600 kg  $h^{-1}$ . Průměrné zaplnění zásobníků v případě rozšíření časového fondu pro baličí linky na třísměnný provoz pět dní v týdnu ukazuje tabulka III, sloupec C.

Ve srovnání tabulky III, sloupců A a C vyniká značné snížení průměrného zaplnění zásobníků při rozšíření časového fondu pro baličí linky. Plynulost výroby je v případě rozšířeného časového fondu pro baličí linky limitována nejvíce nízkou výkonností provozního souboru  $A_1$ .

**Intenzifikace výroby zvýšením výkonnosti provozního souboru  $A_1$**

V tabulce IV jsou shrnuty výsledky výpočtu průměrné výkonnosti výrobní linky při zvýšení výkonnosti provozního souboru  $A_1$  na 12 000 kg  $h^{-1}$  (o 65 %). Ve sloupci 1 tabulky IV je uveden výsledek výpočtu při obsahu zásobníků podle tabulky II. Ve sloupci 2 byl zvýšen obsah zásobníku  $Z_3$  na 25 000 kg, ve sloupci 3 byl rozšířen časový fond baličích linek  $A_4$  na třísměnný provoz pět dní v týdnu a obsah  $Z_3$  zvýšen na 25 000 kg finálního produktu. Průměrné zaplnění zásobníků je vyjádřeno v procentech maximálního obsahu. Předpokládáme, že zvýšením výkonnosti souboru  $A_1$  se nezmění jeho spolehlivost.

Tabulka IV  
Průměrná výkonnost výroby a zaplnění zásobníků

| příklad              | 1    | 2    | 3    |
|----------------------|------|------|------|
| $W_1$ (t $h^{-1}$ )  | 6    | 6,5  | 8,7  |
| $Z_1$ [%] max. objem | 97,8 | 97,0 | 83,3 |
| $Z_2$                | 99,6 | 99,7 | 99,1 |
| $Z_3$                | 50,7 | 56,6 | 0    |

Z tabulky IV vyplývá, že samotné zvýšení výkonnosti provozního souboru  $A_1$  při zachování ostatních parametrů výroby na současně výši je hezky významné. Srovnáme-li tabulku III sloupec A a sloupec 1 v tabulce IV, pozorujeme, že se zvýšením výkonnosti provozního souboru  $A_1$  se zvýší pouze průměrné zaplnění zásobníku  $Z_1$  bez odezvy na  $W_1$ . Podobně porovnáním tabulky III, sloupec B a sloupec 2 v tabulce IV pozorujeme, že se zvýšením výkonnosti souboru  $A_1$  a zvýšením obsahu zásobníku  $Z_3$  nedosáhne změny  $W_1$  (zvyší se pouze průměrné zaplnění zásobníků  $Z_1$  a  $Z_2$ ). Sloupec 3 v tabulce IV dokumentuje, že rozšířením časového fondu souboru  $A_4$  klesá průměrná zásoba v  $Z_3$  k nule (baličky stačí zabalit produkci souboru  $A_3$ , aniž se zaplní zásobník  $Z_3$ ). Produkce výroby je limitována výkonností souboru  $A_3$ .

#### Závěr

Příklad uvedený v předložené práci demonstruje kromě vlastního postupu stanovení výrobní kapacity i způsoby intenzifikace výroby.

Hlavními směry intenzifikace jsou:

- modernizace (zvýšení spolehlivosti a výkonnosti) provozních souborů výroby
- rozšíření časového fondu
- zvýšení kapacity mezioperačních zásobníků
- kombinace uvedených postupů.

Podle konkrétní společenskoeconomické situace je třeba volit nejvhodnější variantu intenzifikace výroby s ohledem na náklady intenzifikace a jejich návratnost.

#### Seznam symbolů

|            |   |
|------------|---|
| $A_1$      | — provozní soubor   |
| $F$        | — časový fond [h]   |
| $\Delta A$ | — krok výroby [h]   |
| $I$        | — intenzita opravitelnosti [h <sup>-2</sup> ]                                       |
| $k$        | — celošiferná konstanta   |
| $L(r')$    | — počet poruch provozního souboru v období $r'$                                     |
| $L(t)$     | — počet poruch z $L(r')$ , které vznikly do doby $t$ od spuštění provozního souboru |
| $P(t)$     | — opravitelnost   |
| $P'(t)$    | — empirická opravitelnost   |

