VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PROJEKTOVÁNÍ MATERIÁLOVÉHO TOKU POMOCÍ POČÍTAČOVÉ SIMULACE
DESIGN OF MATERIAL FLOW USING DISCRETE EVENT SIMULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE **Bc. Tomáš Seidl**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.**
SUPERVISOR

BRNO 2021

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	**Bc. Tomáš Seidl**
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.**
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Projektování materiálového toku pomocí počítačové simulace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvoření počítačového simulačního modelu na základě systémové analýzy zkoumané oblasti výrobního závodu, provedení experimentu na simulačním modelu, analýza získaných výsledků a diskuze z nich vyplývajících závěrů.

Cíle diplomové práce:

Provedení systémové analýzy úlohy, vytvoření pojmového modelu pro řešený materiálový tok. Vytvoření simulačního modelu v prostředí SW Plant Simulation. Návrh logiky řízení pro sledovanou oblast, která bude hodnocena na základě signifikantních charakteristik materiálového toku vůči výchozímu řešení. Zhodnocení navržených změn a vyvození zjištěných závěrů.

Seznam doporučené literatury:

BANKS Jerry. Discrete-event system simulation. 5th ed., International version. Upper Saddle River, N.J: Pearson Education, 2009. ISBN 9780138150372.

BANGSOW, Steffen . Use cases of discrete event simulation: appliance and research. 1st ed. New York: Springer, 2012. ISBN 978-364-2287-763.

BANKS, Jerry, John S. CARSON II., Barry L. NELSON a David M. NICOL, 2010. Discrete-Event System Simulation. 5th ed., International version. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc., ©2010, 640 s. ISBN 978-013-8150-372.

CIENCIALA, Jiří, c2011. Procesně řízená organizace: tvorba, rozvoj a měřitelnost procesů. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 204 s. ISBN 978-80-7431-044-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Obsahem této diplomové práce je vytvoření simulačního modelu logistického řetězce výrobního oblasti průmyslového závodu za účelem navržení logiky řízení materiálového toku. Pro tvorbu simulačního modelu je využit software Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software. Součástí diplomové práce je systémová analýza zkoumané oblasti výrobního závodu. Za pomocí simulačního modelu jsou provedeny simulační experimenty a vyhodnocení získaných výsledků, ze kterých jsou vyvozeny závěry.

KLÍČOVÁ SLOVA

Logistika, logistický řetězec, materiálový tok, logika řízení, simulace, simulační experiment.

ABSTRACT

The content of this diploma thesis is to create a simulation model of the logistics chain of the production area of an industrial plant in order to design the logic control of material flow. Plant Simulation software from the company Siemens PLM Software is used to create the simulation model. The diploma thesis consists of system analysis of the researched area of the production plant. With the help of the simulation model, simulation experiments and evaluation of the obtained results are made. According to the results, the conclusions are drawn.

KEYWORDS

Logistics, logistics chain, material flow, control logic, simulation, simulation experiment.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SEIDL, T. *Projektování materiálového toku pomocí počítačové simulace*. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 64 s. Vedoucí diplomové práce Miroslav Škopán.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021 ……..……..

Tomáš Seidl

PODĚKOVÁNÍ

Prostřednictvím těchto řádku bych rád poděkoval své nejbližší rodině a své přítelkyni za neutuchající psychickou podporu během studia.

Dík patří také všem, kteří svými odbornými radami a připomínkami více či méně přispěli ke vzniku této diplomové práce.

OBSAH

Úvod **10**

1 Teoretický část **12**
1.2 Logistika 13
1.3 Logistický řetězec 13
1.3.1 Materiálový tok 15
1.3.2 Informační tok 17
1.4 Logistické technologie 18
1.5 Logistický systém 20
1.6 Optimalizace 21
1.7 Simulace 21
1.7.1 Simulační modelování 23
1.7.2 Metodika simulační modelování 23
1.8 Plant Simulation 25

2 Praktická část **26**
2.1 Charakteristika systému 28
2.1.1 Funkce systému 28
2.1.2 Technické parametry systému 28
2.2 Systémová analýza 31
2.2.1 Dispozice systému 31
2.2.2 Logika řízení 37
2.3 Simulační model 38
2.3.1 Návrh logiky řízení 41
2.3.2 Pojmový model 41
2.3.3 Popis navržené logiky řízení 42
2.3.4 Verifikace a validace 46
2.4 Simulační experimenty 51
2.4.1 Matice experimentů 51
2.4.2 Výsledky experimentů 53
2.5 Vyhodnocení výsledků 54
2.5.1 Zhodnocení navržených změn 59

Závěr **60**

Seznam použitých zkratek a symbolů **63**

Seznam příloh **64**

ÚVOD

S postupným rozvojem průmyslových odvětví byl v historii kladen čím dál větší důraz na zvyšování produktivity a efektivity v rámci výrobních oblastí průmyslových závodů. Během jednotlivých průmyslových revolucí byly za tímto účelem postupně využívány parní stroje, montážní linky určené pro hromadnou výrobu a postupné aplikace výpočetní techniky, na kterou plynule navázala částečná až úplná automatizace výrobních procesů. V současnosti je vyvrcholením celosvětového průmyslového rozvoje probíhající tzv. čtvrtá průmyslová revoluce, označovaná také jako Průmysl 4.0. Spočívá v komplexní digitalizaci průmyslových závodů, která je především spojována s převzetím kontroly nad podstatnou částí pracovních pozic, na nichž jsou výrobní procesy vykonávány zaměstnanci. Právě lidský faktor charakteristický vyšší chybovostí má podíl na nižší výkonnosti, spolehlivosti a efektivnosti v rámci výroby. Postupné nahrazování lidské pracovní síly polo či plně automatizovanými pracovišti má za následek snižování kapacity pracovních pozic. Druhou stránkou věci jsou vznikající kontrolní pozice jednotlivých robotizovaných pracovišť, které vyžadují odborněji kvalifikovaný personál. Celkový pracovní trh tak prochází plynulou obměnou, na níž je v současnosti nutné flexibilně reagovat.

Průmyslové podniky běžně disponují nejrůznějšími odděleními, která se dle specializace zaměřují na výrobu, vývoj, financování, personalistiku, marketing a další úseky zabezpečující jejich řádný chod. Mezi základní pilíře každého ekonomického subjektu se řadí schopnost generování provozního zisku. Tento požadovaný finančního výstup je reálné dosáhnout pouze při vyšší hodnotě příjmů v porovnání s náklady. Za tímto účelem mají průmyslové závody tendenci snižovat finanční výdaje spojené s vlastním provozem a výrobou. Mezi dílčí redukce nákladů lze například zařadit úsporu materiálu v rámci jeho množství a jakosti, snížení spotřebované energie, eliminaci pracovních pozic nebo omezení výrobního času. Právě v kontextu s restrikcemi na časové intervaly výrobních činností, lze tvrdit, že i zde platí ve společnosti velmi dobře etablovaná formule, které udává, že čas jsou peníze. S podmínkou nutného udržení konkurenceschopnosti podniku na trhu jsou zaváděna oddělení servisu plánování. Ty za využití optimalizace výrobních procesů napomáhají k úspoře nákladů spojených s provozem a přispívají k dlouhodobé finanční stabilitě podniku. Podstatou těchto oddělení je tedy vyhodnocování a úprava projektovaných úseků v rámci průmyslových závodů. Pro jejich posuzování a případné realizace optimalizací jsou ve velké míře využívány právě počítačové simulace.

Pomocí počítačových simulací, jejichž obsahem jsou simulační modely logistických řetězců, je možné jednotlivé výrobní oblasti průmyslových závodů podrobovat potřebným testům a zkouškám. Simulačními modely lze znázornit jakýkoli logistický řetězec bez ohledu na zpracovávaný typ materiálu. Jejich využití je tedy možné aplikovat napříč nejrůznějšími průmyslovými odvětvími. Pomocí simulačních experimentů mohou být jednotlivé zamýšlené logistické řetězce, a v nich implementované výrobní procesy, kategorizovány za vyhovující či nevyhovující. Případné dílčí úpravy modelu lze simulačními experimenty opětovně testovat a z výsledků opět posoudit vhodnost modifikované varianty. Tento cyklus dílčích korekcí je možné opakovat až do momentu dosažení kýžených hodnot produkcí a prohlásit tak optimalizaci za provedenou. Splněním předem daných podmínek je prostřednictvím optimalizace logistického řetězce možné upravit jednotlivé projektované úseky do takových požadovaných parametrů, aby výsledný dopad na finanční stránku provozu výroby průmyslového podniku byl co nejpříznivější. V simulacích je tedy skryt mocný nástroj pro posuzování a vyhodnocování výrobních úseků průmyslových závodů.

Tato diplomová práce názorně přibližuje využití simulačního softwaru k projektování materiálového toku logistického řetězce. Zároveň je využito simulačních experimentů k posouzení vliv navrženého konceptu logiky řízení na výslednou produkci výrobní oblasti průmyslového závodu.

1 TEORETICKÝ ČÁST

V této části diplomové práce jsou za pomocí odborné literatury objasněny jednotlivé základní teoretické pojmy využívané v následujících kapitolách práce, a to s ohledem na její tematické zaměření. Zřetel je brán zejména na základní pojmy z okruhů logistiky, optimalizace a počítačové simulace.

V rámci logisticky je přiblížen její historický i současný význam. Je uveden princip její činnosti a definování jejích cílů. Následně je popsán související pojem logistický řetězec, který je obecně tvořen se dvou složek, mezi které se řadí materiálový a informační tok. Je podrobně popsán význam materiálového toku a všech jeho ovlivňujících činitelů. Také je nastíněno využití Sankeyova diagramu, jakožto nástroje pro popis materiálových toků řešeného úseku logistického řetězce. V kontextu pohybu materiálu v rámci logistického řetězce je definován informační tok, jeho význam a současná forma zpracování.

Dále jsou uvedeny jednotlivé logistické technologie spolu s podrobným funkčním popisem, kterým se v rámci jejich aplikace řídí operace materiálového a informačního toku. Jsou zde také uvedeny benefity jednotlivých technologií, mezi které se řadí Just in time, Just in sequence a Kanban.

V další kapitole teoretické části diplomové práce je pozornost soustředěna na objasnění pojmu logistického systému. Je zde uvedeno, z čeho se systém skládá a jaké je jeho začlenění v rámci hierarchie průmyslového podniku.

Navazující kapitola je zaměřena na optimalizaci materiálového toku, kde jsou uvedeny možnosti její aplikace na logistický systém. Jsou popsány všechny její potřebné kroky a podmínky, které je nutno dodržet. Související kapitola v pořadí popisuje téma simulace, kde je uveden význam využití simulací na logistické procesy, jejich uplatnění a související pojmy, mezi které patří systém, simulační model, náběh, verifikace a validace simulačního modelu. Jsou zde také definovány druhy simulačních modelů. Nastíněn je i proces simulačního modelování, na kterou navazuje související metodika simulačního modelování.

Na závěr teoretické části jsou uvedeny základní informace o softwaru Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software. Ten je v diplomové práci použit jako stěžejní nástroj k dosažení vytyčených cílů.

1.2 LOGISTIKA

O logistice se v poslední době stále více hovoří v souvislosti s výrobou, dopravou a obchodem. Původně byl tento pojem spjat s armádou, kde znamenal řešení problémů dopravy, ubytování, zásobování vojsk, jejich pohybu na bojišti nebo odsunu raněných. Teprve později byl pojem logistika převzat do ekonomiky a technických oborů. [8]

Dnešní pojetí slova logistika je možné definovat jako proces, který zahrnuje plánování, realizaci a kontrolu:

- účinného nákladově úspěšného toku a skladování surovin;
- zásob ve výrobě;
- hotových výrobků;
- příslušných informací z místa vzniku do místa potřeby.

Mezi její činnosti patří [1]:

- služby zákazníkům;
- předvídání poptávky;
- distribuce informací;
- kontrola zásob;
- manipulace s materiálem a vráceným zbožím;
- balení;
- doprava;
- přeprava;
- skladování;
- prodej.

Logistika nepředstavuje novou problematiku, ale způsob racionálního ztvárnění celkového zásobovacího systému až po prodej zboží, a to včetně souběžných či protisměrných informačních systémů za dosahování hospodárnosti logistických výkonů. Vztahuje se na všechny materiální a komunikační pochody během a po produkci zboží, a to vně i uvnitř podniku. [7]

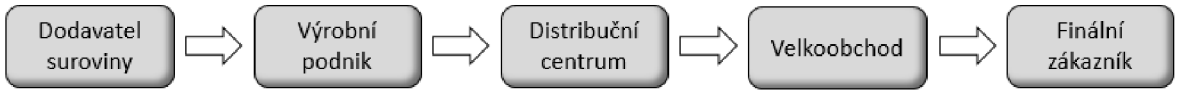
Cílem logistiky je tedy komplex dílčích cílů, které je třeba naplňovat současně. Zároveň platí, že je třeba efektivně překonávat prostor a čas při uspokojování požadavků po produktech. Je tedy nutno dosáhnout vysoké úrovně logistických služeb při přijatelných celkových nákladech všech zúčastněných článků, a to opakovaným způsobem. [4]

1.3 LOGISTICKÝ ŘETĚZEC

Pojem logistický řetězec je nejdůležitějším pojmem v logistice. Termín je používán pro dynamické propojení spotřebitelského trhu s trhem se surovinami, hotovými produkty a díly. Propojení je tedy účelově založené na poptávce koncového zákazníka. [9]

Logistický řetězec se dá také vyložit jako posloupnost činností, jejichž výkon je nezbytný pro splnění požadavků finálního zákazníka, a to v požadovaném čase, množství, kvalitě a na určené místo. [2]

Lze jej obecně chápat jako jednotu dvou složek – hmotné a nehmotné. Hmotná složka řetězce tkví v přemisťování věci schopné uspokojit danou potřebu spotřebitele, tj. hotového výrobku, anebo věcí uspokojení podmiňujících. Mezi ně lze zahrnout například obalový materiál, nedokončený výrobek, díly, základní a pomocné materiály a suroviny nutné k výrobě a k distribuci hotových výrobků. Může se ale také jednat o přemisťování osob, například servisních pracovníků. Nehmotná složka řetězce spočívá v pohybu nosičů informací, resp. signálů, tj. zpráv a údajů obsahující informace, které jsou potřebné k uskutečnění přemístění věcí či osob. Součástí nehmotné složky je také přemisťování peněz, které bývá zpravidla v bezhotovostní formě. [1]



Obr. 1 Příklad logistického řetězce [3]

Předměty, které probíhají logistickým řetězcem, se nazývají pasivní prvky. Řadí se mezi ně:

- suroviny;
- základní a pomocný materiál;
- díly;
- nedokončené a hotové výrobky;

Pohyb pasivních prvků z místa a okamžiku jejich vzniku přes různé výrobní a distribuční články do místa a okamžiku jejich výrobní nebo konečné spotřeby představuje podstatnou část hmotné složky logistického řetězce. [1]

Prostředky, jejichž působením se toky pasivních prvků v logistických řetězcích realizují, se nazývají aktivní prvky. Jejich posláním je realizovat posloupnosti netechnologických operací s pasivními prvky, zejména:

- operace balení;
- tvorby a rozebírání manipulačních a přepravních jednotek;
- nakládky a vykládky;
- přepravy;
- překládky;
- uskladňování a vyskladňování;
- rozdělování;
- konsolidace;
- kompletace;
- kontroly;
- sledování;
- identifikace.

Dále aktivní prvky zabezpečují sběr, zpracování, přenos a uchování informací. Převážná většina uvedených operací spočívá ve změně místa nebo v uchování hmotných pasivních prvků, popřípadě v jejich úpravě pro navazující manipulační a přepravní operace. V tomto případě jsou aktivní prvky technické prostředky a zařízení pro manipulaci, přepravu, skladován, balení a fixaci a další pomocné prostředky a zařízení, které fungují ve spojení s potřebnými budovami, manipulačními a skladovými plochami a dopravními komunikacemi. K aktivním prvkům se tedy řadí i technické prostředky a zařízení sloužící operacím s informacemi (s nosiči informací), jako prostředky pro automatické sledování a identifikace pasivních prvků, počítače, prostředky a sítě pro dálkový přenos zpráv, údajů a dat. [1]

1.3.1 MATERIÁLOVÝ TOK

V pojetí logistiky je tok chápán jako sled stavů pohybu a přerušení pohybu objektů při uspokojování požadavků po produktech. Je to tedy pohyb kvant objektů jedním směrem. [4]

Pod pojmem materiál jsou označovány suroviny, díly, nedokončené i hotové výrobky, obaly, odpad, ale i zboží bez ohledu na to, je-li materiál v pevném, kapalném nebo plynném skupenství. Takový materiál může být přemisťován volně ložený, v jednotlivých kusech nebo ve formě paletových jednotek. [10]

Materiálový tok pak představuje pohyb materiálu ve výrobním procesu nebo v oběhu, prováděný pomocí aktivních prvků cílevědomě tak, aby byl k dispozici na daném místě, v potřebném množství, nepoškozený, v požadovaném okamžiku a s předem danou spolehlivostí. [1]

V odborné literatuře lze najít pojmy jako logistický tok, výrobní tok, hmotný tok a jiné. V základním významu jsou všechny tyto modifikace ekvivalentní s pojmem materiálový tok. Jednotlivé verze pojmenování souvisí se zaměřením dané odborné literatury. [6]

