

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Modelování a simulace **Cementárna** Varianta 6: stavebnictví

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Kontribuce	1
1.2	Validita	1
2	Rozbor tématu a použitých technologií	1
2.1	Použité postupy	1
2.2	Popis původ použitých metod/technologií	1
3	Koncepce	2
3.1	Popis abstraktního modelu	2
3.2	Forma abstraktního modelu	3
4	Architektura simulačního modelu	3
4.1	Mapování do simulačního modelu	3
5	Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	4
5.1	Postup experimentování	4
5.2	Dokumentace experimentů	4
5.2.1	Experiment 1	4
5.2.2	Experiment 2	4
5.2.3	Experiment 3	5
5.2.4	Experiment 4	5
5.2.5	Experiment 5	5
5.3	Závěry experimentů	5
6	Shrnutí simulačních experimentů a závěr	5
7	Zdroje	6

1 Úvod

Předmětem práce je řešení simulace závodu na cement s lokálním zdrojem vápence za účelem optimalizace výroby a vytvoření dlouhodobého ekonomického odhadu.

1.1 Kontribuce

Práce se opírá o literaturu Evropské komise, jež slouží jako centralizace nejlepších dostupných metod výroby cementu [1]. Dále jsou využívána uveřejněná informační videa firmy Cemex [2], technické parametry výrobců požadovaných technologií [3] a další veřejná data jednotlivých cementářských firem [4][5]. Autorem práce je Zdeněk Dobeš.

1.2 Validita

Ověření validity proběhlo pomocí srovnání výsledků experimentů s produkcí cementáren, využívající stejnou technologii, či velice výkonově blízkou [5]. Dále za pomoci odhadů produkce výrobců výrobních technologií, které byly v rámci práce využity [3] a poměrem celkového počtu vyrobeného cementu na území ČR vůči počtu lokálních výroben[6].

2 Rozbor tématu a použitých technologií

Implicitním zdrojem statistických hodnot v této sekci je firma Cemex [2]. Pro zdroj informací o metodě slouží dokument Evropské komise [1].

Lokální zdroj vápence poskytuje průměrně 1 350 000t ročně. Z této produkce, informací o počtu vlastních nákladních dumperů a dalších faktorech lze usoudit 8h pracovní doba těžby a 24h denní doba procesu výroby. Vápenec je drcen rychlostí 400t/h a skladován v prehomogenizačním skladě o kapacitě 22 000t. Následně dochází k rozemletí surovin (homogenizaci) ve 2 surovinových mlýnech, každý s produkčním výkonem 48t/h [3]. Hustota materiálu po tomto procesu průměrně klesne na 0.8 původní (Z 60t -> 48t). Materiál je skladován v homogenizačním silu o kapacitě 6 000t. Dále prochází přes disperzní výměník do rotační pece. Tento celý proces spolu s chlazením a drcením trvá mezi 60-70min s průměrným výkonem 54.166t za cyklus. Výsledná surovina se nazývá slínek a skladuje se v slinkovém silu o kapacitě 32 000t. Následně dojde k vytvoření samotného cementu v cementovém mlýně o výkonu 120t/h. Cement je typu CEM II a skládá se z 80-94% ze slínku, z 6-20% z vápence a 0-5% z dalších aditiv. Jeho zabalení trvá přibližně 50min (při 4 balících přístrojích s výkonem 25kg/s).

2.1 Použité postupy

Program byl vytvořen prostřednictvím programovacího jazyka C++ s výraznou podporou knihovny SIMLIB (verze 3.08). Abstraktní model [6 slajd 42] byl sestaven v podobě Petriho sítě [6 slajd 123], jehož implementaci knihovna SIMLIB značně zjednodušuje. Navíc spadá pod licenci GNU LGPL, což implikuje fakt, že se jedná o otevřený software.

2.2 Popis původ použitých metod/technologií

Autory knihovny SIMLIB jsou Petr Peringer, David Leska a David Martinek. Její dokumentace přispěla k implementaci a vytvoření překladačů. Všechny soubory byly získány z její oficiální stránky.

