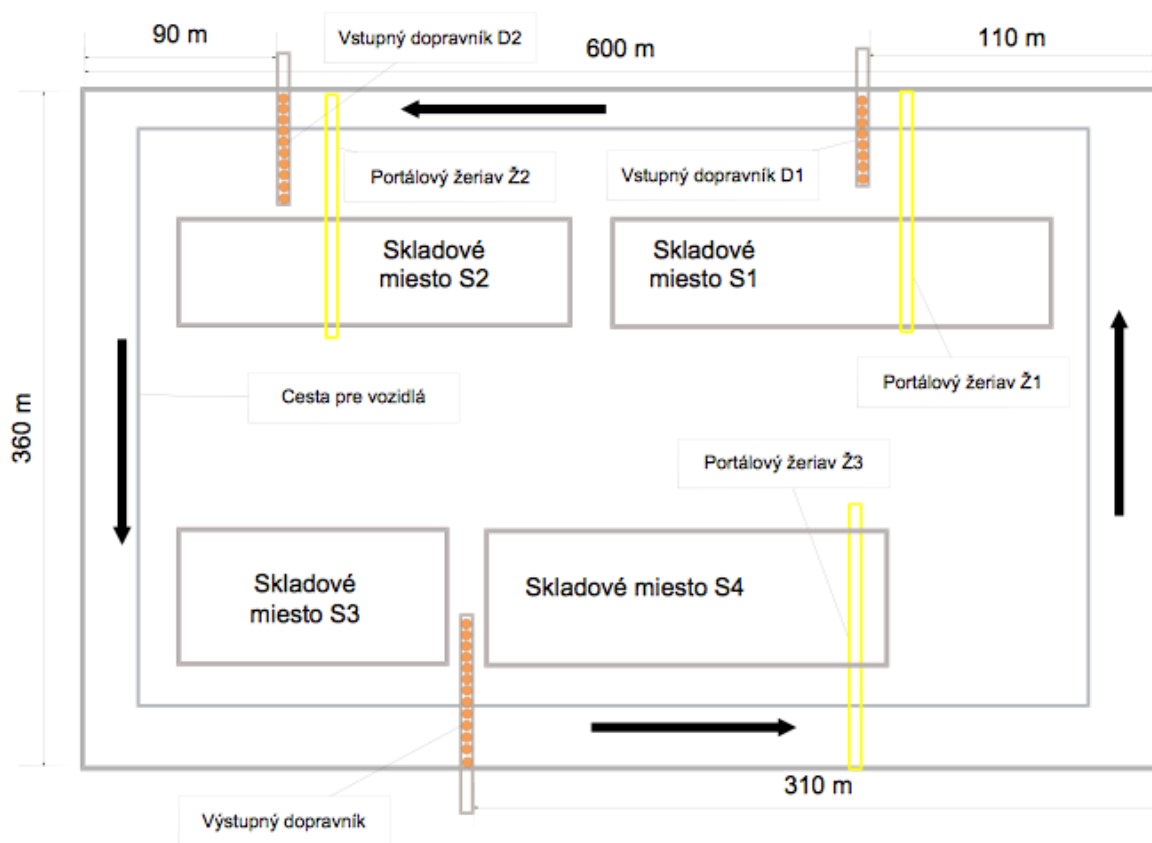


Simulácia oceliarne

Zadanie

Veľká spoločnosť na výrobu ocele sa rozhodla rozšíriť výrobu a potrebuje preveriť kapacitu expedičnej haly. Pre potreby overenia fungovania celého skladového a prepravného systému je potrebné vypracovať simulačnú štúdiu. Táto štúdia bude zameraná len na halu skladovania a prípravy expedície už hotových roliek oceľového plechu. Fabrika vyrába a valcuje oceľ, ktorá sa následne prepravuje do jednotlivých odberných miest vo forme roliek (valcov). Schematický náčrt haly je na obrázku.



Každý žeriav môže obsluhovať časť haly:

- žeriav Ž1 obsluhuje skladové miesto S1 a vstupný dopravník D1
- žeriav Ž2 obsluhuje skladové miesto S2 a vstupný dopravník D2
- žeriav Ž3 obsluhuje skladové miesto S3, S4 a výstupný dopravník

Každý žeriav dokáže presunúť jednu rolku za čas $c = <15,69$ s (rovnoménné spojité rozdelenie) a nezáleží na tom odkiaľ a kam rolku prekladá.