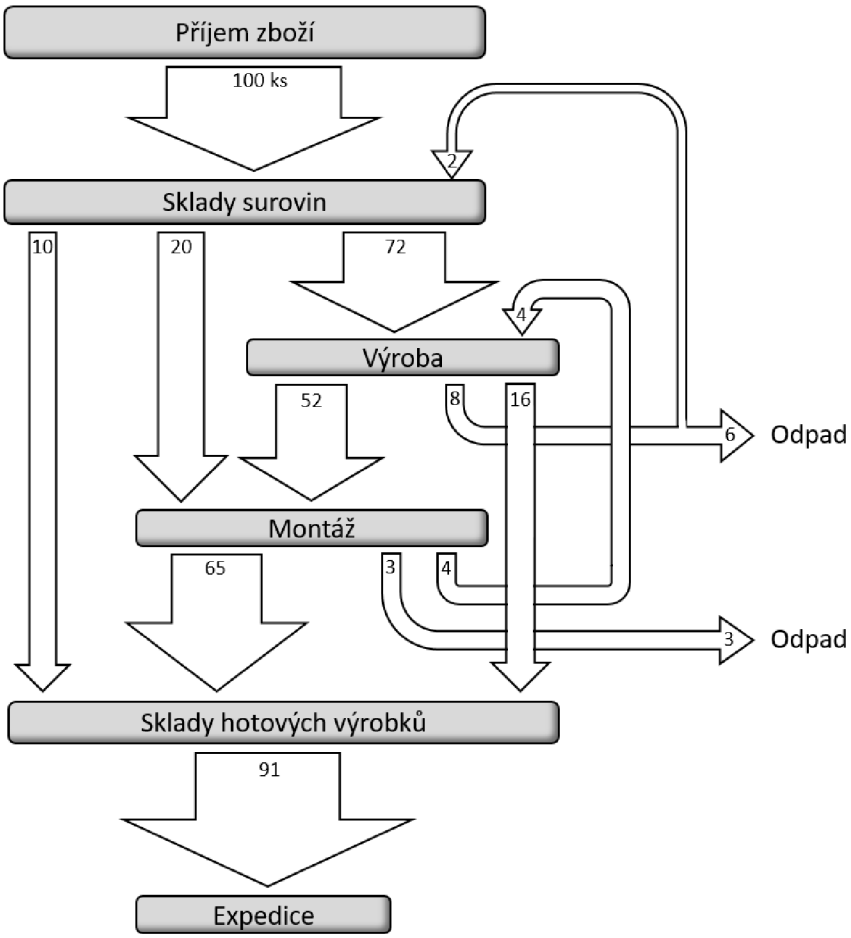
Charakter a délka materiálového toku jsou určeny prostorovým uspořádáním, tj. rozmístěním jednotlivých objektů, komunikací a uvnitř objektů rozmístěním strojů, zařízení a pracovišť. Délka toku materiálu hlavních druhů výrobků, s přihlédnutím na technologii a pracnost výroby, ukazuje na úroveň organizace výroby. Na materiálový tok má vliv řada činitelů a jejich závislostí. Při vhodném navržení těchto činitelů lze docílit minimalizace nákladů na potřebných na materiálový tok, což v konečném důsledku vede k nižším celkovým logistickým nákladům. Z toho důvodu je kladen vysoký důraz na jeho plánování a odstraňování nadbytečných dílčích operací. Při navrhování materiálového toku je složité definovat všechny působící činitele, které jej ovlivňují, avšak je důležité neopomenou zejména tyto [10]:

- **vnější doprava** – vnější komunikace;
- **objem výroby** – materiálový tok se při malém objemu výroby plánuje pro každou součást nebo výrobek individuálně;
- **počet součástí nebo druhů materiálu**;
- **počet operací na součásti nebo na materiálu** – v případě vysokého počtu operací je vyšší i dělba materiálového toku;
- **počet uzlů nebo montážních skupin** – jsou vytvářeny výrobní oblasti nebo předmontáže, díky kterým dochází k usnadnění dopravy, zkrácení linek finální montáže, oddělení některých výrobních zařízení, zkrácení času potřebného k finální montáži apod.;

- **tvar prostoru, který je k dispozici** – při realizaci nového závodu lze navrhnout a realizovat podle dokonalých zásad. V případě plánování nové výroby do stávajících objektů se musí respektovat omezení daná prostorem, přitom je snaha se co nejvíce přiblížit zásadám nedokonalejšího uspořádání;
- **mezioperační doprava** – stanovení způsobu toku materiálu mezi pracovišti.

Velikost materiálového toku je možné vyjadřovat v různých veličinách, například v kilogramech, tunách, litrech, metrech kubických, počtu kusů a dalších. Pro snadnější a přehlednější představu o směru toku materiálu a změnách jeho intenzity se vžilo grafické znázornění pomocí diagramu, nazývaného podle jeho původce Sankeyův diagram. [5]

Aplikace Sankeyova diagramu pro zobrazení materiálového toku je nastíněna na Obr. 2.



Obr. 2 Sankeyův diagram pro výrobu [5]

Mezi faktory ovlivňující plynulost a intenzitu materiálového toku se řadí [6]:

- zvyšování rozmanitosti vyráběných výrobků – výrobková diference;
- územní rozložení výrobních oblastí;
- dispoziční řešení výrobních procesů;
- úroveň technického vybavení;
- nepravidelnost rytmu mezi výrobou a spotřebou;
- úroveň řazení toků a výměny informací;

POHYB MATERIÁLU V MATERIÁLOVÉM TOKU

V základním pojetí uvažujeme o pohybu materiálu v materiálovém toku jako o dopravě materiálu z předem určeného místa do místa požadovaného. Manipulaci s materiálem v materiálovém toku tak zabezpečují manipulační prostředky (např. pásové a podvěsné dopravníky, válečkové tratě, výtahy, mostové a podvěsné jeřáby, kolejové prostředky, ruční, akumulátorové a motorové vozíky, vysokozdvižné vozíky atd.). Doprava materiálu je uskutečňována samostatně nebo prostřednictvím paletizace, kontejnerů apod. Pohyb materiálu v rámci materiálového toku má být usměrněný, nepřetržitý, rychlý, co nejkratší, přímý a s ohledem na výrobek ideálně jednokusový. [6]

FIFO

Pojem FIFO (z anglického: „First-In First-Out“) popisuje režim průtoku materiálu skladem, který zaručuje, že první uskladněná skladovací jednotka bude takové jako první vyskladněna. [16]

LIFO

Opakem FIFO je režim LIFO (z anglického: „Last-In First-Out“), během něhož je vyskladněna jako první naposledy uskladněná skladovací jednotka. [16]

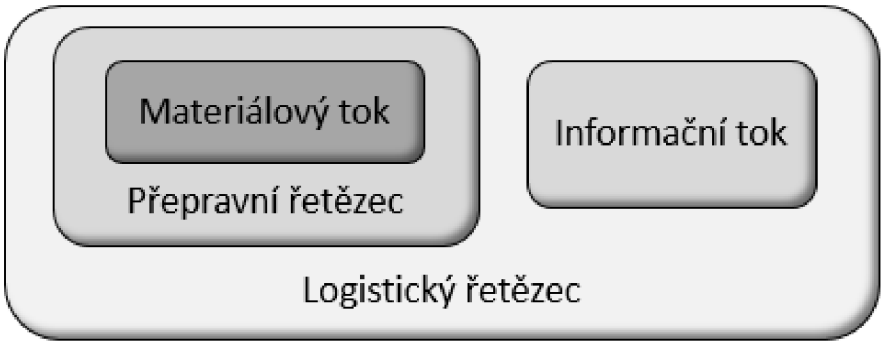
1.3.2 INFORMAČNÍ TOK

Informační tok je tokem nehmotným. Z hlediska výroby uvažujeme informační tok jako součást materiálového toku. Pohyb materiálu vede ke vzniku informací, které mohou být použity k vytvoření nebo usměrnění dalšího pohybu materiálu. Zpracování informací má vést k organizovanému, plynulému a cílevědomému řazení materiálového toku a jeho zpětné kontrole. [6]

Na rozdíl od materiálového toku je informační tok v logistickém řetězci obousměrný. To znamená, že se jeho pohyb děje nejenom stejným směrem jako pohyb materiálu, ale i ve směru opačném. Souběžný pohyb je typicky reprezentován dodacím listem. Opačný smysl pohybu mohou mít informace v případě vedené objednávky. V jednotlivých uzlech logistického řetězce, kde dochází k transformaci materiálového toku, může být pohyb informací dokonce více směrný. [5]

Informační tok může tedy materiálový tok předcházet, doprovázet nebo jej následovat. Soubor těchto součinností bývá označován jako (již výše zmíněný) logistický řetězec. [11]

Souvislost mezi prvky logistického řetězce je znázorněna na Obr. 3.



Obr. 3 Skladba logistického řetězce [11]

Spolu s vývojem informačních technologií se mění i organizace a realizace informačních toků. Zatímco dříve byly informace zaznamenávány na hmotných médiích a přenášeny fyzicky prostřednictvím například pošty, v současné době je možný jejich elektronický přenos, nejenom po vedeních kabelových, ale i bezdrátově. [5]

1.4 LOGISTICKÉ TECHNOLOGIE

JUST IN TIME (JIT)

Podstata této logistické technologie spočívá v odstraňování časových ztrát, jejichž odhalování postupuje od výrobního procesu směrem k vnější dopravě, v uspokojování potřeby po určitém materiálu ve výrobě nebo po určitém hotovém výrobku v distribučním článku jeho dodáváním „právě v čas“. Tím se rozumí v přesně dohodnutých a dodržovaných termínech podle potřeby odebírajícího článku. Dodávají se malá množství, v co možná nejpozdějším okamžiku, dodávky jsou velmi časté. [16]

Koncepce JIT tak spočívá na časově přesné výrobě nebo přepravě zboží, orientované na potřeby trhu. To odběratelům umožňuje oprostit se od udržování zásob a zajistit si přímé dodávky do výroby nebo prodejních poboček. Přeprava zboží se vyznačuje pravidelností, vysokým stupněm dodavatelské frekvence a malými velikostmi zásilek zboží, jejichž konkrétní rozsah se specifikuje v dílčích konkrétních dodavatelsko-odběratelských smlouvách mezi zasilatelem a zákazníkem. Nutnou podmínkou pro zavedení JIT systému je bezporuchový, plynulý průběh veškerých distribučních procesů, poněvadž odchylky vyvolané zpožděním nelze již více kompenzovat. A aby bylo možné udržovat vysokou frekvenci dodávek, musí být všechny pracovní postupy maximálně standardizovány a vzájemně sladěny. [17]

V posledních letech naráží technologie JIT na sílící bariéry v dopravě. Její využití totiž vede k rostoucímu rozsahu přepravy malých zásilek pomocí vyššího počtu nákladních a užitkových automobilů. To má přímý vliv na kongesce na silničních a dálničních komunikacích s negativními důsledky na spolehlivost a rychlost přepravy materiálu, na náklady v dopravě a na životní prostředí. V mezinárodních logistických řetězcích je pro JIT technologii těžko překonatelnou překážkou časová náročnost spedičního a celního odbavení na hranicích Evropské unie a na hranicích mezi nečlenskými zeměmi, která je navíc proměnlivá a nepředvídatelná. Ve východoevropských poměrech je navíc tato technologie téměř neuplatitelná vzhledem k nedostatečně rozvinuté dopravní infrastruktuře a nespolehlivosti většiny tamních dopravců. [16]

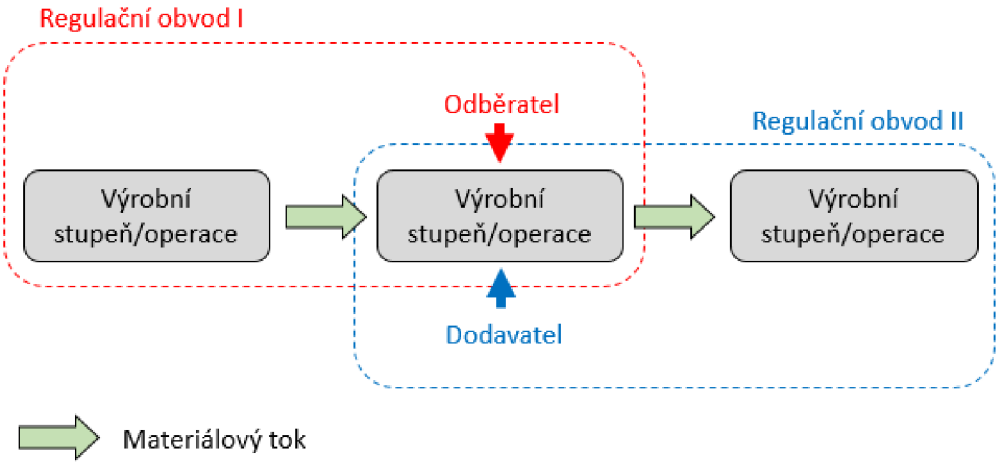
JUST IN SEQUENCE (JIS)

Jedná se o zdokonalení JIT, kdy výrobní proces vyžaduje dodávky daného materiálu např. v různých barvách, dle požadavků zákazníka, jemuž je podřízeno pořadí zadávání zakázek na montážní linku. Jednotlivé dodávané díly jsou pak již řazeny podle požadovaných rozdílů. Odběratel předává tedy dodavateli nejen požadavky na množství, ale plán doplněný pořadím jednotlivých typů. [18]

KANBAN

Kanban je komplexní logistická technologie řízení materiálového toku nevykazující zásobu. Byla vyvinuta a poprvé uplatněna společností Toyota Motors, dnes je rozšířená po celém světě, především ve výrobě. Je vhodná jak pro vnitřní logistické řetězce ve výrobních závodech, tak i pro smluvně stabilizované vnější řetězce. Typické je její uplatnění mezi dodavateli dílů a finálním montážním závodem v automobilovém průmyslu i jinde ve strojírenské výrobě. [16]

Podstata metody spočívá v rozdělení výroby na sebe navazující regulační obvody, v nichž vystupují jednotlivé výrobní stupně/operace, jako dodavatel navazujícího stupně a zároveň jako odběratel stupně předcházejícího proti směru materiálového toku. Tato skutečnost je znázorněna na Obr. 4. [2]



Obr. 4 Regulační obvody výrobního procesu [2]

Proces plánování začíná příjmem objednávky zákazníka nebo skupiny zákazníků na posledním stupni. Ten formou normalizovaného plánovacího dokumentu (tzv. kanbanové karty) objedná potřebné množství výrobků u bezprostředně předcházejícího pracoviště. Stejně tak objednávají předcházející výrobní stupně od svých „dodavatelů“ v rámci regulačního obvodu potřebné díly, komponenty nebo polotovary. Rozpis požadavku pokračuje stejným způsobem až po první operaci. Po uvedeném rozpisu každé pracoviště plní objednávky ve stanovených termínech a předává je svým „odběratelům“ spolu s kanbanovou kartou, která tak plní funkci dodacího listu. [2]

Dávky materiálu proudí mezi dodavatelem a odběratelem ve standartní velikosti fyzicky odpovídající přepravce, paletě, malému kontejneru či podobnému přepravnímu prostředku. Objednacím množstvím je tedy obsah jednoho přepravního prostředku (vždy stoprocentně naplněného konstantním počtem kusů materiálu) nebo jeho násobek. Dodavatel typicky ručí za kvalitu a za včasnou dodávku, kdežto odběratel má povinnost objednanou dávku odebrat. Činnosti dodavatele a odběratele jsou synchronní a jejich kapacity jsou vyvážené. Spotřeba materiálu by měla být rovnoměrná, bez velkých výkyvů a sortimentních změn. Technologie kanban tedy synchronizuje činnosti dodavatele a odběratele za předpokladu stability řetězce. Informační a materiálové toky mezi články probíhají v těchto krocích: [16]

- Odběratel odešle dodavateli prázdný přepravní prostředek opatřený výrobní průvodkou – štítek (japonsky „kanban“) plnící funkcí standardní objednávky;
- Příjem prázdného přepravního prostředku dodavatelem je impulzem k zahájení výroby dané dávky;
- Vyrobenou dávkou je naplněn přepravní prostředek opatřen přepravní průvodkou, která má opět formu štítku, a je odeslán odběrateli;
- Odběratel převezme došlou dávku a zkontroluje počet a druh dodaných kusů.

Dodavatel i odběratel tak nevytvářejí žádné zásoby. Oba druhy průvodek vydává v minimálním, přesně propočteném množství útvar operativního řízení v souladu s celkovým plánem finální montáže. Průvodky jsou zároveň dispečerským dokladem o průběhu výroby. Jejich obsahem jsou tyto údaje:

- Název a číselný (čárový apod.) kód druhu materiálu, příp. dílu;
- Popis materiálu, příp. dílu (rozměry, hmotnost);
- Identifikační číslo průvodky;
- Název (kód) dodavatele a odběratele.

Průvodky i přepravní prostředky bývají odlišeny barvou. Přehlednost systému je tak dobrá, že systém může být snadno řízen bez použití výpočetní techniky. Technologie kanban zaručuje plynulost provozu, vysokou produktivitu a efektivnost výroby. Podmínkami jejího zavedení jsou hluboké změny v řízení a vysoká profesionalita zaměstnanců. [16]

Řízení kanban nemusí nutně využívat doklady, může používat například optické nebo akustické signály. Je možno se vzdát tisku karet kanban, jestliže zakázka bude zprostředkována elektronickou cestou do fronty na obrazovce u dodavatele. Na terminálu spotřebitele jsou za tím účelem uváděny i odběry ze zásob a při snížení pod minimum je vystavena další zakázka kanban pro vyplnění mezery. [17]

1.5 LOGISTICKÝ SYSTÉM

Logistický systém je používán pro systémový popis objektů se zaměřením na zkoumání existujících a projektování či realizaci zamýšlených logistických činností spojných s oběhovými procesy – tedy všech činností spojených s materiálovým a informačním tokem. Jedná se především o činnosti spojené s přeměnou informací o potřebách zákazníka do podoby logistického cíle. Patří sem také činnosti související s transformací hmotného či nehmotného produktu, jenž uspokojuje vzniklé potřeby zákazníka v souladu s tímto cílem. Představuje tedy konfiguraci sociálních a technických prvků, jejichž vzájemnou součinností dochází k transformaci vstupů na výstupy, ať již jsou povahy materiální nebo nemateriální. Logistický

systém se sestává z množiny prvků a vazeb mezi nimi. V závislosti na dekompozici systému mohou prvky představovat jak samostatné systémy, tak subsystémy. [14]

Logistický systém je množina organizací a vazeb mezi nimi, jehož prvky se podílejí na plánování výkonu posloupnosti činností v logistickém řetězci definovaných. [2]

Každý logistický systém má konkrétní hlavní funkci, která je odvozena od jeho charakteristiky jako celku, nikoliv jeho jednotlivých prvků, respektive podsystémů. Jednotlivé logistické systémy, jakož i podsystémy, mají relativně samostatnou strukturu s vlastními charakteristickými základními procesy. Jde o soubor logistický řetězců. Jednotlivé články logistického řetězce pak mohou dále mít postavení systémů nebo subsystémů. Jen v případě, že je tato struktura účelná, umožňuje úspěšně a efektivně plnit hlavní funkci systému. [14]

1.6 OPTIMALIZACE

Snaha o optimalizaci materiálového toku vzniká ve všech fázích výrobního cyklu. Hlavní těžiště úkolu optimalizace však spočívá ve fázi plánování nové výroby, kde je jedním ze základních požadavků navrhnout co možná nejvýhodnější (optimální) materiálový tok. V praxi je na optimalizaci nahlíženo jako na výběr z technicky realizovatelných řešení, kdy je při výběru posuzován a brán ohled i na finanční náklady uskutečnění jednotlivých variant. Ty přitom vycházejí z již ustálených, případně v současnosti používaných manipulačních zařízení na stejné konstrukční bázi. V konečném důsledku to znamená, že vybraná varianta nemusí být optimální, ale v rámci nadefinovaných omezení se k variantě optimální přibližuje, tj. je tedy tou nejlepší možnou z uvažovaných variant.