3 Koncepce

Vybraný systém [6 slajd 18] se simuloval [6 slajd 8] jako systém hromadné obsluhy [6 slajd 136]. Seletovala se data pouze relevantní pro stav výchozí suroviny, jejích následních forem a cílového produktu. Vynechali se informace jako náplně do mlýna, zdroj elektrické energie a zdroj aditiv (očekává se, že jich je vždy dostatek). Dále zanedbáváme odvod odpadních materiálů jako popílek, který mnohdy může sloužit jako již zmíněné aditivum. Pro výrobu se zvolil Portlandský směsný cement [A], jež je ve stavebnictví druhým nejpoužívanějším druhem cementu [7]. Výrobní technologie byly vybrány, aby co nejblíže odpovídali technickým parametrům inspirované cementárny a jejím výkonům, jelikož mi z důvodu výrobního tajemství nebyli specifikovány. Simulovaná cementárna podporuje pouze suchý proces pro balený cement, který výkonově odpovídá cementárně s mokřým procesem, která je kvůli různému počtu odběratelů v odlišných časových intervalech a komplexní logistikou pouze zanedbatelnou komplikací. Z tohoto důvodu není poslední slinkové silo maximálně využíváno, avšak počítáme s faktem, že kvůli narůstající spotřebě cementu a jeho zvýšenému exportu do jiných zemí [9], by k jejímu naplnění a následnému pozastavení výroby nikdy nedošlo. Nakonec jsou zanedbány úniky nadměrného množství CO, kvůli jejich vzácnému výskytu a zdržení linky pouze v řádu sekund.

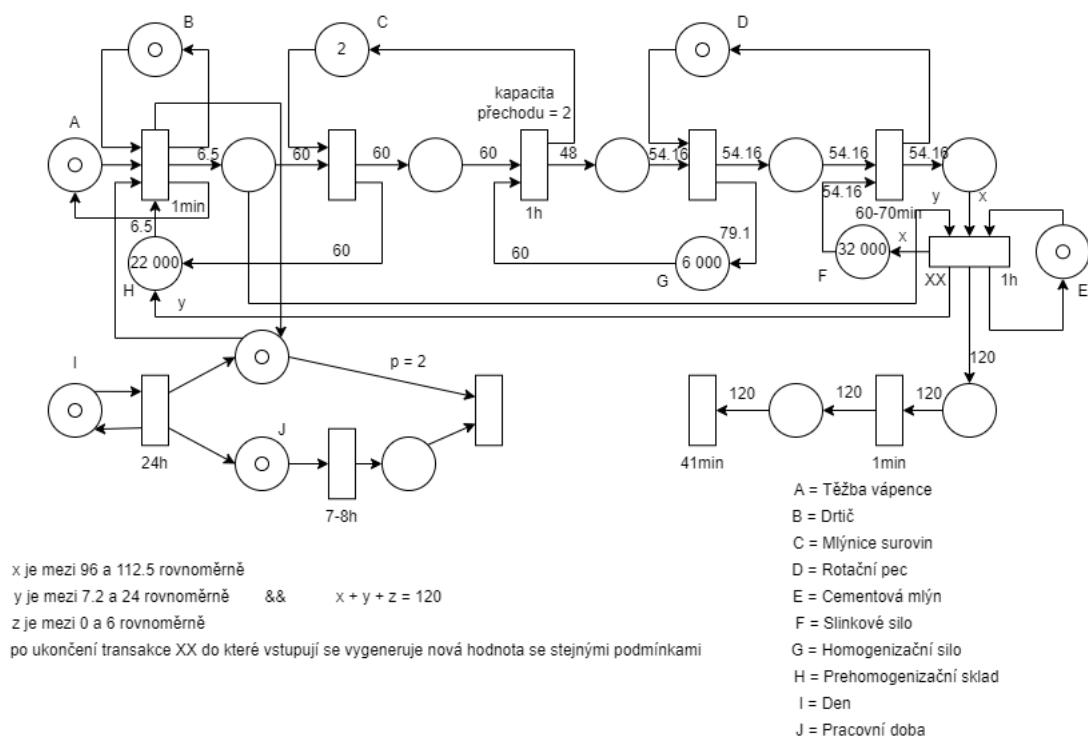
[A] - Portlandský směsný cement

Druh cementu	Označení	Popis výrobku	Slínek %	Struska %	Křemičitý popílek %	Vápenec %	Ostatní složky
CEM II	A-M(S-V) 42,5 R	Portlandský směsný cement	80-94			6-20	0-5

3.1 Popis abstraktního modelu

Abstraktní model můžeme vizuálně rozdělit na 3 části. Horní, levá spodní a pravá spodní. Horní část reprezentuje celý výrobní proces, od těžby vápence, přes drtič, mlýnice surovin, rotační pec a cementový mlýn. Levá spodní část začíná místem [6 slajd 123], které slouží jako generování dne. Po 7-8h se každý den těžba zastaví, kvůli konci pracovní doby těžařů. Pravá spodní část plní pouze roli balení výsledného produktu a posledním přechodem [6 slajd 124] vytváří 4 800 balení Portlanského směsného cementu po 25kg.

[B] - Petriho síť



3.2 Forma abstraktního modelu

Obrázek Petriho sítě [B] zpracovaného modelu je obohacen legendou a specifickými proměnnými, které nejsou v jeho klasické syntaxi. Jsou jimi 3 proměnné x , y a z , kde x reprezentuje množství náhodné slínku v rovnoměrném intervalu 96t až 112.5t, y interval 7.2t až 24t a z interval 0 až 6t. Jejich součet však nesmí přesáhnout váhu výsledného produktu neboli 120t. Všechny více než jednotkové váhy přechodů [6 slajd 124] a kapacity jednotlivých skladů jsou uvažovány v tunách.