Na každom odkladacom mieste môže byť uložený maximálne daný počet roliek:

- na skladové miesto S1 je možné uskladniť 120 roliek
- na skladové miesto S2 je možné uskladniť 110 roliek
- na skladové miesto S3 je možné uskladniť 70 roliek
- na skladové miesto S4 je možné uskladniť 170 roliek

Do haly prichádzajú jednotlivé rolky ocele po vstupnom dopravníku (D1 a D2). Na konci dopravníkového pásu je pripravených niekoľko odkladacích miest na rolky ocele (fungujúcich ako buffer). Dopravník D1 má 10 odkladacích miest a dopravník D2 má 8 odkladacích miest. Zastavenie pásu, ktorý vozí rolky do haly je neprípustné a je nutné, aby pri príchode rolky do systému bolo aspoň jedno z odkladacích miest prázdne, ak sa tak stane simulačný beh vyhodnotíte ako neúspešný. Z odkladacích miest na vstupe do haly sú jednotlivé rolky odoberané pomocou portálových žeriavov Ž1 a Ž2 a nakladané buď na vozidlo, ktoré ich prepraví k skladovému miestu S3, alebo sú premiestnené na skladové miesto S1 alebo S2 na ďalšie spracovanie. Žeriavy Ž1 a Ž2 dokážu zo vstupných zásobníkov zobrať ktorúkoľvek rolku plechu (rolky nemusia byť odoberané v poradí v akom prišli do haly). 70% roliek pre S3 prichádza cez dopravník D2 a 30% roliek pre S3 prichádza cez dopravník D1. Rolky pre sklad S1 prichádzajú výlučne dopravníkom D1 a rolky pre sklad S2 prichádzajú iba po dopravníku D2.

Skladové miesta S1, S2 a S3 slúžia na dodatočné opracovanie roliek. Na týchto skladových miestach prebiehajú dodatočné práce na rolkách plechu, ktoré zabezpečuje tím pracovníkov. Každú rolku uloženú do skladu S1, S2 alebo S3 musí tento tím dodatočne opracovať a najmä skontrolovať. Doba spracovania jednej rolky má spojité trojuholníkové rozdelenie s parametrami (0.03, 0.17, 0.87) – čas v hodinách. Premiestnenie tímu z jedného skladu do iného miesta S1 na S2 alebo späť trvá 13 minút.

Jednotlivé rolky ocele sú v hale prepravované pomocou špeciálnych automaticky riadených vozidiel. Jedno vozidlo môže viesť 1 rolku. Vozidlá sa pohybujú po okraji haly a je dovolené, aby bolo stojace vozidlo obídene iným. Smer pohybu vozidiel je na obrázku označený šípkou. V hale operujú 4 vozidlá. Tri staršie typy sa pohybuje rýchlosťou 2,9 km/h a jeden novo zakúpený typ sa pohybuje rýchlosťou 4,5 km/h.

Rolky sú so skladov S1 a S2 vozidlami prepravené k skladovému miestu S4, kde sú pomocou príslušného žeriavu Ž3 vyložené. Na skladových miestach v S4 prebiehajú posledné predexpedičné práce. Po premiestnení na toto miesto musí na ňom rolka zotrvať aspoň po dobu danú erlangovým rozdelením pravdepodobnosti, ktorého rozptyl je 0,07 h a priemerná doba prípravy na expedovanie rolky je 0,11 h.

Rolky zo skladu S3 sú špeciálne a po opracovaní tímom pracovníkov sú už pripravené na expedovanie. Žeriav Ž3 presunie rolky z S3 priamo na výstupný dopravník.

Výstupný dopravník má podobne ako vstupné dopravníky odkladacie miesta (Buffer – FIFO). Výstupný dopravník má 13 odkladacích miest. Rolky pripravené na expedovanie sú pomocou žeriavu Ž3 nakladané do odkladacích miest pri výstupnom dopravníku. Je nutné zabezpečiť, aby vždy bolo aspoň jedno miesto v zásobníku zaplnené, ak sa v S3 nachádzajú rolky pripravené na expedovanie. Rolka pripravená na expedovanie je prepravená žeriavom do jedného z voľných odkladacích miest.