Při řešení problematiky optimalizace je nutné brát v úvahu tyto faktory: [10]

- Charakteristika výroby – manipulovaný materiál;
- Využívanou technologii a technický postup;
- Čas a termíny realizace;
- Služby;
- Náklady;
- Požadavky na flexibilitu.

Optimalizace všech logistických oblastí vyžaduje definování každého vnitropodnikového a externího místa styku materiálového a informačního toku z jedné funkční oblasti do druhé. Optimalizace materiálového toku umožní kratší časový průběh pro zabezpečení výroby a rozdělování. Následné zrychlení doby toku materiálu s sebou nese kratší vázanost kapitálu a tím nižší kapitálové náklady. Ve výrobním procesu nejde například pouze o samotné vytížení kapacit, ale primárně o minimalizaci časového průběhu s trendem k flexibilní produkci. [7]

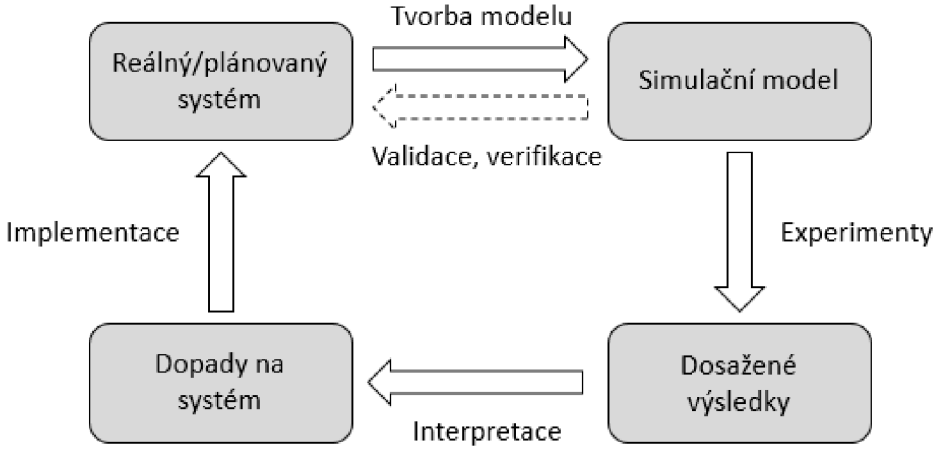
Optimalizace vlastních zásob podniku může přinést tížený významný ekonomický efekt, avšak je nutné si uvědomit, že optimalizace zásob neznamená minimalizaci či absolutní redukci jejich velikosti. V případě nedostatku zásob totiž vznikají významné ztráty, které mohou ohrozit existenci podniku. [15]

1.7 SIMULACE

V logistice mají pro uplatnění mimořádný význam simulační metody. Lze v nich pomocí virtuálního počítačového prostředí zobrazit reálné či projektované logistické systémy spolu s výrobním procesem. Jsou schopné zachytit všechny důležité rysy jednotlivých vyskytujících

se aktivních i pasivních prvků logistického řetězce. Díky možnosti rychlého bezrizikového testování s následnou optimalizací jednotlivých prvků logistického řetězce v závislosti na požadované výrobní a logistické strategii při zachycení celkové dynamiky systému přispívá simulace k flexibilnímu a finančně co nejpříznivějšímu řešení daného úkolu. V současné době představuje simulace jedinou možnou systémově orientovanou metodu, která vyhovuje nárokům komplexního posuzování jednotlivých prvků s cílem navrhnout a zajistit optimálně celý logistický řetězec. [10]

Vlastí princip simulace tedy vychází z poznání reálného, případně plánovaného systému a vytvoření simulačního modelu, který má v základních rysech dle zvolené míry detailnosti shodné vlastnosti jako řešený systém. Před vlastní realizací experimentů je prováděna verifikace a validace vytvořeného simulačního modelu. Pokud počítačový model odpovídá v reálných aspektech vlastnostem studovaného systému. Je možné provádět libovolné experimenty a simulovat tak chování systému za různých vstupních podmínek. Dané experimenty probíhají virtuálně pomoc výpočetní techniky, nezatěžují tak reálný systém a počet testovaných variant je omezen prakticky pouze výkonem výpočetní techniky. Dosažené výsledky jednotlivých testovaných variant simulace je následně potřebné kvalitně interpretovat. Takto popsaný princip simulace je znázorněn na Obr. 5. [10]

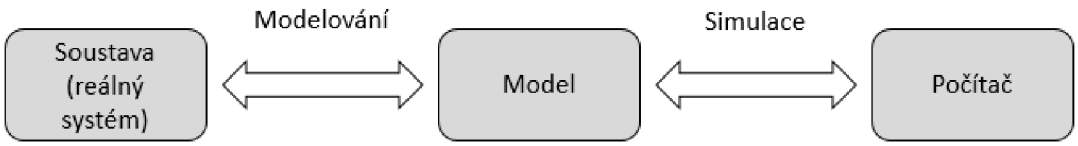


Obr. 5 Princip simulace [10]

Simulace jsou metody představující hypotetický vývoj zkoumaných jevů při zvolených podmínkách. Simulace se uplatňuje zejména tam, kde je skutečné vyzkoušení systému náročné a přináší značné ztráty. Jsou využívány údaje z minulosti, získané za delší časové období, nebo je postupováno podle principu náhodnosti. Při použití jednotlivých metod simulace musí být vždy stanovy výchozí podmínky na základě lhůtového rozvrhování výroby. [19]

1.7.1 SIMULAČNÍ MODELOVÁNÍ

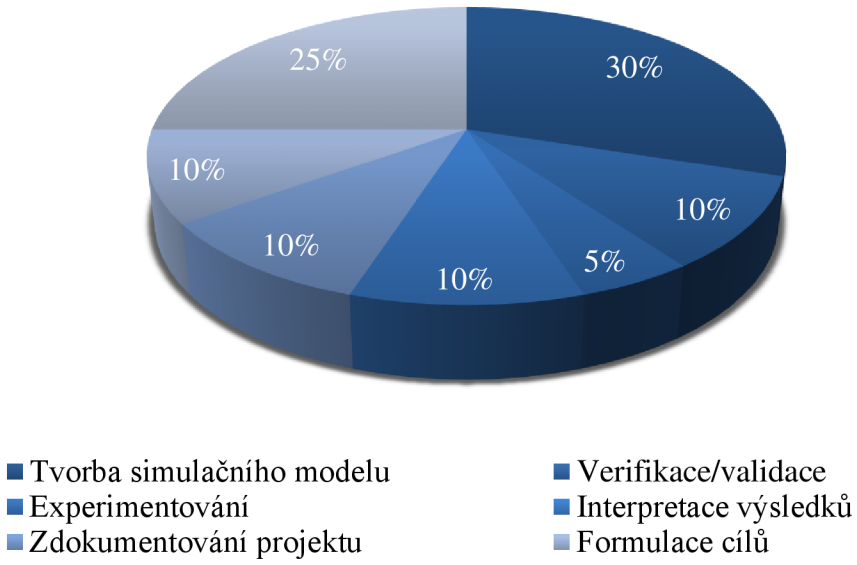
Simulační modelování vzniká vhodnou abstrakcí zkoumané soustavy, která má podobu systému. V rámci simulačního modelování je pojem systém zaměněn za pojem model. Simulační modelování lze pochopit jako vzájemné propojení tří základních prvků (viz Obr. 6) [6]



Obr. 6 Simulační modelování [6]

1.7.2 METODIKA SIMULAČNÍ MODELOVÁNÍ

Na simulační modelování je nutné nahlížet jako na komplexní projekt, jehož jednotlivé aspekty jsou zobrazeny na Obr. 7. Nejedná se pouze o tvorbu modelu a experimentování s ním. Na samotném jeho začátku je potřebné vymezit problém a rozhodnout, zdali je k řešenému problému nutná simulace. Následně se stanoví cíl a kroky k němu vedoucí. Definují se systémové hranice a detailnost modelování. Na základě toho je možné stanovit délku a odhadnout finanční náklady na projekt. Poté je přistoupeno ke sběru dat a vstupních údajů. Jejich zpracování formou systémové analýza je nápomocné při koncepčním návrhu simulačního modelu. [6]



Obr. 7 Podíl vybraných činností z metodiky simulačního modelování na celkovém projektu [6]

SYSTÉM

V simulacích je systém chápán jako uspořádaná množina prvků, mezi které patří objekty, předměty a komponenty. Tyto prvky jsou určitý způsobem organizovány. Způsob členění systému na jednotlivé prvky není nijak omezen, údaje popisující jeho organizaci se nazývají charakteristika systému. V dynamickém systému, kde prvky a charakteristika určitého systému závisí na čase, se může počet prvků během existence systému měnit. Mezi prvky lze považovat takové, které do systému vstupují a opouštějí jej. Nazývají se elementy a řadíme mezi ně například díly, polotovary nebo zakázky. [10]

SIMULAČNÍ MODEL

Jestliže existuje v systému jiný systém, jehož prvky se chovají podobně, jedná se o model. Simulační model je pak dynamický model, v němž dochází k výskytu jevů ve stejném pořadí jako v modelovaném systému. Model se v tomto kontextu považuje za jistý vztah mezi dvěma dynamickými systémy, ve kterém se vyskytuje modelovaný (simulovaný) systém a modelující (simulující) systém. [10]

TYPY SIMULAČNÍCH MODELŮ

Simulační modely lze klasifikovat z několika hledisek. Jedním z nejdůležitějších hledisek je rozlišení podle způsobu zachycení časového faktoru v modelu. Dělení je poté na modely:

- Se spojitým časem – časová proměnná může nabývat všech hodnot z daného intervalu;
- S diskrétním časem – časová proměnná může nabývat pouze hodnot, které jsou prvky předem vymezené spočetné množiny

Dále je možné dělit simulační modely na:

- Deterministické;
- Stochastické (pravděpodobnostní);

Rozdíl mezi deterministickými a stochastickými modely se projevuje až ve fázi zpracování, vyhodnocování a interpretace výsledků. Získané výsledky na základě stochastických modelů je totiž třeba považovat za hodnoty náhodných veličin. [10]

NÁBĚH

Při realizování jednotlivých simulačních pokusů je používán termín doba náběhu do ustáleného stavu, která ohraničuje počáteční fázi simulačního pokusu od zbývající doby do ukončení simulačního pokusu. [10]

VERIFIKACE

Verifikace modelu znamená tedy jeho ověření, zda počítačový model reprezentuje pojmový model se stanovenou mírou přesnosti. [10]

Verifikací se v pojetí procesu simulace rozumí kontrola a ověření funkčnosti modelu. Model je považován za správný, jestliže průběh simulace odpovídá představám formulovým během procesu tvorby koncepce modelu. Doporučuje se, aby verifikace probíhala již během tvorby modelu, a to na jeho ucelených částech, kdy za uplatnění softwarových mechanismů umožňující kontrolu a odstraňování chyb může dojít k jejich nalezení a nápravě. Výsledná verifikace již

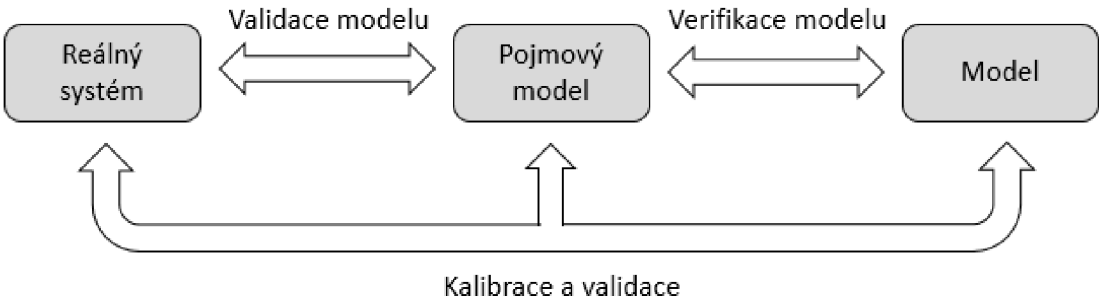
hotového modelu pak může být mnohem snadnější. Proces verifikace je velmi důležitý. Nesprávně vytvořený, byť velmi precizní a detailní model, je bez poskytování správných výsledků k ničemu. [20]

VALIDACE

Validací modelu se rozumí ověření, že počítačový model v oblasti aplikovatelnosti prokazuje uspokojivou míru shody s realitou v souladu se zamýšleným cílem modelu. [10]

Cílem procesu validace je vytvořit model, který dostatečně reprezentuje reálné chování systému tak, aby mohl být použit jako náhrada za skutečný systém za účelem dalšího experimentování se systémem, za účelem analýzy chování systému a předvídání systémové výkonnosti. [21]

Validace by neměla být vnímána jako izolovaná sada procedur, která následuje po vývoji modelu, ale spíše jako integrovaná součást jeho vývoje. Validace je obvykle dosažena kalibrací modelu, opakovaným porovnáváním modelu se skutečným chováním systému a využitím neshod mezi modelem a systémem k jeho vlastnímu vylepšení. Tento proces je opakován, dokud není přesnost modelu posouzena jako přijatelná. [21]



Obr. 8 Vytvoření modelu, jeho validace a verifikace [21]

1.8 PLANT SIMULATION

Plant Simulation je softwarový nástroj pro modelování, simulaci a optimalizaci logistických systémů. Pomáhá vytvářet digitální modely různých logistických systémů, např. výroby, montáže, dodávek, dopravy apod. Simulace poskytuje relevantní informace opírající se o realitu, byť virtuální, které lze použít pro manažerské rozhodování i pro denní plánování. Plant Simulation se uplatní ve všech úrovních plánování ve společnosti, od globálních zařízení, přes lokální dílny až k výrobním linkám. [22]

Software Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software poskytuje celou řadu snadno použitelných nástrojů pro analýzu simulačních modelů, simulačních experimentů a optimalizaci parametrů systému. Software přistupuje k optimalizaci unikátním způsobem, kdy je možné optimalizovat několik parametrů systému najednou. Software umožňuje vizualizaci kompletního modelu v prostředí 3D, ve kterém je vykresleno chování řešeného systému. Program Plant Simulation podporuje nahrání grafických vstupů, které byly vytvořeny jinými softwarovými nástroji pro vytvoření trojrozměrných modelů stanic, materiálu apod. Je tak umožněno rozšířit již obsáhlou vlastní knihovnu prvků. [12]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Jednotlivé kapitoly praktické části diplomové práce jsou vytvořeny především s ohledem na dosažení vytyčených cílů. Mezi dílčí cíle se řadí provedení systémové analýzy řešené výrobní oblasti průmyslového závodu, pomocí které je formou blokového schématu vytvořen pojmový model, který popisuje logiku řízení materiálového toku v logistickém řetězci. Dalším krokem je vytvoření simulačního modelu v prostředí softwaru Plant Simulation a návrh logiky řízení, která je do modelu následně aplikována. Posledním cílem diplomové práce je vyhodnocení navržené alternativy řízení a zejména jejího vlivu na hodnoty signifikantních charakteristik materiálového toku vůči výchozímu řešení. Na závěr je nutné uvést zhodnocení navržených změn a vyvození zjištěných závěrů.

V první kapitole praktické části diplomové práce je uvedena charakteristika výrobní oblasti průmyslového závodu. Je uveden popis v této oblasti působícího logistického řetězce, který je stěžejní pro řešení této diplomové práce. Obsahem charakteristiky je nastínění základních funkčních principů, které je za účelem řádného chodu logistického systému nutné dodržovat. Dále jsou uvedeny technické parametry systému, které mají vliv na materiálový tok logistického řetězce. Technické parametry jsou spolu se systémovými hranicemi klíčové při následné tvorbě simulační modelu.

Navazující etapa diplomové práce se zabývá systémovou analýzou řešené výrobní oblasti. Její provedení je stěžejním krokem k získání obecného přehledu o komunikaci materiálového a informačního toku v systému a o dílčích procesech probíhajících napříč celým systémem. V rámci této kapitoly je představena dispozice logistického řetězce, který je v rámci diplomové práce členěn na jednotlivé sekce. K segmentaci je přistoupeno za účelem popisu principu funkce dílčích sekcí, a to zejména z hlediska jejich umístění. Mimo vlastní charakteristiky těchto úseků systému jsou také popsána dopravníková propojení, která jsou nedílnou součástí plně fungujícího logistického řetězce. Na základě provedení této analýzy a nabytí informací o funkci logistického řetězce je formou blokového schématu vytvořen pojmový model, který popisuje původní aplikovanou logiku řízení materiálového toku v řešeném logistickém systému.

Obsahem další části diplomové práce je vyhotovení simulačního modelu, pro jehož tvorbu je využit software Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software ve verzi 15. Požadavkem, který je kladen na simulační model, je jeho maximálního přiblížení k řešené výrobní oblasti průmyslového závodu. Pro tvorbu modelu je zvoleno 3D prostředí, pomocí kterého lze lépe znázornit jak lokace jednotlivých objektů logistického řetězce, působící materiálový tok, tak i princip funkce každého úseků logistického systému. Za účelem vyhotovení modelu je využit projektovaný návrh dispozice výrobní oblasti. Do zhotoveného simulačního modelu je se záměrem o provedení jeho verifikace a validace implementována navržená logika řízení. Ta je vytvořena s ohledem na plnění základních funkcí logistického systému a zároveň s ohledem na dosažení vyšších hodnot signifikantních charakteristik materiálového toku. Navržená logika řízení je vytvořena spolu s pojmovým modelem. Ten přebírá podobu blokového schématu a při tvorbě logiky řízení je využit jako pomocný nástroj, který je sestaven z rozhodovacích bodů a příkazů vztažených k materiálovému toku. Verifikací a validací vyhotoveného simulačního modelu je ověřena jeho správná funkce. Logika řízení simulačního modelu je porovnána se zamýšlenou logikou znázorněnou v blokovém schématu. V rámci validace je ověřena průchodnost materiálu logistickým řetězcem dvěma způsoby. Porovnány jsou tak výsledné hodnoty statického výpočtu a simulačního experimentu. Pro účely validace je simulační model upraven s danou mírou přesnosti.