4 Architektura simulačního modelu

Program přijímá dobrovolné 2 argumenty, jeden reprezentuje počet pracovních dnů běhu cementárny a druhý informaci, jestli chce uživatel vypsat podrobné informace o průběhu simulace. Výchozí hodnoty jsou 5 dnů (tedy tradiční pracovní týden) a vypsaní stručného výsledku. Pro další informace zadejte parametr `-h`.

Po zpracování argumentů a inicializaci modelového času [6 slajd 21] jsou před spuštěním simulace prostřednictvím knihovni funkce `Run()` aktivovány 3 procesy `Extraction`, `WorkingDay` a `Process`. `Extraction` představuje těžbu a běží, dokud je místo v prehomogenizačním skladu nebo není uspán a později opět probuzen procesem `WorkingShift`, jež reprezentuje pracovní směnu. Ten je každý den aktivován procesem `WorkingDay` na dobu 7-8h. `Process` stojí za celým výrobním procesem a postupně aktivuje tovární technologie, reprezentované jednotlivými procesy. Cementárna, na rozdíl od těžby vápence, běží konstantně. Parametry technologií cementárny je možno upravit v hlavičkovém souboru `ims.hpp` a přizpůsobit se tak technickým požadavkům jiné výroby. Jakmile je simulace ukončena, vypíše informace o množství vyrobeného cementu a počtu klasických 25kg cementových pytlů, které by tomu množství odpovídaly. Při zadání parametru `yes` jsou tyto informace rozšířeny o průměrných dobách směn, průměrném spotřebovaném množství slínku v cementovém mlýnu atd.

Příklady spuštění programu:

```
./ims
./ims yes
./ims month
./ims 365 yes
```

4.1 Mapování do simulačního modelu

Seznam tříd a jejich funkcionality v rámci simulačního modelu:

- `Process` - Výrobní proces a cesta materiálu z prehomogenizačního skladu až do podoby výsledného produktu. Postupně aktivuje jednotlivé procesy a čeká na jejich ukončení.
- `Grinding` - Mlýnice surovin, které surovinu homogenizují. Proces kontroluje minimální množství látky v prehomogenizačním skladě a v případě nedostatku se ukončí, jinak množství odejme a po hodině jeho homogenizovanou podobu vloží do homogenizačního sila.
- `Calcination` - Rotační pec, která surovinu kalcinuje. Proces kontroluje minimální množství látky v homogenizačním silu a v případě nedostatku se ukončí, jinak množství odejme a po 60-70min ho v podobě slínku vloží do slinkového sila.
- `Cement_grinding` - Cementový mlýn, který ze slínku, vápence a aditiv zformuje cement. Proces kontroluje minimální množství látky v prehomogenizačním skladě a slinkovém silu. V případě nedostatku alespoň v 1 se ukončí, jinak množství odejme a po hodině aktivuje balicí proces `Cement_packing`.

- `Cement_packing` - Balení cementu do připravených pytlů, čímž je započten do statistik a opouští tovární proces.
- `Extraction` - Těžba vápence, probíhá konstantně, pokud je místo v prehomogenizačním skladě. Když je plný nebo není pracovní směna, proces je uspán.
- `WorkingDay` - Reprezentace dne, aktivuje se každých 24h, kdy aktivuje proces `WorkingShift`.
- `WorkingShift` - Pracovní směna, po aktivaci probudí proces `Extraction`, čeká 7-8h a před jeho ukončením ho zase uspí.

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Prostřednictvím experimentů se nejprve ověřovala validita modelu, následně se zaměřilo na optimalizaci výroby upravením parametrů technologií a podle nich se nakonec vytvořily odhadovaná množství exportovaného vápence. Simulační model je pro danou problematiku vhodný kvůli náhodnému množství obsažené suroviny ve výsledném produktu a výrobních zařízeních s odlišnými výkony.

5.1 Postup experimentování

Experimenty probíhaly v ročním modelovém čase (tj. 250 pracovních dní) pro maximalizaci vstupních dat a přidáním parametru `yes` pro bližší informace o jeho průběhu. Před spuštěním se upravili technické parametry technologií v souboru `ims.hpp`, pokud na nich byl průběh experimentu stavěný. Nakonec se výsledky, obzvlášť u kontroly validace, porovnávali s poměrem celkového množství vyprodukovaným cementu v ČR ku počtu cementáren na našem území.

5.2 Dokumentace experimentů

5.2.1 Experiment 1

Nejprve se snažíme ověřit validitu modelu, tudíž zkusíme porovnat množství vyrobeného cementu za rok s celkovou produkcí ČR.