|          |  |
|----------|--|
| $Q$      | — produkce provozního souboru [kg]   |
| $Q_0$    | — produkce výrobní linky [kg]  |
| $R(t)$   | — spolehlivost   |
| $R'(t)$  | — empirická spolehlivost   |
| $S(r')$  | — počet poruch provozního souboru v období $r'$                              |
| $S(t)$   | — počet poruch z $S(r')$ , které byly opraveny do doby $t$ od vzniku poruchy |
| $T$      | — simulovaná doba provozu [h]  |
| $t$      | — doba [h]   |
| $t_0$    | — doba do poruchy [h]  |
| $t_p$    | — doba tváří poruchy [h]   |
| $V$      | — výkon provozního souboru [kg h <sup>-1</sup> ]                             |
| $V_1$    | — výkon výrobní linky [kg h <sup>-1</sup> ]                                  |
| $W$      | — výkonnost provozního souboru [kg h <sup>-1</sup> ]                         |
| $W_1$    | — průměrná výkonnost výrobní linky [kg h <sup>-1</sup> ]                     |
| $\alpha$ | — náhodné číslo z intervalu (0; 1)   |
| $\tau$   | — čas [s, h]   |

#### Literatura

- Mežák O., Synek M.: *Kapacitní propočet v průmyslu*, SNTL Praha 1981. — 2. Barfoš J., Vrskočil Z.: *Chem. prům.* 32, 69 (1983). — 3. Bartoň J., Moudrý F., Novotý P.: *Chem. prům.* 32, 666 (1983).

## Solváty chloridu hořečnatého s tetrahydrofuranem pro přípravu katalyzátorů polymerace a kopolymerace 1-alkenů

Karel Handláš, Jaroslav Holeček, Jiří Klíkorka,  
Vysoká škola chemickotechnologická, Pardubice,  
Vladimír Boček,

Chemopetrol, k. ú. o. Výzkumný ústav makromolekulární chemie Brno

66.095.264  
66.097.3  
678.74  
546.46\*131  
547.723

Redakci došlo 5. 2. 1985

Jsou studovány reakční podmínky syntézy solvátů chloridu hořečnatého s tetrahydrofuranem pro výrobu katalyzátorů polymerace a kopolymerace 1-alkenů na bázi systému chlorid hořečnatý-chlorid titaničitý-tetrahydrofuran termickou a extraktivní desolvatací trans-dichloro-tetrakis(tetrahydrofuran)hořečnatého komplexu  $[Mg(C_2H_5O)_4Cl_2]$ .

#### Úvod

Východními složkami nebo mezistupni syntézy katalyzátorů polymerace nebo kopolymerace 1-alkenů na bázi systému chlorid hořečnatý-chlorid titaničitý-donor elektronového páru (Lewisova zásada), a to jak z homogenních roztoků, tak i z heterogenních směsí, jsou solváty chloridu hořečnatého s příslušnými elektronodonorovými sloučeninami. Nejúčinnější katalytické systémy obsahují jako elektronodonorovou složku obvykle estery karboxylových kyselin nebo ethery. Syntéza příslušných solvátů chloridu hořečnatého je velmi obtížná, neboť bezvodý chlorid hořečnatý s ethery a estery kyselin reaguje neochotně a zdlohnavě se rozpouští na roztoky velmi nízkých koncentrací. Potřebné solváty se obvykle získávají pracnou a dlouhotrvající homogenizací obou složek za pomoci mléčí techniky. Na podmínkách této operace pak závisí

nejen složení solvátu, ale i jeho další fyzikální a chemické vlastnosti, které podstatnou měrou ovlivňují i aktivitu a stereospecificitu výsledného katalyzátoru<sup>1</sup>. Dodržet za takových podmínek reprodukovatelnost syntéz produktů optimálního složení a vlastností je mimořádně náročné.

Vysoce reaktivní solváty chloridu hořečnatého s tetrahydrofuranem složení  $MgCl_2 \cdot xC_4H_8O$  ( $0 < x < 4$ ) jako východí složky syntézy jednoho z nejčastěji citovaných katalytických systémů výše uvedeného druhu s libovolným poměrem obou komponent  $x$  (v mezích  $0 < x < 4$ ) lze získat pohodlněji řízenou termickou nebo extraktivní desolvatací dobře definované sloučeniny  $MgCl_2 \cdot 4C_4H_8O$  přesněji trans-dichloro-tetrakis (tetrahydrofuran) hořečnatého komplexu  $[Mg(C_2H_5O)_4Cl_2] \cdot 2$ . Výsledky studia desolvatace této sloučeniny jsou předmětem tohoto sdělení.

#### Pokusná část

##### Chemikálie

trans - Dichloro - tetrakis(tetrahydrofuran)hořečnatý komplex  $[Mg(C_2H_5O)_4Cl_2]$  byl připraven podle práce<sup>2</sup> krystalizací roztoků chloridu hořečnatého v tetrahydrofuranu za teplot pod 28 °C. Inertní rozpouštědla, n-heptan (Avondale Laboratories, Anglie) a n-oktan (Laborchemie Apolda, NDR), oba čistoty pro UV-