Se záměrem o ověření vlivu navržené logiky řízení na průchodnost materiálu logistickým řetězcem jsou zavedeny simulační experimenty. Testovány jsou různé varianty parametrizací simulačních modelů, a to jak s aplikací původní logiky řízení, tak za působení logiky navržené. Obě tyto alternativy řízení materiálového toku v simulačních modelech jsou vyhodnocovány s ohledem na výsledné hodnoty signifikantních charakteristik materiálového toku ve výrobní oblasti. Dochází tak k vlastnímu porovnání získaných hodnot a vyvození patřičných závěrů týkajících se vhodnosti aplikace navržené logiky řízení.

2.1 CHARAKTERISTIKA SYSTÉMU

2.1.1 FUNKCE SYSTÉMU

Funkcí výrobní oblasti průmyslového závodu, která je předmětem řešení této diplomové práce, je zajistit distribuci materiálu do navazujícího meziskladu montážní linky. Prvky logistického řetězce se tak přímo nepodílejí na výrobě či mechanickém opracování materiálu, ale jejich podstatou je zajistit materiálovou přepravu, která je vymezena systémovými hranicemi. Přeprava materiálu má počátek na vstupních pozicích systému, pomocí kterých je materiál dopraven na logistický řetězec. Systém je vybaven také výstupními pozicemi, ve kterých je přeprava ukončena a pomocí nichž je materiál přijímán navazující oblastí průmyslového závodu. Všechny vstupní a výstupní pozice logistického systému jsou zaznamenány v Příloze 1. Vlastní přeprava materiálu je uskutečňována prostřednictvím komplexního dopravníkového řetězce, který je členěn do jednotlivých úseků. Ty jsou v hale rozmístěny právě takovým způsobem, aby zabezpečovaly kýženou manipulaci objektů. Akumulátory nejsou přemisťovány přímo na dopravnících logistického řetězce, ale pohybují se systémem na přepravních prostředcích.

Jako další princip funkce logistického řetězce je tedy nutné zahrnout přeložení akumulátorů na odpovídající prázdné palety. Logistický řetězec musí s ohledem na kompletaci zajistit součinnost přeprav jak automobilových akumulátorů, tak i prázdných přepravních prostředků. Přeložení materiálu probíhá prostřednictvím robotizovaných stanic překládky, jejichž pracovní činnost je podmíněna současnou existencí akumulátoru a příslušné prázdné palety.

Přepravní prostředky jsou do systému přijímány ve formě stohů z externího skladu palet, a to na základě celkové obsazenosti systému. Jednotlivé stohy palet musejí být zpracovány takovým způsobem, aby bylo v rámci logistického řetězce možné přistoupit k jejich následné manipulaci do místa potřeby.

2.1.2 TECHNICKÉ PARAMETRY SYSTÉMU

Přijetí automobilových akumulátorů z výrobní linky je řízeno přesně daným a v sekvencích se opakujícím výrobním programem uvedeným v Tab. 1. Jeho obsahem jsou automobilové akumulátory dvojího druhu, které se v rámci systému evidují pod označením „Akum_A“, resp. „Akum_B“. Jakmile dojde k přijetí všech kusů z jedné dávky, začne systém přijímat následující sekvenci v pořadí. Po průběhu všech šestnácti sekvencí se celý cyklus výrobního programu opakuje. Jednotlivé druhy akumulátorů jsou v tabulce výrobního programu zadány takovým způsobem, že po absolvování jednoho celého cyklu je do systému dodáno přesně jedno sto kusů materiálu daného druhu.

Tab. 1 Výrobní program [zdroj: vlastní]

Číslo sekvence [-]	Označení akumulátoru [-]	Velikost dávky [ks]
1.	Akum_A	15
2.	Akum_B	33
3.	Akum_A	9
4.	Akum_B	20
5.	Akum_A	14
6.	Akum_B	2
7.	Akum_A	10
8.	Akum_B	11
9.	Akum_A	14
10.	Akum_B	22
11.	Akum_A	8
12.	Akum_B	5
13.	Akum_A	19
14.	Akum_B	5
15.	Akum_A	11
16.	Akum_B	2

Automobilové akumulátory se od sebe mohou lišit v několika technických aspektech. Mezi hlavní diference akumulátorů by tak například bylo možné zahrnout jejich vlastní elektrické kapacity, počty modulů, typy konektorů či jejich vlastní hmotnosti. Pro účely vypracování diplomové práce jsou podstatné pouze rozměrové charakteristiky akumulátorů, od kterých se odvíjí volba odpovídajících přepravních prostředků. Parametry automobilových akumulátorů jsou zaznamenány v Tab. 2. Výška zástavbového prostoru v automobilech je pro oba druhy akumulátorů totožná. Prostorově rozměrnější se však v rámci ostatních parametrů jeví právě druhý zmíněný akumulátor, který tak pro manipulaci na logistickém řetězci vyžaduje větší ze dvou typů palet.

Tab. 2 Parametry automobilových akumulátorů [zdroj: vlastní]

Označení akumulátoru [-]	Šířka [m]	Délka [m]	Výška [m]
Akum_A	1,26	1,8	0,2
Akum_B	1,4	2,05	0,2

Dvojice výstupů výrobních linek je opatřena stanicemi s rozdílnými pracovními takty. Dodávat akumulátory do systému lze tedy každých 66, resp. 98 sekund. Na stanice jsou připojeny mezisklady o kapacitě 150 kusů. Jejich využití je vhodné pro vyrovnání materiálového toku v rámci logistického řetězce, a to zejména v případě, kdy nastane výpadek dodávky akumulátoru ze strany výrobní linky. Systém i tak stále operuje s dostatečnou zásobou materiálu, díky čemuž nenastávají ve výrobě prostoje a materiálový tok tak udržuje svoji celistvost a plynulost. Na konci obou těchto zásobníků figurují výstupní pracoviště, která vykazují takt o délce trvání 66 sekund. Po uplynutí tohoto časového intervalu je akumulátor expedován do vstupních pozic logistického řetězce.

Po přijetí akumulátoru do systému je realizováno jeho následné přeložení robotizovanou stanicí překládky. Tato aktivita vyžaduje časový interval, jehož hodnota je rovna 6,0855 sekundám. Nutnou podmínku plnění pracovní činnosti robotizovaného pracoviště je existence

odpovídajícího typu palety v jeho pracovním dosahu. Pokud, z důvodu neexistující prázdné palety, na níž je nutné akumulátor přeložit, nedojde k překládce materiálu, nastává kumulace automobilových akumulátorů u robotizovaného pracoviště. V okamžiku zaplnění všech čtyř dopravníkových pozic materiálem dochází u daného výstupního pracoviště meziskladu výrobní linky k neschopnosti dodávat další kusy automobilových akumulátorů do systému. Po přeložení právě jednoho kusu materiálu robotizovanou stanicí překládky je řada nahromaděných akumulátorů přesunuta k uvolněné dopravníkové pozici (jež se nachází u robotizovaného pracoviště), a výstupnímu pracovišti je tak opětovně umožněno dodávat akumulátory do systému.

Prázdné palety jsou, stejně jako akumulátory, přijímány ve dvou typech. Z toho důvodu jsou v rámci výrobní oblasti průmyslového závodu rozlišovány palety standardní a palety prodloužené. Z označení je patrné, že jejich hlavním rozdílem jsou rozměrové parametry. Jak již bylo naznačeno, prodloužené palety jsou určeny pro přepravu rozměrnějších akumulátorů s označením „Akum_B“ a palety standardní slouží pro přepravu materiálu s názvem „Akum_A“.

Externí sklad palet vysílá přepravní prostředky ve formě stohů. Počet kusů stohovaných palet se odvíjí od aktuální schopnosti externího skladu kompletovat stoh do jeho maximální kapacity. Vzhledem k tomu, že externí sklad palet nemusí mít v daný moment k dispozici potřebné množství přepravních prostředků, jsou počty palet v jednotlivých stozích předem definovány. Na základě toho si externí sklad plánuje kompletace palet tak, aby měl vždy k vyslání připravený alespoň jeden stoh. Do systému jsou dopravovány stohy o čtyřech nebo sedmi kusech. Následně jsou pomocí dvou paralelních mechanismů, které mají opačný princip funkce ve srovnání se stohovacím zařízením, rozděleny. V závislosti na počtu zbylých palet v aktuálně zpracovávaném stohu obsahují jejich nově vzniklé menší formy dva nebo jeden kus přepravního prostředku. Takto zpracované prázdné palety setrvají po dobu 78 sekund na dopravníkové pozici před stanicí přeložení. Jejich následná překládka je realizována prostřednictvím robotizované stanice překládky, která pro svou činnost vyžaduje časový interval trvající 5,1669 sekundy.

Dopravníkový řetězec uvažované výrobní oblasti průmyslového závodu vykazuje délku 228,05 metrů. Převážná část je tvořena válečkovými dopravníky. Pásové dopravníky tvoří pouze 12,2 metrů z celkové vzdálenosti tratě. V systému se vyskytují prvky logistického řetězce, které jsou vůči sobě natočeny od 90°. Pro překonání těchto oblastí jsou využity speciálně upravené válečkových dopravníků. Za podmínky úplného najetí manipulovaného objektu lze měnit vlastní úhlové natočení dopravníků pomocí rotace kolem vertikální osy procházející jejich středem. Podílejí se tak na zabezpečení plynulé dopravy v rámci celého logistického řetězce. Souhrnný materiálový tok prázdných palet je nastíněn v Příloze 2. Přepravované objekty, ať už se jedná o palety, akumulátory nebo jejich kombinaci, se pomocí válečkové tratě pohybují rychlostí 0,4 m/s. Na pásových dopravnících je manipulováno pouze se stohy prázdných palet a jejich rychlost dosahuje hodnoty 1 m/s. Prázdné palety jsou dopravovány do úseků logistického systému, které jsou vybaveny robotizovanou stanicí překládky. Podmínkou je dopravovat takové množství palet, aby byl zajištěn jejich dostatečný počet pro řádnou činnost robotizovaného pracoviště. Již zkompletované palety přepravující automobilové akumulátory poté pokračují po válečkových dopravnících, které tvoří výstupní větev logistického řetězce. Tyto palety tak opouštějí logistický systém, tj. jsou přijímány navazujícím meziskladem montážní linky. Materiálový tok zkompletovaných palet výstupní větví logistického řetězce je naznačen v Příloze 3.

Všechny čtyři výše zmíněné robotizované stanice překládky vykazují poruchovost. Její hodnota je zadaná procentuálním údajem využitelnosti a dosahuje 99,8 %. Časový interval nutný na realizaci jejich opravy je 6 minut a 30 sekund. Obdobně je tomu u meziskladů výrobní linky. Hodnoty využitelností u výstupních pracovišť dosahují hodnot 99 %. Čas nutný k jejich korekci je stanoven na 2 minuty a 45 sekund. Hodnoty využitelnosti pro robotizovaná pracoviště dosahují vysokých hodnot z toho důvodu, že jejich pracovní činnost vykazuje jednoduchý charakter. Jednotlivé objekty jsou v rámci jednoho úkonu přeložení vždy uchopeny ze stejného místa logistického řetězce a pokaždé do neměnného místa také ukládány. Robotizované stanice, i vzhledem k jejich intuitivním provozním schopnostem, tak zřídka kdy vykazují vlastní poruchovost. Pakliže přece jen nastane výskyt poruchy, potřebný časový interval k jejich odstranění přesahuje 6 minut. Využitelnost u výstupních pracovišť meziskladů výrobní linky je nižší z toho důvodu, že jejich hodnoty zastupují poruchovost pro celý proces dodávky akumulátoru z výrobní linky, přes výstupní stanici, připojený mezisklad až do vstupní pozice logistického řetězce.

Řešená výrobní oblast průmyslového závodu se řídí třísměnným pracovním režimem (viz Tab. 3), který platí během všech sedmi dní jednoho kalendářního týdne. Ranní, odpolední i noční směna mají dobu trvání osm pracovních hodiny a vyskytují se během nich dvě různě dlouhé pracovní přestávky o celkovém intervalu jedné hodiny. Směnovým režimem se řídí nejenom lidská pracovní síla, která zabezpečuje kontrolu a obsluhu prvků logistického řetězce. Řídím se jím také robotizované stanice překládky nebo výstupní pracoviště meziskladů výrobních linek, které jsou tak v rámci pracovních přestávek v nečinnosti.

Tab. 3 Pracovní režim průmyslového závodu [zdroj: vlastní]

Pracovní směna	Interval směny		Kalendářní den							Přestávky			
										Krátká		Dlouhá	
	Od	Do	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne	Od	Do	Od	Do
Ranní	6:00	14:00	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	9:00	9:15	12:00	12:45
Odpolední	14:00	22:00	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	17:00	17:15	20:00	20:45
Noční	22:00	6:00	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	1:00	1:15	4:00	4:45

2.2 SYSTÉMOVÁ ANALÝZA

2.2.1 DISPOZICE SYSTÉMU

Logistický řetězec je v rámci diplomové práce pomyslně rozčleněn na několik jednotlivých sekcí a na jejich vzájemná dopravníková propojení. Tato zvolená segmentace je zaznamenána v Příloze 4. Dílčí sekce jsou zvoleny s ohledem na jejich funkční princip, který je ve všech případech nutné podrobněji analyzovat. Pouze při detailnějším rozboru je možné jednotlivé sekce uvést do kontextu celkového řízení logistických operací napříč systémem. Podrobným popisem jejich činností lze popsat aplikovanou logiku řízení materiálového toku v logistickém řetězci. Charakteristika jejích hlavních bodů je stěžejní úkonem při tvorbě navržené logiky řízení, která do určité míry vychází z původní logiky řízení.

Vzájemná propojení dílčích sekcí jsou tvořena válečkovými, resp. pásovými dopravníky, a slouží k přepravě palet mezi jednotlivými sekcemi. Jako nežádoucí je považován stav, kdy palety na dopravníkových propojeních přerušují vlastní chod přepravy, shromažďují se a tvoří tak svou lokální zásobu. Výsledkem tohoto konání by mohlo nastat zaplnění jednotlivých úseků

dopravníkového řetězce. Systém by tak nebyl schopný dokončit přepravu prázdných palet ke stanicím překládky, které zajišťují přemístění akumulátorů a prázdné palety. Přímým následkem by nastal zánik dodávky zkompletovaných palet do navazujícího meziskladu montážní linky a logistický systém by tak ztratil celkovou funkčnost. Specifickým typem propojení jednotlivých sekcí řetězce představují robotizované stanice překládky. První dvojice těchto pracovišť realizují přemístění zpracovaných stohů prázdných palet na navazující úsek dopravníkového řetězce. Ostatní dvě robotizovaná pracoviště provádějí vlastní přemístění akumulátorů na předem připravené prázdné palety. Po vzájemné kompletaci pokračuje automobilový akumulátor (na odpovídající paletě) do následující oblasti průmyslového závodu, jež je tvořena meziskladem, na který je připojena montážní linka. Naložená paleta je dopravována pomocí propojení, které, vzhledem ke svému umístění, přebírá roli výstupní větve logistického řetězce. Úkolem tohoto úseku systému je přepravit materiál z místa překládky až do místa výstupních dopravníkových pozic. Toto propojení je tvořeno válečkovými dopravníky a lokálně je charakterizováno víceúrovňovou přepravou, kdy je manipulace materiálu vedena nad dopravníkovými propojeními jednotlivých sekcí systému. Patrové uložení výstupní dopravníkové větve logistického řetězce je zajištěno aplikací speciálně upravených válečkových dopravníků, které mohou po úplném nájezdu materiálu měnit svou výškovou hladinu. Je tím zajištěna úspora zastavěného místa ve výrobní oblasti řešeného závodu. Jsou také eliminovány možné prostoje způsobené křížením materiálového toku. Protínání jednotlivých trajektorií přepravovaných objektů by v krajním případě mohlo mít za následek vzájemnou kolizi dopravovaných prázdných palet s těmi zkompletovanými.

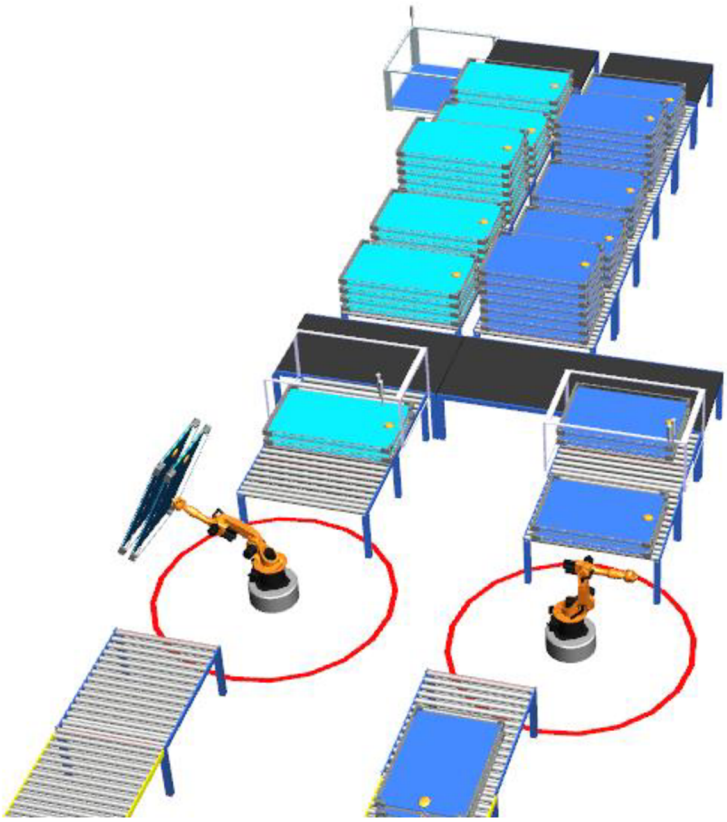
Materiál je ze systému možné expedovat třemi různými výstupními pozicemi. Jejich využití lze rozlišovat například ve vztahu k přepravovanému materiálu. První dva výstupy mohou být určeny pro akumulátor A, kdežto třetí výstup zabezpečuje odbavení zbylého druhu. Toto rozdělení je uvedeno pouze za účelem nastínění maximálního možného využití výstupních pozic logistického řetězce. V řešené výrobní oblasti průmyslového závodu je, vzhledem k rozestupům dopravovaných zkompletovaných palet a ke skutečnosti, že navazující mezisklad montážní linky přijímá materiál okamžitě, odbavení systému řešeno pouze prostřednictvím prvního výstupu. Ostatní dva jsou vytvořeny z důvodu případné změny logiky řízení na výstupu ze systému, a s tím souvisejícím připojením dalších úseků montážní linky. Zbylé výstupní pozice také mohou sloužit například jako záložní varianta pro úplné dokončení přepravy zkompletovaných palet v případě, kdy dojde k zaplnění předchozího výstupu. Tento jev by mohl ze strany meziskladu montážní linky nastat v okamžiku, kdy by (z důvodu úplného obsazení kapacity meziskladu) vznikla časová prodleva při přijetí zkompletované palety a navazující oblast průmyslového závodu by tak nemohla přijímat materiál z první výstupní pozice logistického systému.