Využito[t]	Exportováno[t]	Vyrobeno[t]
442 024	871 882	1 750.8

Z experimentu je zřejmé, že vyrobené množství neodpovídá množství vytěženému ani ročním předpokladům [9], tudíž je model nevalidní.

5.2.2 Experiment 2

Po opravení chyby v balení cementu se provedl druhý experiment se stejným cílem jako experiment první.

Využito[t]	Exportováno[t]	Vyrobeno[t]
442 288	868 692	350 280

Po ukončení experimentu model prokazuje známky validity (více viz. kapitola 5.3).

5.2.3 Experiment 3

Z Petriho sítě je patrné, že nejpomalejším článkem cementárny je rotační pec, zkusíme tedy použít modernizovaný model s novým kalcinátorem a chladičem [3], celkově o výkonu 1900t za den (předchozí 1200t za den).

Využito[t]	Exportováno[t]	Vyrobena[t]
678 810	616 539	551 400

Vylepšení pece výrazně urychlilo proces výroby a počet využitého vápence převážil počet exportovaného.

5.2.4 Experiment 4

Pro maximalizaci rychlosti procesu kalcinace využijeme novou pecní linku [3] o 3500t za den. Pro nasazení tohoto zařízení by se musela značně předělat výrobní linka, kvůli jeho mohutnějšímu charakteru.

Využito[t]	Exportováno[t]	Vyrobena[t]
816 442	462 110	674 400

Výměna pece výkon cementárny zvedla, ovšem ne stejným poměrem jako tomu bylo u předešlého experimentu.

5.2.5 Experiment 5

Nakonec uzpůsobíme i zbytek linky, aby dokázal konkurovat velkému výkonu pece a zároveň byly co nejvíce využívány dosavadní technologie závodu. Nejefektivnější bude přidat 1 surovinový mlýn stejného typu jako předešlé, přidat 4 balící přístroje a vyměnit cementový mlýn za nový vertikální mlýn typu LM 56.3-3C/S o výkonu 220t/h.

Využito[t]	Exportováno[t]	Vyrobena[t]
1 214 785	34 485	1 009 140

Tímto experimentem jsme se co nejvíce přiblížili optimálnímu výkonu cementárny s ohledem na maximální využití lokálního zdroje suroviny a za použití existujících technologií.

5.3 Závěry experimentů

Během experimentů za účelem validace bylo možné opravit pár chyb. Vezmeme-li v potaz, že na území ČR je celkově 6 cementáren [10] a modelovaná verze obsahuje oproti jiným starší technologie, pak vyrobené množství prokazuje známky validity v kontextu celkové produkce. Nejvíce experimentů bylo provedeno pro vyzkoušení různých technologií v rámci optimalizace. Jelikož byly experimenty vyhotovávány s počátečními nulovými obsahy skladů, lze s větším časovým intervalem očekávat menší roční spotřebu v rámci několika tisíc tun a zanedbatelně větší produkci o pár stovek tun.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Díky simulačním experimentům bylo možné ověřit validitu modelu. Kromě vytvoření optimální cementárny bylo zjištěno, že lze značně docílit většího výkonu za pouhé modernizace pece (viz kapitola 5.2.3). Dále nám model poskytuje možnost otestovat vliv změny jednotlivých technologií na celkový chod linky a vytvořit odhady spotřeby i množství exportované suroviny pro ostatní výroby či externí odběratele.

Výsledný nástroj, vytvořený v rámci projektu z předmětu IMS, lze spustit prostřednictvím terminálu s parametry zmíněnými dříve (viz kapitola 4) a byl implementován v programovacím jazyce C++ za využití knihovny SIMLIB.

7 Zdroje

- 1 - https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/referencni-dokumenty-bref/2016/12/BREF-Cement-vapno_konecny.pdf
- 2 - <https://www.cemex.cz/vyroba-cementu>
- 3 - <http://www.pspeng.com/cz/vybrane-reference-cement/>
- 4 - <https://www.heidelbergcement.cz/cs/cement/vyroba>
- 5 - <https://cementplantsupplier.com/cement-solutions/medium-cement-production-plant/>
- 6 - <https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FIMS-IT%2Flectures%2FIMS-2021-09-20.pdf&cid=14664>
- 7 - <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/uploads.mangoweb.org/shared-prod/svcement.cz/uploads/2021/02/podil-cementu-na-domaciho-prodeji-2008-2019.pdf>
- 8 - <https://www.svcement.cz/data/data-2020/>
- 9 - <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/uploads.mangoweb.org/shared-prod/svcement.cz/uploads/2021/02/struktura-domaciho-prodeje-2008-2019.pdf>
- 10 - https://is.muni.cz/th/v020u/Pril._1_-_Vyrobcu_cementu_a_cementarny_v_CR.pdf