Pre rýchlosť odvozu roliek z výstupného zásobníka platí, že výstupný dopravník odvezie každých 9 minút a 50 sekúnd jednu rolku zo zásobníka, ak sa v ňom nejaká rolka nachádza. Ak tam v tomto okamihu žiadna rolka nie je, bude ďalšia rolka odvezená až po uplynutí stanoveného času (9:50).

V súčasnosti je zaplnenie skladových priestorov počas výroby nasledovné (použité ako štartovacie údaje):

- S1 – zaplnený na 50%, pričom zo všetkých roliek je opracovaných 60%
- S2 – zaplnený na 33%, pričom zo všetkých roliek je opracovaných 40%
- S3 – zaplnený na 65%, pričom zo všetkých roliek je opracovaných 55%
- S4 – zaplnený na 51%, pričom zo všetkých roliek je pripravených na expedovanie 35%

Súčasný stav príchodu roliek do systému dokumentuje priložený súbor. Pri každej rolke máte uvedený čas kedy do systému vstúpila a miesto kam sa premiestni.

Na základe týchto údajov vykonajte potrebnú analýzu, tak aby ste boli schopní generovať vstupný tok roliek. Vykonanú analýzu zdokumentujte. Odovzdať je potrebné aj medzivýsledky, prípadne vlastný program, ktorým ste vykonali analýzu dát.

Firma plánuje v budúcnosti zvýšiť výrobu a potrebuje určiť o koľko percent je možné zvýšiť vstupný tok roliek, tak aby bol zabezpečený bezproblémový chod haly. Pre bezproblémový chod je potrebné zabezpečiť, aby zaplnenie žiadneho skladového miesta neprekročilo 90% a aby boli dodržané všetky uvedené pravidlá fungovania haly. Úmerne k zvyšujúcemu sa vstupnému toku je potrebné zvyšovať aj rýchlosť odoberania roliek z výstupného dopravníka. Vašou úlohou je navrhnúť anamodelovať čo najefektívnejšie fungovanie haly a to tak, že navrhnete odporúčanú konfiguráciu pre aktuálny vstupný tok a aj pre zvýšený vstupný tok.

Pre jednu replikáciu je vhodné nastaviť simulačný čas na jeden rok od zahriatia modelu. Podľa vývoja skladovacích kapacít stanovte čas, kedy je možné model považovať za zahriaty.

Vykonajte aspoň nasledujúce experimenty:

1. Určite pravidlo/pravidlá, podľa ktorého sa majú nakladať rolky z S1 a S2 na vozidlo, teda kedy je vhodné naložiť rolku z S1 alebo S2 na prevoz do S4 a nie zo vstupného zásobníka D1 a D2 na prevoz do S3.
2. Určite pravidlo podľa ktorého sa majú nakladať rolky z S3 a S4 na výstupný dopravník.
3. Určite pravidlo podľa ktorého sa má premiestňovať tím medzi skladmi S1, S2 a S3, teda kedy je ho vhodné premiestniť.

4. Určite pravidlá pre fungovanie žeriavov, napr. kedy má žeriav Ž1 uprednostniť naloženie rolky na vozidlo z S1 pred preložením rolky z D1 do S1.
 5. Stanovte využitie jednotlivých vozidiel a žeriavov v percentách.
 6. Zvyšujte vstupný tok roliek a určite o koľko percent môže byť zvýšený, tak aby výroba dlhodobo fungovala bez problémov. Určite aké bude priemerné zaplnenie skladových priestorov. Následne určite, ktorý komponent v hale (autá, výstupné dopravníky, ...) je limitujúci pre ďalšie zvýšenie výroby.
 7. Vykonajte experimenty so zvyšovaním kapacity limitujúceho prvku. Napríklad: ak ste zistili, že jeden tím nestačí môžete zriadiť ďalší, zakúpiť ďalšie vozidlo, rozšíriť dopravníkový pás a pod. Nemôžete meniť rýchlosť práce žeriavov, zvyšovať kapacitu skladov, ani zrýchľovať pohyb vozidiel, keďže tieto parametre sú dané technickými možnosťami.
- O všetkých zisteniach je potrebné vypracovať podrobnú správu a odporučiť potrebné opatrenia na ďalšie zvyšovanie výroby. Očakáva sa, že navrhnete a vyhodnotíte ďalšie štatistiky popisujúce modelovaný systém, pomocou ktorých budete schopní odporučiť vhodné opatrenia. Pre významné štatistiky určite aj 95% interval spoľahlivosti.