SEKCE 0S/0P

Prvotní úsek logistického řetězce je pro účely diplomové práce pojmenován 0S/0P. Jeho podstatou je příjem stohovaných přepravních prostředků z přidruženého externího sklad palet. Po systémovém schválení dodávky přepravních prostředků, je příchozí stoh touto sekcí akceptován a následně zpracován v takové míře, aby odpovídal požadavkům, které jsou kladeny ze strany navazujících úseků logistického řetězce.

Umístění jednotlivých dopravníkových pozic této sekce je zobrazeno na Obr. 9. Po přijetí je stoh dle typu přepravovaných palet začleněn do příslušné větve v této sekci. Před provedením tohoto úkonu najíždějí stohy na dvojici pásových dopravníků, kde právě v oblasti prvního z nich dochází ke klasifikaci stohu. V případě, že jsou přepravované palety prodlouženého typu, je

stoh zařazen do levé větve sekce. Stoh obsahující standardní palety směřuje na navazující pásový dopravník, ze kterého pokračuje do pravé větvě. Obě strany tohoto rozvětvení disponují pěti válečkovými dopravníky, pomocí kterých jsou stohy přepraveny na další dvojici pásových dopravníků. Stohy jsou tak manipulovány přímo na přilehlou dopravníkovou pozici, která je opatřena mechanismem rozdělení stohu. Tato sekce operuje s jedním párem těchto mechanismů takovým způsobem, že každý z nich zabezpečuje výkon vlastní činnosti pouze pro daný typ prázdných palet. Z toho důvodu jsou tyto prvky logistického řetězce uloženy paralelně. Zpracování stohovaných palet je realizováno v takové míře, aby bylo možné rozdělené přepravní prostředky (po dvojicích nebo samostatně) dopravovat systémem až do místa určení. Z původního stohu, který obsahuje právě čtyři kusy palet, jsou pomocí speciálně uzpůsobeného strojního mechanismu vytvořeny dvě dvojice palet. Stoh, který pojme sedm kusů prázdných palet, je přetvořen na tři dvojice přepravních prostředků. Zbylá prázdná paleta je z původního stohu mechanismem převzata jako samostatná a s tímto statusem následně putuje systémem. Po nezbytném zpracování stohovaných palet navazuje materiál na svou předešlou přepravu, a putuje tak na další válečkový dopravník v pořadí. Jakmile je dosaženo plného najetí materiálu na jeho pozici, přidružená robotizovaná stanice přeložení přijme signál a následně prostřednictvím uchopení nejníže umístěné palety ve dvojici vykoná překládku na navazující dopravníkové propojení. Jestliže je paleta přepravena samostatně, robotizované pracoviště realizuje činnost přeložení pouze pro tento jeden kus prázdné palety a stejným způsobem jí přemístí. Palety po tomto úkonu opouštějí systémovou sekci 0S/0P a jsou dopravníkovým propojením přepraveny do předem stanoveného místa určení.

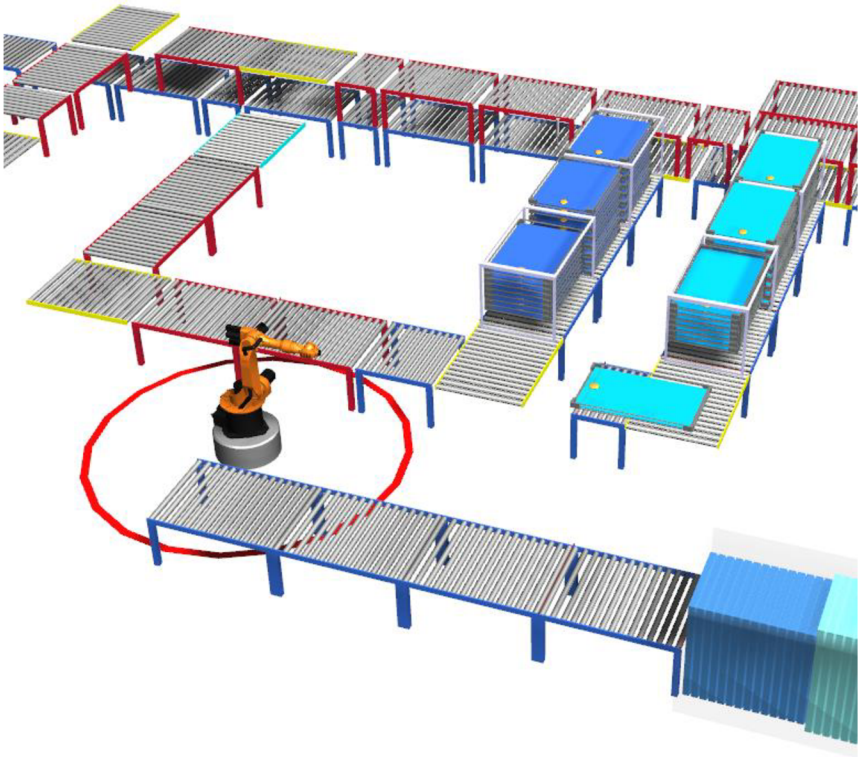


Obr. 9 Simulační model sekce 0S/0P [zdroj: vlastní]

SEKCE 1S/1P

Sekcí 1S/1P je označen úsek logistického řetězce zabezpečující jednu ze dvou překládek automobilových akumulátorů na prázdné palety. Na tuto sekci je tedy napojen výstup z meziskladu výrobní linky, pomocí kterého je materiál dodáván k robotizované stanici překládky. Aby bylo možné realizovat potřebné přeložení akumulátoru na prázdnou paletu, je nutná existence odpovídajícího typu palety v této sekci. K jejich uchování slouží dopravníkové rozvětvení sekce sestávající se ze tří pozic válečkových dopravníků. Systém rozřazení příchozích palet je řízen na základě jejich typu, kdy je levá větev využívána pro standardní palety a pravá pro prodloužené palety. Zásluhou tohoto rozvětvení vzniká možnost tvořit vlastní zásobu prázdných palet před stanicí překládky. Maximální dosažitelný počet palet obsažených v této sekci je navíc navýšen zásluhou stohování přepravních prostředků na prvních dopravníkových pozicích rozvětvení. Pracovní činnost zde vykonávají stohovací mechanismy, které jsou identické strojním zařízením ze sekce 0S/0P. Jedinou rozdílností je význam jejich aplikace. V této sekci jsou mechanismy využívány z důvodu tvorby větších stohů, nikoli se záměrem původní stohy roztřídit na dvojice a samostatné kusy palet. Dopravované palety jsou postupně kumulovány až do okamžiku, kdy je stoh považován za úplný. V takovém případě obsahuje maximální počet osmi, příp. sedmi kusů prázdných palet. Existencí stohů v této sekci je umožněno vytvořit nejvyšší dosažitelnou zásobu palet daného typu před robotizovanou stanicí překládky. Obě dopravníkové větve sekce 1S/1P jsou, co do maximálního počtu kusů palet, totožné. Na třech válečkových dopravnících lze v jedné větvi uchovat až 24 kusů přepravních prostředků. Maximální zásoba prázdných palet je uvedena na Obr. 10. Ne vždy je ovšem možné tuto nejvyšší kapacitu dosáhnout. Je tomu tak v případě, kdy je ve stohu již připraveno sedm kusů prázdných palet a pro dosažení jeho plné kapacity je vyčkáváno na dodávku posledního kusu. Tato samostatná paleta ovšem nemusí být v pořadí sekvence dopravy prázdných přepravních prostředků ze sekce 0S/0P. Namísto toho je dalším objektem v sekvenci dvojici palet. V takovém případě je neúplně obsazený stoh s méně než osmi kusy palet považován za konečný. Tento scénář má tedy za následek fakt, že i při zaplnění všech tří pozic jedné dopravníkové větve nemusí být docíleno maximálního počtu kusů daného typu palet v sekci.

Jednotlivé typy palet jsou k robotizované stanici překládky uvolňovány z posledních pozic dopravníkového rozvětvení v momentě, kdy lze přeložit automobilový akumulátor. Vyslání palety ze stohu je realizovatelné vzhledem k existenci strojního mechanismu, který v průběhu své pracovní činnosti rozděluje stohy takovým způsobem, aby byla vždy uvolněna právě jedna paleta nacházející se na jeho nejnižší pozici. V pravé větvi této sekce pracuje poslední dopravníková pozice na stejném principu s tím rozdílem, že je na ni připojen další válečkový dopravník. Ten slouží jako místo pro dočasné uchování uvolněné palety. Jakmile je z jeho pozice vyslán přepravní prostředek ke stanici překládky, je zároveň ze stohu na poslední dopravníkové pozice pravé větve uvolněna další nejníže uložená paleta. Po přeložení akumulátoru pokračují zkompletované palety dopravníkovým propojením až k navazujícímu meziskladu montážní linky.



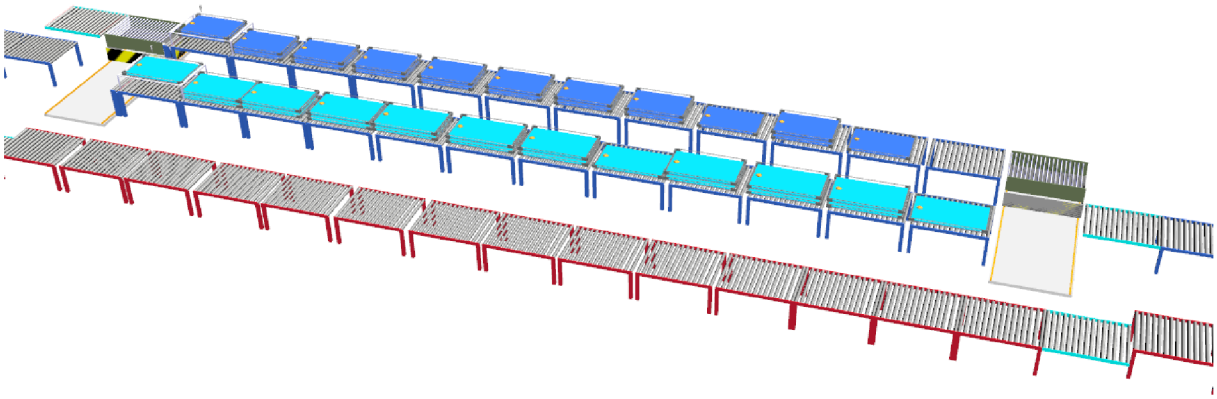
Obr. 10 Simulační model sekce 1S/1P [zdroj: vlastní]

SEKCE 2S/2P-A

Vzhledem k vlastnímu umístění lze tento úsek logistického řetězce považovat za mezisklad pro navazující sekci 2S/2P-B, která disponuje robotizovanou stanicí překládky. Přispívá k tomu i fakt, že je zde možné uchovávat větší množství kusů palet, než jaký je počet vlastních dopravníkových pozic. Sekce se dělí na dvě paralelní dopravníkové větve, ve kterých je sériově propojeno dvanáct válečkových dopravníků. Při zaplnění všech těchto pozic je možné uvažovat maximální kapacitu jedné větve až do výše 24 kusů palet. Na základě nahodilých velikostí vstupujících stohů do sekce 0S/0P, jejich následného zpracování a vyslání, je maximální obsazenost v rámci jedné větve stěží dosažitelná. Důvodem je skutečnost, že dopravované prázdné palety nejsou vždy ve formě dvojic, ale systémem se pohybují i samostatně.

Na poslední pozici dopravníkového propojení, které přivádí materiál do této sekce, je umístěn válečkový dopravník. Ten je vybaven speciálním zdvihacím zařízením, s jehož využitím je materiál do této sekce dopraven s výškovým rozdílem v porovnání s předcházejícími úseky logistického řetězce. Na základě toho je celá popisovaná sekce uložena ve vyvýšené úrovni. Materiál vstupuje do rozvětvení sekce prostřednictvím příčného přesuvného dopravníku. Jeho funkcí je rozřazení prázdných palet s ohledem jejich typ. Pravá větev je určena pro standardní palety, levá slouží pro manipulaci s paletami prodlouženými. Na posledních dopravníkových pozicích rozvětvení je strojní mechanismus, jehož úkolem je dělení přepravovaných palet na jednotlivé kusy. Pakliže je dopravena samostatná paleta, není tímto mechanismem nijak zpracována a pokračuje dál ve své trase na příčný přesuvný dopravník, jenž tvoří výstupní část rozvětvení této sekce. Aplikace příčného přesuvného dopravníku je zejména z důvodu charakteru navazujícího a přecházejícího dopravníkového propojení, na kterém je nutné přepravovat vždy pouze jeden kus prázdné palety. Před dopravníkovým propojením se sekcí

2S/2P-B je opět umístěn speciálně upravený válečkový dopravník, který vyrovnává výškovou úroveň do původního stavu. Celá tato sekce je vyvýšeně uložena právě vzhledem k aplikaci příčného přesuvného dopravníku. Jeho základna je v rámci výrobní oblasti průmyslového závodu uložena ve stejné úrovni, ve které jsou i činné plochy dopravníkových propojení. Jeho pohyblivý element tak pracuje ve vyšší úrovni, ve které je uložena i celá tato sekce. Rozmístění příčných přesuvných dopravníků v rámci sekce je znázorněno na Obr. 11.

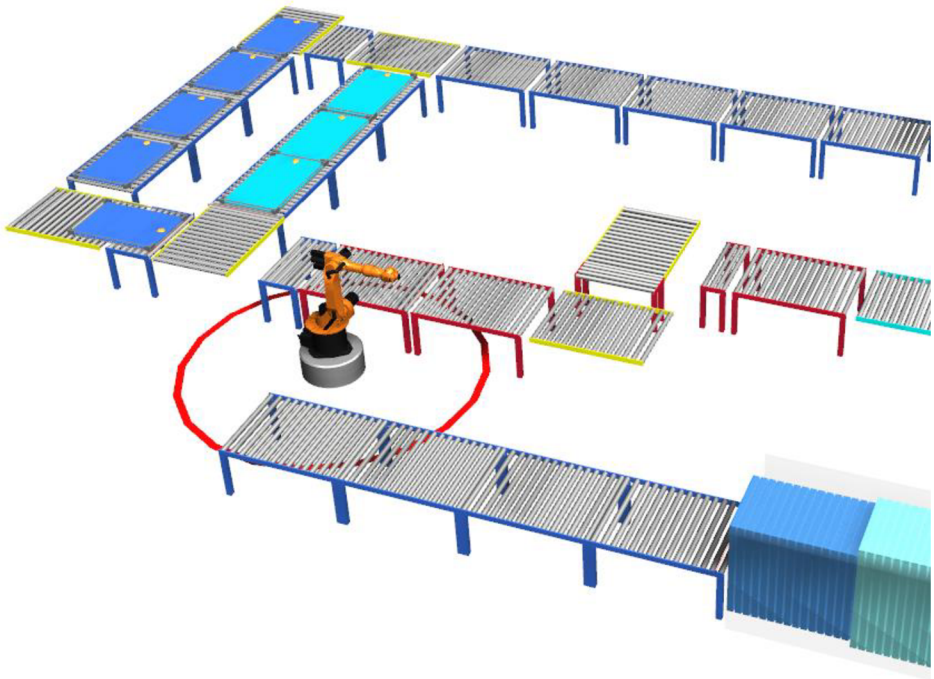


Obr. 11 Simulační model sekce 2S/2P-A [zdroj: vlastní]

SEKCE 2S/2P-B

Od úseku logistického řetězce, který přijímá stohované palety do systému, lze za nejvzdálenější sekci považovat 2S/2P-B. Významem principálně odpovídá sekci 1S/1P, tj. jejím úkolem je zabezpečit dopravu prázdných palet k robotizované stanici překládky. K tomu dopomáhá osm dopravníkových pozic rozdělených do dvou větví. Pravá z nich pracuje s prodlouženými paletami, pro které jsou k dispozici celkem tři dopravníkové pozice. V levé části sekce je celkem pět dopravníkových pozic pro standardní palety. Rozvětvení sekce a její úplné zaplnění paletami je znázorněno na Obr. 12. Vzhledem k tomu, že jsou přepravní prostředky do rozvětvení přepravovány samostatně, je maximální množství palet v celé sekci rovno počtu jejich dopravníků. Navzdory tomu lze i palety v této části systému považovat za vlastní zásobu pro přidružené robotizované pracoviště přeložení. Avšak co do počtu možných dočasně uskladněných kusů palet, je v porovnání se systémovou sekcí 2S/2P-A méně významná.

V momentě, kdy robotizovaná stanice překládky vyšle signál s žádostí o dodávku prázdné palety, je k jejímu umístění uvolněna paleta odpovídajícího typu. Zároveň je do předcházející sekce 2S/2P-A vyslán signál s požadavkem na dodání odpovídající prázdné palety. Pakliže je zásoba v této sekci dostačující, paleta je přepravena dopravníkovým propojením mezi jednotlivými sekcemi. Aby prostřednictvím robotizované stanice překládky proběhla správná a kompletní činnost přeložení materiálu, musí být typ palety adekvátní druhu akumulátoru. Obdobně jako tomu je v sekci 1S/1P, zkompletovaná paleta pokračuje výstupní dopravníkovou větví logistického řetězce až k místu, odkud je odebrána nadcházející oblastí průmyslového závodu.



Obr. 12 Simulační model sekce 2S/2P-B [zdroj: vlastní]

2.2.2 LOGIKA ŘÍZENÍ

Původní aplikovaná logiky řízení pracuje na jednoduchém principu, který je znázorněn blokovým schématem v Příloze 5.