Úloha:

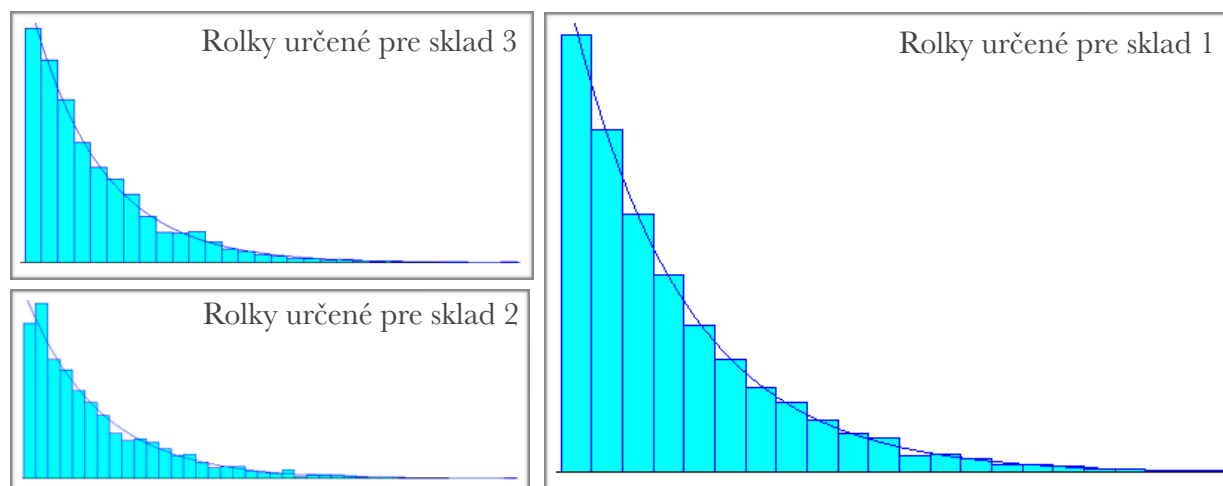
Navrhnite a implementujte agentovo orientovaný model, ktorý bude modelovať všetky vyššie popísané vlastnosti reálneho systému a bude orientovaný na použitie pre hore uvedené ciele. Funkčnosť simulačného programu preukážte jednoduchým a prehľadným priebežným zobrazovaním situácie v systéme počas behu programu. Súčasťou dokumentácie riešenia je grafický návrh architektúry modelu.

Analýza vstupných dát

Namerané časy príchodov roliek do oceliarne sú dané v súbore Vstupy.txt vo formáte “DD. MM. YYYY hh:mm:ss;C” pričom: DD-deň, MM-mesiac, YYYY-rok, hh-hodina, mm-minúta, ss-sekunda, C-katagória (sklad 1, 2 alebo 3). V jazyku objective C som napísal program (súbory main.m, DisSimParser.h DisSimParser.m) ktorí s týchto časov vypočítal intervaly medzi príchodmi roliek do oceliarne algoritmom:

1. načíta dáta zo súboru Vstupy.txt a pre každý record je vytvorený objekt typu NSDate, ktorí nesie informáciu o dátume a čase,
2. rozdelí dátumy príchodov roliek do skupín podľa toho, pre ktorú sklad bola daná rolka určená,
3. pre každú skupinu sa vykoná:
 - 3.1. usporiada dátumy vzostupne,
 - 3.2. vypočíta intervaly medzi príchodmi roliek ako rozdiel dátumov,
 - 3.3. vytvorí súbor a zapíše doň vypočítané intervaly

Pre určenie rozdelenia pravdepodobnosti som použil program Input Analyzer.



Obr.1 Výstup programu input analyzer

Funkciou fitAll programu Input Analyzer vyšlo pre rolky určené pre sklady 1 a 3 ako najvhodnejšie exponenciálne rozdelenia. V prípade skladu 2 bol štvorec chyby pri weibullovom rozdelení meší (0.000948) než pri exponenciálnom (0.00109). Ale keďže je rozdiel chýb pomerne malý a jedná sa o časy medzi

príchodmi, nie životnosť, rozhodol som sa použiť exponenciálne rozdelenie s odporučenými parametrami.

Simulačný model

Hierarchia agentov

Pre implementáciu simulačného modelu bola použitá agentovo orientovaná simulácia (architektúra ABASIM). Použití agenti sú znázornení na obrázku:



Obr.2 Hierarchia agentov

AgentModelu

Agent je na vrchole hierarchie, zodpovedný za spustenie a beh celej simulácie.

AgentOkolia

Agent zodpovedný za príchody roliek do systému a odoberanie už opracovaných roliek. Obsahuje troch kontinuálnych asistentov: Plánovače príchodov roliek - jeden pre každý cieľový sklad roliek.

AgentOceliarne

Agent ktorý riadi technologický proces spracovania roliek ocele. Pre ich spracovanie využíva svojich podriadených agentov, ktorý vykonávajú špecifické činnosti procesu.

AgentDopravníkov

Agent zodpovedný za správu dopravníkov. Obsahuje kontinuálneho asistenta Plánovač odchodu roliek, ktorý plánuje odchody roliek z oceliarne po výstupnom dopravníku.

AgentSkladov

Agent zodpovedný za uskladnenie a opracovanie roliek. Obsahuje troch kontinuálnych asistentov. Proces opracovania rolky, ktorým je realizované samotné opracovanie rolky tímom pracovníkov a preto vyžaduje pridelenie zdroja obsluhy "tím pracovníkov", Proces predexpedičného spracovania, ktorí zabezpečuje predexpedičné spracovanie roliek v sklade S4 a Proces presunu tímov pracovníkov, ktorým je realizované presunutie tímu pracovníkov medzi dvoma skladmi.

AgentŽeriavov

Agent zodpovedný za prekladanie roliek medzi dopravníkmi, skladmi a vozidlami. Obsahuje kontinuálneho asistenta Proces preloženia rolky.

AgentVozidiel

Agent zodpovedný za presun vozidiel. Obsahuje zoznam dynamických agentov vozidiel ktorým nastavuje ciele, ktorými sú presuny roliek medzi jednotlivými stanoviskami oceliarne.

DynamickyAgentVozidla

Dynamický agent reprezentujúci vozidlo ktoré presúva rolky medzi žeriavmi oceliarne.

Rolky môžu byť v oceliarni spracované dvoma spôsobmi:

- Tieto alternatívy sú zobrazené na technologických grafoch Obr.3 a Obr.4.