Systémová sekce 0S/0P je v počátku provozu průmyslového závodu zaplněna stohy prázdných palet. Jejich rozřazení v této oblasti logistického systému odpovídá výše popsanému schématu, což má za následek, že jsou stohy do jednotlivých větví rozděleny dle typu obsažených objektů. Na posledních dopravníkových pozicích tohoto rozvětvení jsou stohy zastaveny a zdržují se zde do momentu přijetí odvolávky. V momentě, kdy do systému vstupuje automobilový akumulátor, je spuštěno centrální řízení logistického řetězce. Jeho obsahem je zodpovězení jednotlivých rozhodovacích bodů a plnění přikázaných úkonů. Jedině tímto způsobem je zajištěn řádný chod materiálového toku v rámci logistického řetězce. První rozhodovací bod řeší otázku nedostatečného počtu prázdných palet v přidružené sekci. Disponuje-li úsek logistického systému uspokojivým množstvím prázdných palet daného typu, není jejich doskladnění vyžadováno a probíhající řízení materiálového toku je ukončeno. Jestliže sekce vykazuje nedostatek prázdných palet, je vyslán příkaz ke klasifikaci stohu v sekci 0S/0P. Jak již bylo zmíněno, tento stoh je v daný moment na poslední dopravníkové pozici rozvětvení a jeho obsahem jsou stohované palety odpovídajícího typu. Není-li v daný okamžik konečná dopravníková pozice obsazena, lze za aktuálně řešený považovat stoh, který je uložen na předchozí připojené dopravníkové pozici. Neobsazenost poslední dopravníkové pozice lze dosáhnout za předpokladu, kdy byla kladně vyřízena předešlá odvolávka a zároveň neproběhl dostatečně dlouhý časový interval potřebný k dokončení přepravy předchozího stohu na poslední dopravníkovou pozici dané větve.

V případě, kdy sekce, ve které je původ aktuálně probíhající odvolávky, disponuje volnými pozicemi pro prázdné palety z klasifikovaného stohu, následuje vznik odvolávky do sekce 0S/0P. Jejím obsahem je požadavek na uvolnění poslední dopravníkové pozice, a tím vyslání stohovaných palet do systému. Pokud sekce není schopna pojmout další přepravní prostředky, je proces řízení materiálového toku ukončen. Během přijetí a následného zpracování jednotlivých stohů je prázdným paletám stanoveno místo určení a jsou tak v rámci systému rozřazeny. Cílové destinace palet odpovídají sekci, do níž byl přijat automobilový akumulátor, což mělo za následek vytvoření aktuální odvolávky. Daná sekce vyžaduje doskladnění prázdných palet pro řádné plnění pracovní činnosti robotizované stanice překládky.

Zároveň v momentě, kdy jsou do systému ze sekce 0S/0P přijaty stohované palety, pokračuje přeprava akumulátoru, který původně inicioval vznik řešené odvolávky. Materiál nepřerušuje vlastní dopravu ani v případě, kdy je během logiky řízení nevznikne odvolávka na doskladnění palet do sekce. Robotizovaná stanice překládky tak po většinu času chodu logistického systému disponuje vlastní zásobou několika málo kusů akumulátorů.

2.3 SIMULAČNÍ MODEL

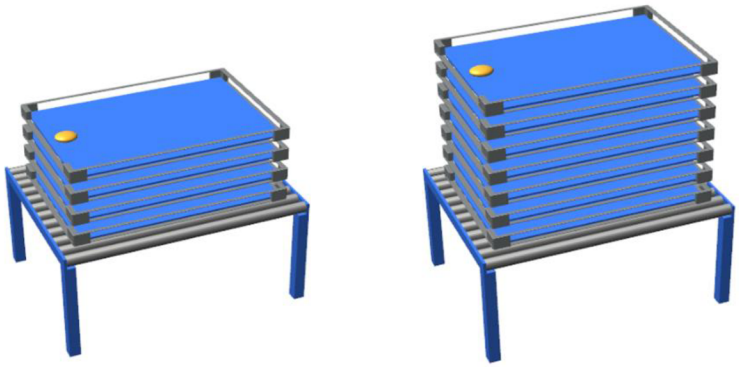
Výrobní oblast průmyslového závodu, která je předmětem řešení této diplomové práce, byla pomocí softwaru Plant Simulation převedena do simulačního modelu. Ten je pro lepší názornost, prezentační účely a celkové vykreslení pracovního prostředí logistického systému vytvořen ve 3D prostředí. Dílčí výsledky provedených simulačních experimentů nejsou volbou trojrozměrného zobrazovacího režimu nikterak ovlivněny. Pouze je kladen vyšší nárok na aplikovanou výpočetní techniky, příp. je prodloužen čas potřebný k dokončení jednotlivých simulačních experimentů.

Vlastní tvorba modelu se odvíjela od projektového návrhu dispozice výrobní oblasti průmyslového závodu uvedeného v Příloze 6. Ten byl do simulačního softwaru nahrán na úroveň platformy. Sloužil tak jako určitá forma šablony, pomocí níž byly vkládány a upravovány jednotlivé prvky logistického systému. V rámci vytyčených cílů diplomové práce byl vymodelován pouze takový úsek výrobní oblasti, který dostatečně reprezentoval řešený logistický řetězec, a zároveň zaručoval úplnou formulaci simulačních experimentů, z jejichž výsledků bylo následně možné vyvodit patřičné závěry. V Příloze 7 je tak znázorněn vytvořený 3D simulační model, ve kterém jsou zahrnuty všechny podstatné sekce a jejich jednotlivá dopravníková propojení tak, jak byly definovány v kapitole 2.2.1. Vzhledem ke skutečnosti, že projektový plán dispozice výrobní haly je do softwaru nahrán v měřítku 1:1, bylo možné jednotlivé prvky modelu vkládat z knihovny softwaru Plant Simulation přesně na místo jejich určení. Zároveň byla možná jejich okamžitá modifikace tak, aby objekty do nejvyšší možné míry odpovídaly prvkům řešeného logistického řetězce. Veškeré technické parametry, které bylo nutné objektům přiřadit a zároveň nebylo možné jejich stanovení z projektového návrhu, byly převzaty z kapitoly 2.1.2. Jednalo se zejména parametrizaci externího skladu palet a meziskladů výrobních linek, časové intervaly jednotlivých pracovních stanic a hodnoty jejich poruchovostí nebo například směnový režim systému. Ten byl do modelu vložen prostřednictvím prvku s názvem „ShiftCalendar“. Jeho třísměnný nepřetržitý charakter je popsán v Tab. 3. Kontinuita pracovního režimu je naznačena návazností intervalů pracovních směn. Stejně tak je spojitá pracovní doba u všech dní v kalendářním týdnu, u kterých je pracovní směna zadána označením příslušného pole. Denní přestávky v průběhu směn byly dle délek jejich intervalů rozlišeny pod názvy „krátká“ a „dlouhá“. Pro práci s modelem je takto zadaný směnový režim aplikován na robotizované stanice překládky a na výstupy meziskladů výrobní linky. Směnovému režimu tak nepodléhá vlastní přeprava objektů na dopravníkové technice.

Ve výrobním úseku průmyslového závodu se zaměstnanci řídí stejným časovým rozvrhem jako veškeré stanice, jejichž výkon práce spadá pod směnový režim. Opravy pracovišť, které jsou v systému jediné přímé úkony vykonávané lidskou pracovní silou, jsou reprezentovány časovým intervalem potřebným k této činnosti. Na základě toho bylo možné přistoupit k následnému zjednodušení, kdy v rámci simulačního modelu nejsou vytvořeny jednotlivé pracovní pozice, a je vynecháno programování lidské pracovní síly.

Jak již bylo popsáno v kapitole 2.1.2, výrobní linka vytváří v obou připojených meziskladech zásobu 150 kusů automobilových akumulátorů. Z tohoto množství je materiál přidruženou sekcí logistického řetězce odebírán ve chvíli, kdy dojde k dovršení maximálního počtu kusů v daném meziskladu. Tento děj je označován jako „náběh“. Vzhledem k tomu, že výstupní stanice výrobní linky, jež jsou umístěny před vlastními mezisklady, operují s odlišným taktem, liší se i vzájemné intervaly náběhů meziskladů. Pro sekci 1S/1P je stanovena doba náběhu na 165 minut. Mezisklad, který je přidružen k sekci 2S/2P-B, vykazuje počáteční časovou prodlevu o hodnotě 245 minut. Pakliže není logistický řetězec při spuštění simulačního běhu naplněn prázdnými přepravními prostředky a materiálem, je kompletace akumulátorů na palety vykonávána pouze sekcí 1S/1P. Je tomu tak v rámci jedné hodiny a dvaceti minut. Po uplynutí tohoto časového intervalu je dokončen náběh meziskladu sekce 2S/2P-B a systém tak pracuje na maximální možné vytížení.

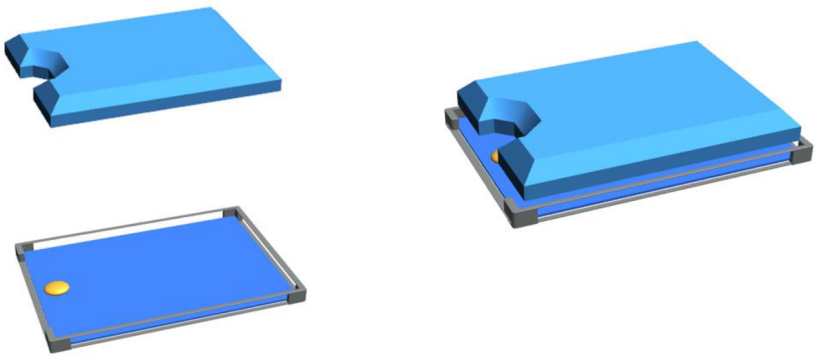
Činnost vlastní výrobní linky je v modelu zastoupena generátorem automobilových akumulátorů. Oba její výstupy jsou v simulačním modelu zjednodušeny do podoby dvou stanic. Dvojice těchto objektů jsou umístěny před navazujícími mezisklady a jsou jim přiřazeny výrobní takty, které imitují pravidelnou dodávku akumulátorů ze strany výrobní linky. Tímto zjednodušením je eliminována vlastní tvorba komplexního simulačního modelu výrobní linky a zároveň je zabezpečena požadovaná dodávka materiálu. Výstupním pracovištím navazujících meziskladů jsou přiřazeny hodnoty poruchovostí v souladu s technickými parametry systému. Obdobným způsobem je řešen externí sklad palet. Vložená pracovní stanice, jenž simuluje činnost skladu, má za úkol vytvářet dva druhy stohů, které obsahují jednotlivé typy palet. S její aplikací v simulačním modelu souvisí vyhotovený generátor, který prostřednictvím výběru z hodnot čtyři nebo sedm náhodně určuje velikosti daných stohů. Tyto konstanty tak udávají počet stohovaných palet v aktuálně vytvořeném stohu. Na základě toho lze z externího skladu palet dodávat jednotlivé stohy v náhodném pořadí. Je tak realizována možnost plynulé dodávky přepravních prostředků ze strany externího skladu. Zásluhou existence tohoto generátoru je tak dosaženo maximálního přiblížení k reálnému provozu externího skladu palet. Obě velikosti vysílaných stohovaných palet z externího skladu jsou uvedeny na Obr. 13.



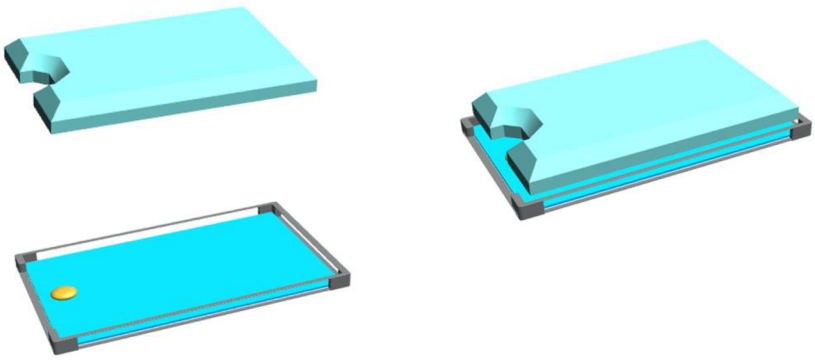
Obr. 13 Dvě velikosti stohovaných palet [zdroj: vlastní]

Robotizované stanice překládky jsou v modelu zastoupeny prvky „PickAndPlace“. Pro všechny stanice přeložení je zvolen totožný objekt z knihovny prvků softwaru Plant Simulation, který zároveň podléhá jednotné parametrizaci. V jejím rámci byly robotizovaným pracovištím definovány doby překládek materiálu, hodnoty poruchovostí a s nimi spojené časové intervaly na jejich odstranění. Reálný strojní mechanismus přeložení tak v rámci simulačního modelu převzala podobu robotického ramene.

V řešené výrobní oblasti se oba druhy automobilových akumulátorů, které jsou považovány za předměty přepravy v rámci logistického řetězce, liší v rozměrových parametrech. Akumulátor s označením „Akum_B“ je o 250 mm delší a 140 mm širší než druhý materiál. V rámci simulačního běhu lze jednotlivé druhy materiálů složitě rozpoznat. Z toho důvodu jsou akumulátory pro názornost barevně odlišeny, jako je tomu demonstrováno na obrázcích Obr. 14 a Obr. 15. Zvolená barevná diference obou materiálu je promítnuta i na odpovídající přepravní prostředky, která se tak graficky shodují s přepravovaným materiálem.



Obr. 14 Akumulátor „Akum_A“, standardní paleta a jejich komplet [zdroj: vlastní]



Obr. 15 Akumulátor „Akum_B“, prodloužená paleta a jejich komplet [zdroj: vlastní]

V simulačním modelu jsou dle projektovaného návrhu dispozice výrobní oblasti průmyslového závodu vytvořeny všechny tři výstupní dopravníkové pozice. Lze tak učinit případné úpravy logiky řízení na výstupu ze systému, odkud zkompletované palety míří do navazujícího meziskladu montážní linky. V rámci simulačního modelu vytvořeného za účely vypracování diplomové práce nejsou posledních dva výstupní dopravníky využity. Veškerý materiál tak opouští logistický řetězec právě první výstupní dopravníkovou pozicí, na kterou je připojena navazující oblast průmyslového závodu.

2.3.1 NÁVRH LOGIKY ŘÍZENÍ

Jedním z cílů diplomové práce je vytvořit vlastní návrh logiky řízení pro sledovanou výrobní oblast průmyslového závodu. Pro nastínění významu řízení materiálového toku a jejího vlastního podrobného popisu byl formou blokového schématu vytvořen její pojmový model. Dalším krokem k ověření správnosti řízení materiálového toku v rámci logistického řetězce je nutnost aplikace logiky řízení na zhotovený simulační model.

Při tvorbě upravené logiky řízení bylo třeba vyhovět několika požadavků. Předpokládaná úprava původní logiky řízení zahrnovala omezení zásoby stohovaných palet v první sekci systému 0S/0P. Tato existence stohovaných přepravních prostředků byla považována za nežádoucí. Naopak byl kladen důraz na distribuci stohů palet přímo z externího skladu. Další restrikce byla zavedena na příjem automobilových akumulátorů do systému. Nebylo žádoucí, aby se před robotizovanými stanicemi překládek akumulátorů na palety kumuloval materiál. Požadavek byl tak zejména na kontrolovaný příjem každého akumulátoru do systému, a to pouze pod podmínkou existence odpovídající prázdné palety v dané sekci. Na základě zavedení těchto omezení je v rámci celého systému přehled jak o množství přijatých prázdných palet z externího skladu, tak i o počtu kusů akumulátorů, které je pro přijetí do navazující oblasti průmyslového závodu nutné dopravit na daném přepravním prostředku.

2.3.2 POJMOVÝ MODEL

Vytvořený pojmový model navržené logiky řízení je zobrazen v Příloze 8. Pomocí tohoto blokového schématu je nastíněna posloupnost hlavních myšlenek navržené logiky řízení. Během tvorby pojmového modelu bylo nutné dodržet lokální i komplexní principy funkcí logistického řetězce. Prostřednictvím následné aplikace navržené logiky na simulační model bylo, za podmínky správně součinnosti informačního a materiálového toku systému, snahou

docílit maximální uvažovanou průchodnost materiálu systémem. Při snaze o dosažení nejvyšších hodnot produkcí byl brán zřetel na neustálou existenci dostatečné zásoby prázdných palet před robotizovanými stanicemi překládky. Na základě splnění této podmínky bylo možné dosáhnout plynulé přepravy požadovaného množství zkompletovaných palet do navazujícího montážní linky.

Navržená logika řízení je do simulačního modelu vložena prostřednictvím centrální řídící metody. Vzhledem k jejímu souhrnnému zaměření, které se zaobírá celou řešenou výrobní oblasti průmyslového závodu, je její složitě členěný charakter znázorněn v Příloze 9. Struktura centrální řídící metody je rozdělena na jednotlivé oddíly. Oddíl 1 zahrnuje rozhodování o příjmu automobilového akumulátoru na logistický řetězec. V rámci tohoto oddílu jsou také vytvářeny případné odvolávky do externího skladu palet na doplnění přepravních prostředků do systému. Centrální řídící metoda dokáže rozeznat, z jakého úseku systému došlo k jejímu spuštění a na základě toho vyhodnotit příjem materiálu. Kompetencí Oddílu 2 je rozhodovat o začlenění již přepravované prázdné palety do příslušné sekce logistického řetězce. Na rozdíl od Oddílu 1 je tato část centrální řídící metody spuštěna pouze z dopravníkové pozice před sekcí 1S/1P, kde probíhá rozřazení palet do systému. Ve strukturovaném zápisu metody jsou oddíly rozděleny na jednotlivé bloky, které jsou tvořeny rozhodovacími body. Součástí bloků mohou být další vnitřní bloky. Pakliže jsou bloky stejné úrovně propojeny šipkou, značí to jejich průchodnost. V tom případě, pakliže není první rozhodovací bod bloku vyhodnocen, je započato řešení rozhodovacího bodu následujícího bloku. Nevyhodnocení podtrženého rozhodovacího bodu ústí v oznámení o neočekávané chybě metody. Po vyhodnocení rozhodovacích bodů umístěných v rámečcích je logika řízení okamžitě ukončena.

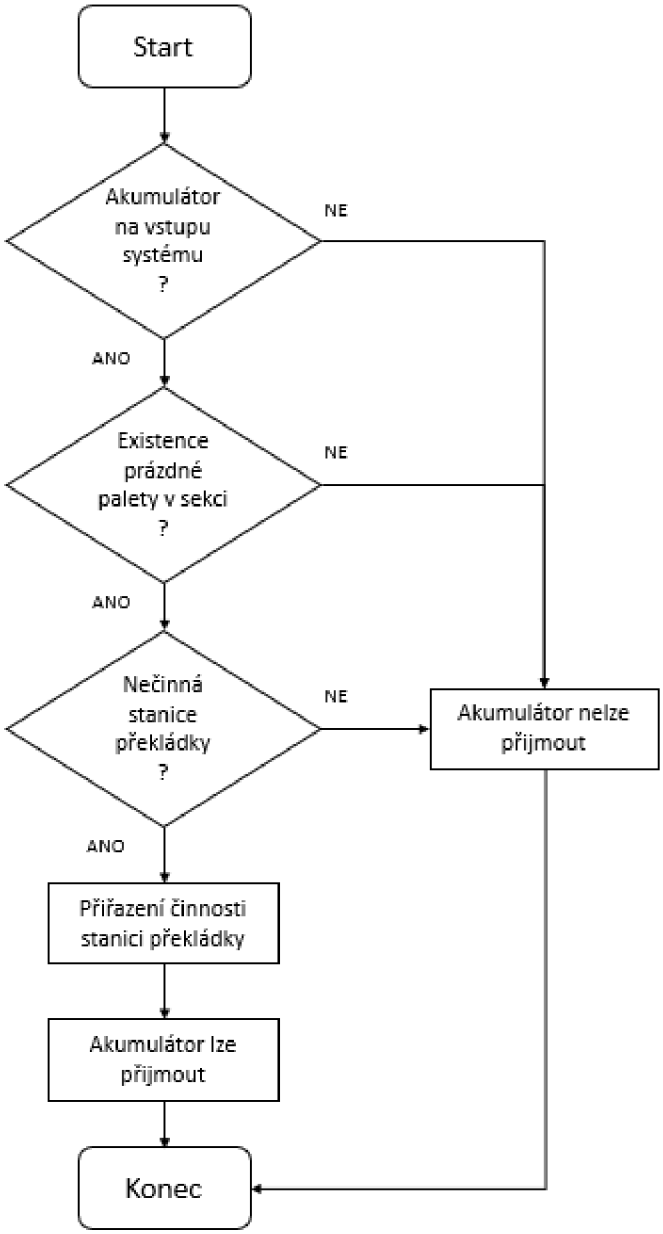
2.3.3 POPIS NAVRŽENÉ LOGIKY ŘÍZENÍ

Pro účely správně fungující navržené logiky řízení je simulační model opatřen tzv. evidenčními body. Jedná se o speciálně upravené lokace logistického řetězce, jejichž umístění se zpravidla nachází na vstupu či výstupu vybraných válečkových dopravníků. Rozvržení dílčích evidenčních bodů v systému je voleno s ohledem na dodržení posloupnosti jednotlivých rozhodovacích bodů a příkazových úkonů v rámci pojmového modelu logiky řízení. Zastoupení evidenčních bodů v simulačním modelu je zobrazeno v Příloze 10. Evidenční body jsou v rámci logistického řetězce instalovány na vstupu válečkových dopravníků, které jsou připojeny na výstupní pracoviště meziskladů výrobních linek akumulátorů. O tyto specifické prvky logistického řetězce jsou opatřeny i válečkové dopravníky, na kterých je realizována překládka akumulátorů na palety. Další pár evidenčních bodů je umístěn na vstupu posledních dopravníkových pozic v rozvětveních sekcí 1S/1P a 2S/2P-B. V reálném systému lze tyto elementy logistického řetězce zastoupit například laserovým skenerem, který při průjezdu manipulovaného objektu snímá informační štítek, jenž může mít formu čárového kódu. Zaznamenané informace jsou následně zpracovány a vyhodnoceny pro potřeby logiky řízení. Na základě tohoto propojení materiálového a informačního toku lze konstruktivně řídit logistické operace v celé výrobní oblasti průmyslového závodu.

Navržená logika řízení se oproti původní aplikované logice liší hned v několika klíčových aspektech. Největším rozdílem je fakt, že v rámci navržené varianty je na řešenou výrobní oblast průmyslového závodu nahlíženo jako na celek. Podstatou nově aplikované logiky řízení je tak možnost doskladnění prázdných paleta, a to s ohledem na celkové zaplnění logistického řetězce, nikoli pouze s ohledem se zaplněním jednotlivých sekcí. Dalším zásadním odlišením je vlastní obsazenost sekce 0S/0P. Té je na základě požadavků odebrána původní zásoba stohů, které jsou nyní uvolňovány přímo z externího skladu palet. Důležitou diferencí obou logik

řízení je také žádaná změna při příjmu akumulátorů do systému, které jsou systémem přijaty pouze za splnění dílčích podmínek. Pro zahájení úkonů logiky řízení materiálového toku je v rámci simulačního běhu stěžejním úkolem spuštění centrální řídící metody. Jejím prostřednictvím je navržená logika řízení aplikována do simulačního modelu. Spustit centrální řídící metodu lze pouze přepravou objektů dílčími evidenčními body. Obsah navržené logiky řízení je vytyčen zodpovězením otázek týkajících se aktuálního stavu logistického systému, resp. stavu jednotlivých sekcí. Požadovaným finálním výstupem v rámci jejího průběhu je přijetí akumulátoru k robotizované stanici překládky a případné vytvoření odvolávky do externího skladu palet, jejímž obsahem je uvolnění stohovaných palet daného typu.

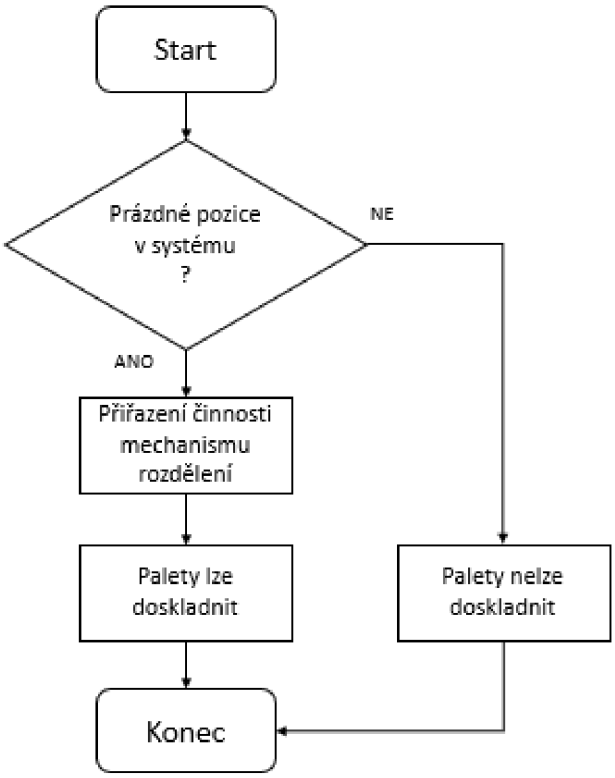
Při rozhodování o přijetí automobilového akumulátoru z meziskladu výrobní linky je postupováno v souladu s kroky blokového schématu na Obr. 16. Prvotní dotaz se tak zaobírá případnou existencí akumulátoru na výstupním pracovišti meziskladu výrobní linky, tj. na vstupní pozici logistického řetězce. V případě, že odvolávka nebyla vytvořena evidenčním bodem na vstupu systému a současně je daná výstupní stanice meziskladů výrobní linky neobsazena, je proces řízení, který se zaobírá přijetím akumulátoru, ukončen. Za skutečnosti, že je původcem spuštění řídící metody přepravený materiál do vstupní pozice systému, je počáteční rozhodovací bod zodpovězen kladně a je tak přikročeno k následujícímu dotazu v pořadí. Ten se týká existence alespoň jednoho kusu daného typu palety na poslední dopravníkové pozici sekce, do níž materiál směřuje. Tento volný přepravní prostředek odpovídajícího typu je nutný k plánované překládce akumulátoru. Pakliže zde prázdná paleta není k dispozici, pak není ani přistoupeno k přijetí akumulátoru a řízení materiálového toku je ukončeno. V opačném případě je na řadě zodpovězení třetí otázky v pořadí, která se zabývá aktuálním staven robotizované stanice překládky, prostřednictvím které je realizováno přeložení materiálu na prázdnou paletu. Vstup na logistický řetězec není akumulátoru udělen v případě, kdy nelze vykonávat činnost jeho přeložení. Pakliže je robotizovaná stanice překládky v nečinnosti, je do jejího programu aktivit naplánováno přeložení automobilového akumulátoru, kterému je zároveň umožněna manipulace na logistický řetězec. Pakliže nemůže být dopravovaný akumulátor prostřednictvím objektů logistického řetězce z jakéhokoliv výše uvedených důvodu zpracován, je přistoupeno k pozastavení vstupujícího materiálu do systému. V takových případech je akumulátor zastaven na výstupním pracovišti meziskladu výrobní linky až do momentu, kdy je obdržen signál k jeho přijetí. Povolení k pokračující přepravě lze materiálu přidělit pouze prostřednictvím opětovného spuštění centrální řídící metody. Všechny evidenční body v logistickém řetězci jsou, s výjimkou těch na vstupních dopravníkových pozicích připojených na výstupní stanice meziskladů výrobních linek, v systému vytvořeny se záměrem možného opětovného spuštění této řídící metody. Rozmístění evidenčních bodů je zvoleno právě s ohledem na včasné uvolnění pozastaveného akumulátoru. Prvotně i opětovně spuštěná metody se řídí jednou a tou samou navrženou logikou řízení, která je tak aplikována na celý logistický systém.



Obr. 16 Blokové schéma přijetí akumulátoru [zdroj: vlastní]

Po přijetí akumulátoru do systému následuje klasifikace stohu v externím skladu palet. Na základě zjištěných informací, zejména o počtu stohovaných kusů palet, lze posoudit doskladnění daného stohu do logistického řetězce. Tento úkon je popsán blokových schématem na Obr. 17. Za účelem vzniku odvolávky do externího skladu palet je nutné zodpovědět otázku týkající se celkové obsazenosti systému daným typem přepravních prostředků. Jestliže je součet volných pozice v systému větší, nebo minimálně shodný, s hodnotou, která zastupuje počet okupovaných pozic stohovanými paletami, pak je zahájen proces vytvoření odvolávky. K neobsazeným pozicím v systému určeným pro prázdné palety je ovšem také nutné přičíst pozice, které jsou již zamluveny aktuálně dopravovanými přepravní prostředky, které byly

systémem přijaty dříve. Předmětem případně vzniklé odvolávky je příkaz k vyslání stohovaných palet do logistického řetězce. Zároveň je přiřazeno jeho zpracování strojnímu mechanismu v sekci 0S/0P. Při zpracování stohu není jednotlivým paletám přiděleno místo jejich destinace. To je dvojicím palet, resp. jednotlivým paletám, určeno až těsně před sekcí logistického řetězce 1S/1P. Právě na válečkovém dopravníku, který s ohledem na možnost rotace okolo své vlastní osy zastupuje otočný stůl, je určena cílová sekce přepravované palety. Je tak učiněno s ohledem na aktuální obsazenost všech tří následujících sekcí. Rozhodujícím faktorem je také kritický stav některé z robotizovaných stanic překládky, které zajišťují přeložení akumulátorů na palety. Tento status je robotizovaným pracovištím přidělen v momentě, kdy jejich vlastní zásoba prázdných palet nevykazuje ani jeden kus. Přepravované palety pak přednostně do této sekce směřují. Pakliže není logistický řetězec schopný pojmout další prázdné palety, nevznikne odvolávka vyzívající k jejich doskladnění.



Obr. 17 Blokové schéma doskladnění prázdných palet [zdroj: vlastní]

Navržená logika řízení simulačního modelu je univerzálním nástrojem z hlediska aplikovatelnosti na řešený logistický systém. Jak již bylo popsáno v předešlých kapitolách diplomové práce, logistický systém operuje se stohovanými paletami. Velikosti jednotlivých stohů se vzájemně liší a počet obsažených prázdných palet je v počtu čtyř, resp. sedmi kusů. Vyslání stohů není podmíněno žádnému pravidelnému opakování. V rámci navržené logiky řízení, konkrétně v kroku zabývajícím se klasifikací stohu z externího skladu, je zjištěn celkový počet stohovaných palet. Nejen že logika řízení je schopna zpracovat a následně operovat s výše zmíněnými velikostmi stohů, ale mezi její další schopnost se řadí klasifikovat stoh, jehož hodnoty charakterizující počet stohovaných palet, nabývají hodnot jedna až deset. Toto rozmezí

bylo vybráno z důvodu představení rozšířené funkce logiky řízení aplikované na řešenou výrobní oblast průmyslového závodu. Zároveň byl při stanovení rozsahu hodnot brán ohled na zástavbu a technologické parametry logistického řetězce. Spodní hranice této meze je volena logicky v souvislosti dodávky alespoň jedné prázdné palety z externího skladu. Horní hranice je omezena na počet deseti kusů, a to s ohledem na vlastní váhu stohu, výškovou zástavbu stohovaných palet, schopnost externího skladu takto objemný stoh sestavit a v neposlední řadě na způsobilost strojního mechanismu, který zabezpečuje rozdělení stohu, operovat se stohem obsahujícím maximálně deset kusů palet.

Během simulačních experimentů lze v modelu virtuálně odpojit jednotlivé sekce, dopravníková propojení či zamezit předávce materiálu nebo dodávce nových akumulátorů. Odstávky dílčích oblastí výrobní haly mohou během reálného provozu nastat z důvodu údržby, technické poruchy, výpadku dodávky materiálu nebo palet či jiné mimořádné události. Aby byl v rámci simulace logistický řetězec připraven na tyto situace, byla nutná implikace jednotlivých stavů simulačního modelu do obsahu centrální řídící metody. V případě odstavení vybrané sekce od činnosti logicky nedochází k vytvoření odvolávek z tohoto úseku logistického řetězce. Zároveň nejsou případné volné pozice z této sekce uvažovány při rozhodování o doskladnění palet z externího skladu a současně je zamezena doprava prázdných přepravních prostředků do tohoto úseku systému. Obdobně je tomu i při vyřazení jednotlivých dopravníkových propojení z činnosti. Následkem toho nejsou jejich navazující sekce uvažovány jako schopné akceptovat doskladnění prázdných palet. Z těch lze tvořit odvolávky směřující do externího skladu pouze za podmínky, že v případě přijetí akumulátorů nevznikne požadavek na doskladnění palet do této sekce. Pro účely přeložení materiálu jsou tedy využity pouze palety z vlastní zásoby sekce. Pakliže není robotizované stanici překládky zásahem jedné z mimořádných událostí umožněna její pracovní činnost, je systémovým řízením považována za obsazenou, což má za následek nepřijetí materiálu až do momentu, kdy dojde k jejímu opětovnému uvolnění, tj. do ukončení mimořádné události. Obdobně je tomu při vyřazení výstupní dopravníkové větve z provozu. Zkompletovaná paleta není vyslána na dopravníkové propojení vedoucí k navazující montážní lince, tudíž není ani spuštěna řídící metoda, která by případně mohla způsobit uvolnění akumulátoru na vstupu systému, přeložení materiálu na paletu a vytvoření tak další zkompletované palety. V momentě uvedení výstupní dopravníkové větve zpět do provozu je materiálem přepravovaným na paletě opětovně spuštěna řídící metoda, kterou lze umožnit pokračování procesů logiky řízení. Během případného výpadku dodávky akumulátorů z meziskladu výrobní linky ani logicky nedojde spuštění centrální řídící metody. Na tuto situaci tudíž nemusí být logika řízení nijak zvlášť připravena.

2.3.4 VERIFIKACE A VALIDACE

Jak již bylo uvedeno v teoretické části této diplomové práce, verifikací lze provést kontrolu správné funkčnosti zhotoveného simulačního modelu. Simulační model, a v něm aplikovaná logika řízení materiálového toku, dostatečně reprezentuje pojmový model (viz Příloha 5) se stanovenou mírou přesnosti. Verifikaci bylo tedy možné považovat za splněnou. Tato kontrola byla opakována během jednotlivých etap tvorby simulačního modelu a také v průběhu jeho dílčích úprav.

Jako hlavní kritérium pro posouzení validace simulačního modelu byla zvolena signifikantní charakteristika materiálového toku stanovující průchodnost materiálu logistickým řetězcem. Pro realizaci tohoto ověření byly porovnány hodnoty získané ze simulačního experimentu a statického výpočtu. Bylo nutné provést částečné zjednodušení modelu, ve kterém tak nebyly uvažovány poruchovosti robotizovaných pracovišť, a s tím spojené časové intervaly potřebné

na odstranění jejich závad. Zároveň nebyl na logistický řetězec aplikován ani směnový režim, na jehož základě by bylo vytížení pracovních stanic maximálně přiblíženo jejich reálnému stavu. K eliminaci těchto technických parametrů systému bylo přikročeno s ohledem na nutnost docílit výsledků časových intervalů průchodností materiálu logistickým řetězcem pomocí výpočtu, kdy je vlastní výpočet realizovatelný pouze pro konstantní časové intervaly pracovních operací jednotlivých pracovišť. Po těchto úpravách a následném dosažení jednotlivých výsledků, které byly získány jak prostřednictvím simulačního experimentu, tak i pomocí statického výpočtu, byly hodnoty vzájemně porovnány.

SIMULAČNÍ EXPERIMENT PRO VALIDACI

Pro účely validace vytvořeného a upraveného simulačního modelu byla vymezena přesná posloupnost aktivit prvků logistického řetězce. V simulačním běhu došlo ke vzniku odvolávky, na základě které byl z externího skladu vyslán stoh prázdných palet. Ten byl systémem přijat a zpracován standardním způsobem. Původně stohované palety byly nejdříve robotizovanou stanicí přeloženy a následně přepraveny dopravníkovým propojením do dané sekce logistického řetězce. Do systému dopravený automobilový akumulátor, který inicioval vznik odvolávky, byl poté v sekci 1S/1P přeložen na již přepravenou prázdnou paletu. Zkompletovaná paleta pokračovala logistickým řetězcem na výstupní dopravníkovou pozici systému. Jakmile došlo k přijetí materiálu ze strany navazujícího meziskladu montážní linky, byl tento simulační experiment ukončen. Sled časový intervalů všech popsaných událostí byl zaznamenán do Tab. 4 a využit pro posouzení validace simulačního modelu.