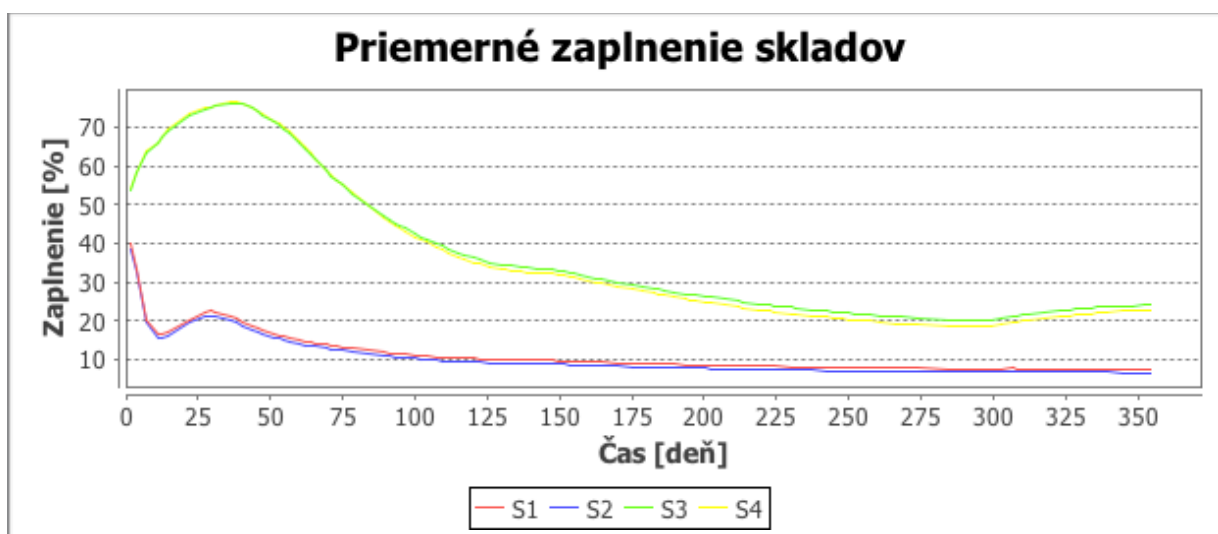
Entity

Pre realizáciu simulačného modelu som použil niekoľko typov entít:

- Rolky - prvky ktoré sú v oceliarni spracované. Agenti si ich navzájom posielajú v správach.
- Žeriavy - prvky ktoré prekladajú rolky medzi skladmi, dopravníkmi a vozidlami. Vlastní ich agent žeriavov.
- Sklady - prvky ktoré uskladňujú rolky a poskytujú priestor pre ich opracovanie. Vlastní ich agent skladov.
- Dopravníky - prvky tvoriace rozhranie medzi oceliarnou a jej okolím. Takisto slúžia ako buffer. Vlastní ich agent dopravníkov.
- Tými pracovníkov - prvky ktoré sú zodpovedné za opracovanie roliek. Môžu sa presúvať medzi jednotlivými skladmi. Vlastní ich agent skladov.

Zahrievanie simulácie

Pri spustení simulácie nie sú stavy skladov stabilné, je preto potrebné uskutočniť zahrievanie simulácie. Na základe grafu Obr.5 by som odporučil dobu zahrievania na dvesto až tristo dní.



Obr.5 Ustáľovanie priemerného zaplnenia skladov

Simulačná štúdia

Bolo potrebné určiť pravidlá pre fungovanie oceliarne. Všetky pravidlá sú realizované ako promptný asistenti príslušných agentov, obsahujúci optimalizačné algoritmy, ktoré poskytujú agentom návrh riešenia danej situácie.

Pravidlo prevozu roliek do skladov S3 a S4

Pravidlo prevozu roliek závisí od zaplnenia dopravníkov a skladov S1 a S2. Keďže je kapacita dopravníkov podstatne nižšia než kapacita skladov, je vo väčšine prípadov uprednostnený prevoz roliek určených pre sklad S3 z dopravníkov pred prevozom roliek do skladu S4 zo skladov S1 a S2. V prípade že rolka čaká iba na prevoz do skladu S4 alebo S3 (t.j. rolky nečakajú súčasne) je daná rolka automaticky prevezená. V prípade že na prevoz čakajú aj rolky na dopravníkoch, aj rolky v skladoch, je v 90% prípadoch uprednostnený prevoz roliek s dopravníkov. Takéto vysoké uprednostňovanie dopravníkov spôsobuje, že veľkú časť prevádzky budú dopravníky takmer prázdne až prázdne čo poskytuje dostatok priestoru pre prevoz roliek zo skladov S1 a S2. Následne je vybrané, s ktorého dopravníka bude rolka odvezená. V 70% prípadoch je uprednostnený dopravník D2. Experimentoval som aj z inými hodnotami (60%, 80%, 90%) ale zistil som, že lepšie funguje 70%, zrejme preto, že do dopravníka D2 prichádza 70% roliek určených na prevoz. V prípade že je vozidlo priradené na prevezenie rolky do skladu S4 je sklad z ktorého bude rolka odvezená daný percentuálnym zaplnením skladov. Rolka je teda odvezená zo skladu ktorý je viac zaplnený. Pokiaľ sú všetky rolky vo viac zaplnenom sklade neopracované je rolka samozrejme odvezená z menej zaplneného skladu (ak taká vhodná rolka v sklade existuje).

Pravidlo práce žeriavov Ž1 a Ž2

Prekladanie roliek žeriavmi je veľmi rýchle v porovnaní s ostatnými procesmi oceliarne (prevoz roliek vozidlami, príchod nových roliek dopravníkmi, spracovanie roliek pracovníkmi), preto má aj spôsob ich prevádzky pomerne malý vplyv na prevádzku oceliarne. Okrem toho, ako bude možné vidieť ďalej, v časti popisujúcej vyťaženie žeriavov, je ich vyťaženie pomerne malé (predovšetkým to platí práve pre žeriavy Ž1 a Ž2), vo väčšine prípadov teda po požiadavke o preloženie môže byť táto požiadavka okamžite spracovaná. Z tohto dôvodu som považoval za postačujúce použiť ako pravidlo pre prácu týchto žeriavov FCFS (first come first served).

Pravidlo práce žeriavu Ž3

1. Ak pri žeriave čaká vozidlo s požiadavkou o vyloženie rolky pre ktorú je v sklade kam má byť preložená vyhradené miesto, preloží žeriav rolku z vozidla.
2. Rolka je preložená zo skladu (jedného s S3 a S4), ktorý je menej zaplnený. V prípade že vo viac zaplnenom sklade nie je žiadna rolka pripravená na expedovanie je rolka preložená z menej zaplneného skladu.

Pravidlo presunu pracovníkov

Pravidlá sú usporiadané podľa ich precedencie. Pri ich vyhodnocovaní sa používa informácie o zaplnení skladov. Tieto informácie sú dvoch typov: celkové zaplnenie skladov - pomer kapacity skladu a počtu roliek v sklade a zaplnenie nespracovanými rolkami - pomer kapacity skladu a počtu neopracovaných roliek.

1. Ak sklad, v ktorom sa tím práve nachádza, už neobsahuje žiadne neopracované rolky, tím sa presunie do skladu ktorý je najviac zaplnený,
2. Tím sa presunie do iného skladu ak je zaplnený na viac ako 80% a sklad v ktorom tím opracováva rolky je zaplnený na menej ako 70%.
3. S 10% pravdepodobnosťou sa tím presunie do skladu ktorý je najviac zaplnený. (Zdôvodnenie: Pracovníci by sa mali presúvať do skladov ktoré sú viac zaplnené, pričom by sa ale nemali presúvať príliš často, preto sa presunú len v jednom z desiatich prípadov).

Po vybratí skladu do ktorého sa majú pracovníci presunúť môže sa dôjsť k prípadu, že je vybraný sklad zaplnený opracovanými rolkami. V takom prípade je uprednostnený presun do skladu, ktorý má najvyšší pomer neopracovaných roliek ku kapacite skladu.

Limitujúci prvok

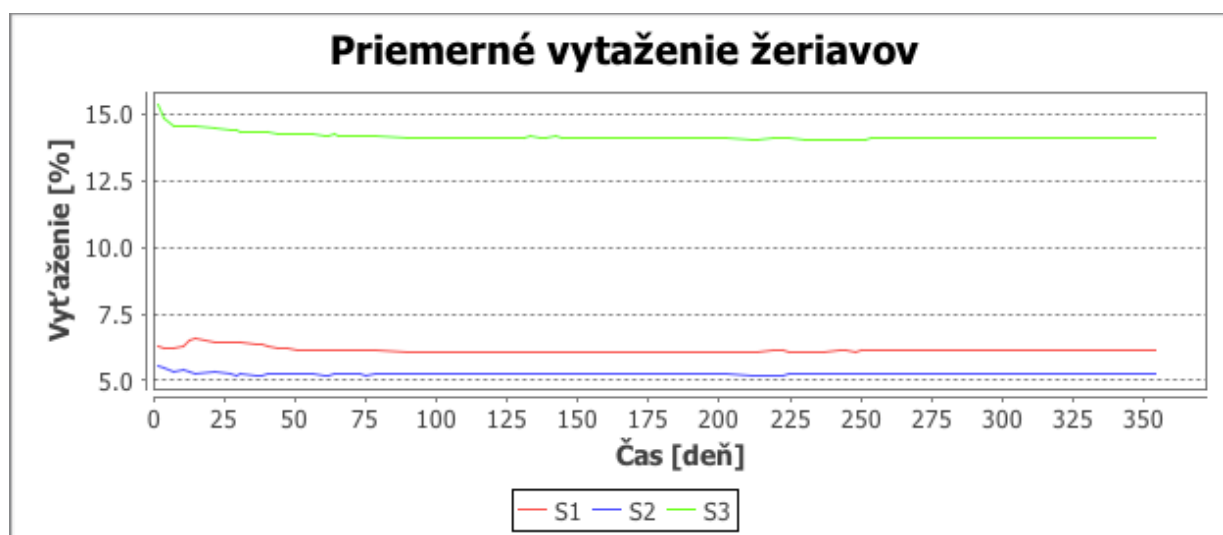
Ako limitujúci prvok som identifikoval tím pracovníkov. V prípade jedného tímu tento tím nestíhal spracovať všetky rolky ktoré prichádzali do oceliarne.

Dôsledkom polo naplnenie kapacity skladu (najčastejšie skladu S3, ktorí má najmenšiu kapacitu) čo následne spôsobilo preplnenie dopravníkov, keďže rolky z nich nebolo kam preložiť. Experimentoval som teda so zvýšením počtov tímov pracovníkov. V prípade dvoch tímov stále nastával spomínaný problém.

Nakoniec som došiel k záveru, že pre správne fungovanie oceliarne sú potrebné aspoň tri tými pracovníkov.

Pri konfigurácii s tromi týmami pracovníkov, štyrmi vozidlami (z toho je jedno rýchlejší model), pri nezmenenom vstupnom toku bolo priemerné vyťaženie vozidiel 88.8% (95% interval spoľahlivosti - 88.7% až 88.9%) pričom čas strávený čakaním na naloženie nie je započítaný. Tento čas sa medzi vozidlami výrazne nelíši.

Vyťaženosť žeriavu Ž1 bola 6.17% (95% interval spoľahlivosti - 6.14 až 6.18), žeriavu Ž2 5.29% (95% interval spoľahlivosti - 5.27 až 5.3) a žeriavu Ž3 14.18% (95% interval spoľahlivosti - 14.14, až 14.21).



Obr.5 Ustáľovanie priemerného vyťaženia žeriavov

Priemerný počet roliek v sklade S1 bol 11.2 roliek (95% interval spoľahlivosti - 7.4 až 15.05), v sklade S2 9.37 roliek (95% interval spoľahlivosti - 5.89 až 12.85), v sklade S3 21.3 roliek (95% interval spoľahlivosti - 19.53 až 28.43) a v sklade S4 50.6 roliek (95% interval spoľahlivosti - 45.83 až 68.19).

Zvyšovanie vstupného toku

Pri experimentovaní zo zvyšovaním vstupného toku som si všimol, že prvok čo najviac limituje rýchlosť práce oceliarne je rýchlosť výstupného dopravníka. Aj pri malom zvýšení vstupného toku sa stávalo, že sa začali preplňovať sklady S3 a S4. Nie preto že by pracovníci nestíhali rolky ktoré boli uskladnené v sklade S3 spracovať, takmer všetky rolky už boli pripravené na expedovanie, ale preto že tieto rolky čakali na uvoľnenie miesta vo výstupnom dopravníku.

Pracovníci napriek tomu že boli sklady S3 a S4 viac zaplnené, a pravidlo presunu pracovníkov hovorí, že pracovníci sa majú prednostne presúvať do skladov ktoré sú viac zaplnené (do skladu S4 sa nepresúvajú). Ale aj po opracovaní všetkých roliek, sklad zostával zaplnený. Pre zvýšenie vstupného toku je teda nevyhnutné zvýšiť aj rýchlosť odoberania roliek zo systému. Odporučil by som teda oceliarni zrýchliť odvoz roliek výstupným dopravníkom. Opatrenie zrýchlenia výstupného dopravníka na odvoz jednej rolky za päť minút umožní zrýchliť prevádzku oceliarne o asi 4%. Pre ďalšie zrýchlenie bude potrebné zakúpiť dodatočné vozidlá a tými. Limitujúcim prvkom je v tomto prípade vozidlo. Zakúpením dodatočného vozidla (rýchlejší model) je vstupný tok možné zrýchliť o 11% (Po zamestnaní štvrtého tímu bez zakúpenia piateho vozidla nie je fungovanie oceliarne stabilné pri zvýšení vstupného toku o 11%). Zamestnaním dodatočných tímov pracovníkov a zakúpením ďalších vozidiel je samozrejme možné ďalej zvyšovať vstupný tok (napríklad pri piatich tímoch a siedmych vozidlách je možné zvýšiť vstupný tok o 35%).