Tab. 4 Průběh simulačního experimentu pro validaci [zdroj: vlastní]

Pořadí fáze experimentu [-]	Název fáze experimentu [-]	Simulovaný čas [h:mm:ss.ssss]
1.	Start simulace	0:00:00.0
2.	Registrace odvolávky	2:45:00.0000
3.	Rozdělení stohu palet	2:45:29.7400
4.	Začátek přeložení prázdné palety	2:46:51.9900
5.	Konec přeložení prázdné palety	2:46:57.1569
6.	Začátek přeložení akumulátoru	2:48:53.9976
7.	Konec přeložení akumulátoru	2:49:00.0831
8.	Výstup zkompletované palety z modelu	2:51:28.9531
9.	Konec simulace	2:51:28.9531
	Celkový časový interval přepravy materiálu ze systému	**6:28.9531**

Delší doba trvání mezi první a druhou fází simulačního experimentu byla zapříčiněna faktem, že v počátku simulace vykazoval mezisklad výrobní linky nulovou zásobu. Během prvních dvou hodin a čtyřiceti pěti minut došlo k jeho úplnému zaplnění, načež mohl být akumulátor dopraven na vstupní úsek logistického řetězce. Doba náběhu meziskladu je z výsledné porovnávací hodnoty, která slouží pro vyhodnocení validace, vyřazena. Úsek mezi čtvrtou a pátou fází experimentu udává časový interval přeložení prázdné palety robotizovanou stanicí překládky, a to z výstupní pozice sekce 0S/0P, až na navazující dopravníkové propojení. Obdobně vymezuje časový interval mezi šestou a sedmou fází experimentu přeložení materiálu robotizovanou stanicí překládky na odpovídající prázdnou paletu. Celková doba vytvoření kompletu akumulátoru a palety a jeho následného dodání do navazujícího oblasti průmyslového závodu je ohraničena fází dva až osm a činila necelých šest a půl minuty. S ohledem na porovnání s výsledkem statického výpočtu byla výsledná hodnota pomocí jednoduché úpravy

převedena na jiný časový formát. Dle simulačního experimentu byl celkový čas dodávky akumulátoru do navazující výrobní haly roven 385,8781 sekundám.

STATICKÝ VÝPOČET PRO VALIDACI

V rámci statického výpočtu celkového časového intervalu průchodnosti materiálu logistickým řetězcem byly využity hodnoty vybraných technických parametrů systému uvedených v kapitole 2.1.2. Do výpočtů tak byly postupně zahrnuty hodnoty délek dopravníkových propojení, rychlostí přepravovaných objektů a intervalů překládek palet a akumulátorů. Zároveň byly v kontextu uvedených operací manipulace s materiálem využity další související hodnoty parametrů systému. Vybrané vzdálenosti, časové intervaly a rychlosti jsou spolu s jejich hodnotami uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5 Hodnoty statického výpočtu pro validaci [zdroj: vlastní]

Činnost prvků logistického řetězce [-]	Vzdálenost [m]	Časový interval [s]	Rychlost [m/s]
Příprava přeložení prázdné palety	-	78	-
Překládka prázdné palety	-	5,1669	-
Překládka akumulátoru	-	6,0855	-
Přeprava prázdných palet na pásovém dopravníku	4,375	-	1
Přeprava prázdných palet na válečkovém dopravníku	42,550	-	0,4
Přeprava zkompletovaných palet na válečkovém dopravníku	46,525	-	0,4
Doprovodné úkony manipulace	-	72,5	-

První uvedený časový údaj v Tab. 5 značí prodlevu, které jsou vystaveny prázdné palety před jejich vlastním přeložením, jenž je realizováno prostřednictvím robotizované stanice překládky na výstupní dopravníkové pozici sekce 0S/0P. K jejich následné manipulaci je tedy přikročeno až po uplynutí tohoto časového intervalu. Jednotlivé takty popisující překládky objektů mezi prvky logistického řetězce jsou zaznamenány s přesností na čtyři desetinná místa. Tyto hodnoty jsou stanoveny na základě pracovních úkonů robotizovaných stanic, ze kterých je činnost překládky tvořena. V Tab. 5 není záměrně uvedena vzdálenost pásových dopravníků spolu s rychlostí přepravy zkompletovaných palet. Je tomu tak z důvodu, že veškerou přepravu materiálu na paletách zabezpečují dopravníky válečkové. Za níže uvedené doprovodné úkony manipulace lze považovat průvodní aktivity prvků logistického řetězce, které jsou potřebné k realizaci úplného dokončení přepravy akumulátorů ze systému a splnění tak jeho principu funkce. Mezi takové činnosti se řadí rotace, resp. zdvih dopravníkové techniky, pomocí níž je možné překonat vzájemného natočení jednotlivých navazujících dopravníků, resp. rozdílné výškové úrovně jejich uložení. Na základě těchto hodnot byl pomocí níže uvedených výpočtů určen interval přepravy jednoho kusu materiálu do navazující montážní linky.

Vzorce pro výpočet časového intervalu přeprav materiálu ze systému:

$$t_e = t_p + t_z + t_r + t_d \tag{1}$$

kde:

t_e [s] – časový interval přepravy materiálu ze systému

t_p [s] – časový interval přepravy prázdné palety

t_z [s] – časový interval přepravy zkompletované palety

t_r [s] – časový interval překládky robotizovaným pracovištěm

t_d [s] – časový interval doprovodných úkonů manipulace

$$t_p = \frac{s_p}{v_p} + \frac{s_v}{v_v} \tag{2}$$

kde:

s_p [m] – vzdálenost přepravy prázdné palety na pásovém dopravníku

v_p [$m \cdot s^{-1}$] – rychlost přepravované prázdné palety na pásovém dopravníku

s_v [m] – vzdálenost přepravy prázdné palety na válečkovém dopravníku

v_v [$m \cdot s^{-1}$] – rychlost přepravované prázdné palety na válečkovém dopravníku

$$t_z = \frac{s_z}{v_z} \tag{3}$$

kde:

s_z [m] – vzdálenost přepravy zkompletované palety na válečkovém dopravníku

v_z [$m \cdot s^{-1}$] – rychlost přepravované zkompletované palety na válečkovém dopravníku

$$t_r = t_i + t_b + t_a \tag{4}$$

kde:

t_i [s] – časový interval před přeložením prázdné palety

t_b [s] – časový interval přeložení prázdné palety robotizovaným pracovištěm

t_a [s] – časový interval přeložení akumulátoru robotizovaným pracovištěm

Dosazením rovnic (2), (3) a (4) do rovnic (1) byla vytvořena následující rovnice (5):

$$t_e = \frac{s_p}{v_p} + \frac{s_v}{v_v} + \frac{s_z}{v_z} + t_i + t_b + t_a + t_d \tag{5}$$

Dosazením hodnot jednotlivých parametrů systému z Tab. 4 do rovnic (5) byl vyjádřen časový interval expedice materiálu ze systému:

$$t_e = \frac{4{,}375}{1} + \frac{42{,}55}{0{,}4} + \frac{46{,}525}{0{,}4} + 78 + 5{,}1669 + 6{,}0855 + 72{,}5$$

$$t_e = \mathbf{388{,}8149\ s}$$

Výsledná hodnota statického výpočtu byla převedena do shodného formátu, v jakém byla uvedena hodnota průchodnosti dosažená za využití simulačního experimentu. Obě tyto varianty zápisu časové intervalu přepravy materiálu ze systému byly, spolu s dvojím formátem výsledné hodnoty obdržené prostřednictvím simulačního softwaru, zaznamenány do Tab. 6.

Tab. 6 Výsledné hodnoty průchodností materiálu systémem [zdroj: vlastní]

Způsob dosažení průchodnosti [-]	Proměnná [-]	Časový interval přepravy materiálu ze systému [h:mm:ss.ssss]	Časový interval přepravy materiálu ze systému [s]
Statický výpočet	t_e	**6:28.8149**	**388,8149**
Simulační experiment	-	**6:28.9531**	**388,9531**

Z výsledků simulačního experimentu a statického výpočtu je patrné, že dosažené hodnoty časových intervalů průchodností materiálu logistickým řetězcem jsou rozdílné o 0,1382 sekundy. Statický propočet byl proveden exaktním způsobem za využití výpočetního softwaru. Na diferenci obou hodnot časových intervalů mohou mít vliv některé faktory při ověření. Hodnoty překládek akumulátorů a prázdných palet, která byly v rámci statického výpočtu využity, jsou simulačním softwarem zaokrouhleny na čtyři desetinná místa. Simulační experiment pro validaci nebyl ukončen při dosažení výstupu poslední dopravníkové pozice logistického řetězce. Jeho konec nastal až v momentě, kdy byla zkompletovaná paleta přijata navazujícím meziskladem montážní linky. V rámci statického výpočtu průchodnosti je tomuto jevu přiblíženo zahrnutím celé délky výstupní dopravníkové pozice logistického řetězce. Toto přiblížení však nemusí být dostatečné. Simulační model byl s ohledem na minimální odlišnost časových intervalů průchodností považován za validní.

Simulační model, na němž byl pro účely jeho validace proveden experiment, operoval s navrženou logikou řízení. Vzhledem k tomu, že byl softwarově vytvořený model před započetím tohoto ověření upraven, nebyla výsledná hodnota průchodnosti materiálu logistickým řetězcem volbou logiky řízení nikterak ovlivněna. Stejná hodnota průchodnosti by tak byla dosažena i v případě, kdy by do simulačního modelu byla implementována původní logika řízení.

2.4 SIMULAČNÍ EXPERIMENTY

Tato kapitola praktické části diplomové práce je zaměřena na možnost posouzení vlivů aplikovaných logik řízení na signifikantní charakteristiky materiálového toku logistického řetězce. Nejdůležitější proměnnou sledovanou během simulovaného období je celková průchodnost materiálu systémem. V rámci simulovaného období je požadavkem dosáhnout její maximální hodnoty. Takový stav by odpovídal nejvyššímu možnému počtu zkompletovaných palet přepravených do navazující oblasti průmyslového závodu. Za účelem dosažení těchto vypovídající signifikantních hodnot je využit soubor simulačních experimentů. Ten je definován ve formě matice experimentů, jejímž obsahem jsou simulační experimenty provedené na několik variant simulačních modelů. Jednotlivé varianty zahrnovaly veškeré oblasti logistického řetězce, které se plně či částečně a přímo či nepřímo podílejí na plnění funkce systému, tj. na zkompletování automobilových akumulátorů s přepravními paletami, a na jejich následné přepravě. Zároveň jsou dílčí varianty simulačních modelů vytvořeny s ohledem na zachování všech technických parametrů logistického řetězce uvedených v kapitole 2.1.2. Při příležitosti komplexního posouzení obou logik řízení je přikročeno k dílčím parametrizacím simulačního modelu, a to až do počtu 22 různých variant. Na jejich základě tak velkého množství variant je předpokládáno, že bude realizovatelné souhrnné zhodnocení výsledných hodnot průchodností v závislosti na parametrizaci simulačního modelu a aplikované logice řízení.

2.4.1 MATICE EXPERIMENTŮ

Matice experimentů je sestavena ze 44 jednotlivých simulačních experimentů. Každá varianta simulačních modelu je testována právě dvakrát, a to s využitím jak původní, tak i navržené logiky řízení. Nedochází tedy k nežádoucímu opakování simulačních běhů pro jednotlivé varianty, což by mělo přímý vliv na prodloužení jejich časové náročnosti. Pro odlišení jednotlivých variant simulačních modelů bylo přistoupeno k jejich abecednímu značení. Simulační experimenty jsou zaznamenány pod zkratkou „SE“ doplněnou o základní číslovku. Kompletní matice experimentů je spolu s výslednými hodnotami zaznamenána v Příloze 11.

Jednotlivé varianty simulačních modelů jsou tvořeny od té nejzákladnější verze, která vykazuje minimum aspektů ovlivňující produktivitu řešené výrobní oblasti průmyslového závodu. Ve variantách jsou postupně aplikovány technické parametry, které se negativně podílejí na výsledné hodnotě průchodnosti materiálu systémem. Mezi takové parametry lze například zahrnout aktivní směnový režim průmyslového závodu, poruchovost jednotlivých pracovišť nebo cyklicky se opakující výrobní program. Záměrem je postupné vymezení simulačního modelu až do momentu, kdy bude svými parametry do maximální možné míry reprezentovat řešený logistický řetězec.

Pro realizaci všech simulačních experimentů je definován přesný časový interval simulačního běhu. Jeho hodnota je stanovena na 32 dní. Volba horní hranice tohoto období je s ohledem na časovou náročnost simulačních experimentů. Zároveň je během tohoto intervalu dostatečný prostor pro demonstraci všech technických parametrů systému, které mají vliv na výslednou

hodnotu průchodnosti materiálu logistickým systémem. Z výsledků celkového simulovaného období jsou odstraněny statistické hodnoty průchodností pro první simulovaný den. Jsou tak eliminovány vlivy náběhů meziskladů připojených na výrobní linku automobilových akumulátorů. Na základě této restrikce jsou charakteristické hodnoty simulačních experimentů zaznamenávány při maximálním pracovním vytížení logistického systému. Délka simulovaného období tedy odpovídá maximálnímu počtu dní jednoho kalendářního měsíce.

VARIANTA A

První z pěti základních variant parametrizace simulačního modelu je vytvořena s minimálním ohledem na technické parametry modelu, které jsou spojené s provozem výrobní oblasti průmyslového závodu. Cílem jejího zavedení do simulačních experimentů je nastínění průchodnosti materiálu logistickým systémem bez vlivu jednotlivých poruchovostí pracovišť, u kterých jsou definovány případné intervaly oprav vzniklé existencí vlastních závad. Zároveň v simulačním modelu není zaveden směnový kalendář, z čehož plyne nepřetržitá pracovní činnost výrobní oblasti průmyslového závodu. Vstup materiálu do logistického řetězce nepodléhá výrobnímu programu. Výstupním stanicím výrobní linky je pouze přiřazena povinnost expedovat dva druhy akumulátorů v pravidelném opakování po jednom kuse. Na základě toho disponuje logistický řetězec oběma druhy materiálu a zároveň i operuje s dvojím typem přepravním palet.

VARIANTA B

Tato varianta simulačního modelu je opatřena výrobním program (viz Tab. 1). Jeho parametry jsou nahrány do výstupních stanic reprezentující výrobní linky akumulátorů. Cyklicky tak dodávají materiál v přesně stanovených dávkách. V případě dalších absencí výrobního programu v jednotlivých variantách simulačních modelů by řešená oblast průmyslového závodu nadále produkovala zkompletované palety, avšak výsledné hodnoty průchodností jednotlivých simulačních experimentů by nenabyly potřebou výpovědní hodnotu. Produkce zkompletovaných palet by totiž nedosahovala kýžené sekvence na výstupní části logistického řetězce. Jako přímý následek by připojená montážní linka ztratila schopnost plnit vlastní výrobní program, jenž je pro správnou funkci celého průmyslového závodu nutné dodržovat. Parametry výrobního programu navazujícího úseku jsou tak, obdobně jako parametry výrobního programu řešeného logistického řetězce, předem jasně definovány a jakékoli jejich narušení je považováno za nevyhovující.

VARIANTA C

V rámci této parametrizace simulačního modelu je vybraným objektům přiřazena poruchovost, jejíž hodnota je do softwaru zanesena procentuálním údajem využitelnosti. Spolu s tímto parametrem jsou definovány také časy potřebné k případným opravám jednotlivých pracovních stanic. Mezi takto nastavené pracoviště se řadí robotizované stanice překládky a výstupních stanice meziskladů výrobní linky. V momentě, kdy nastane porucha některého z uvedených pracovišť, je částečně omezena schopnost logistického řetězce kompletovat palety. Částečná ztráta principu funkce systému je ukončena v okamžiku dovršení opravy pracoviště dočasně vyřazeného z provozu. Po uplynutí časového intervalu opravy tak nastává obnovení funkce pracovní stanice a je možné nadále produkovat zkompletované palety v rámci celého výrobní oblasti.

VARIANTA D

Varianta simulačního modelu označovaná písmenem „D“ vychází, obdobně jako Varianta C, z pořadí druhé uvedené Varianty B. Rozdíl mezi parametrizacemi simulačních modelů je v rámci zavedení směnového kalendáře. Na základě jeho aplikace se pracovní doba dílčích prvků logistického řetězce během jednoho simulovaného dne snížila o celé tři hodiny. Pracovní přestávky, které jsou přiřazeny každé osmihodinové směně, mají tak přímý vliv na pokles hodnoty průchodnosti materiálu systémem. Během pracovní nečinnosti nejsou operace přeložení, které vykonávají robotizované stanice překládky, realizovány. Zároveň v rámci dílčích přerušení pracovních dob není dodáván materiál z meziskladů výrobní linky. Následkem uvedených stavů logistického řetězce vznikají prostoje v kompletaci automobilových akumulátorů na palety. Přímým následkem je snížení hodnoty signifikantní charakteristiky materiálového toku v logistickém řetězci, která udává průchodnost materiálu.

VARIANTA E

Poslední varianta simulačního modelu operuje s výrobním programem, směnovým kalendářem i s poruchovostí vybraných pracovišť. Takto nastavený simulační model **maximálně reprezentuje logistický řetězec** řešené výrobní oblasti průmyslového závodu. Z tohoto důvodu je právě tato varianta parametrizace simulačního modelu považována za **ideální**.

Všechny ostatní vytvořené varianty jsou odvozeny právě z ideálně nastaveného simulačního modelu. V rámci jejich struktur jsou aktivní směnové režimy i poruchovost prvků logistického řetězce. Pro vybrané varianty parametrizací softwarově vytvořených modelů jsou výrobní programy upraveny a nahrány do objektů reprezentujících výstupy výrobní linky. V zásadě jsou vytvořeny tři alternativy výrobního programu. V rámci první z nich je do logistického řetězce dopravován materiál na základě Tab. 1. Pro další dvě alternativy systém přijímá pouze akumulátory A, resp. B. Vzhledem k tomu, že je simulační model řešené výrobní oblasti průmyslového závodu vytvořen s ohledem na eventuální odstavení jednotlivých sekcí z činnosti, je v rámci parametrizací jeho dílčích variant nastíněna možnost simulovat právě tento stav systému. Vybrané simulační experimenty jsou tak aplikovány na modely, jejichž úsek logistického řetězce, který zabezpečuje překládku materiálu na prázdné palety, je tvořen pouze sekcí 1S/1P, resp. 2S/2P-B. Prostřednictvím těchto pracovních restrikcí systému je možné simulovat výpadek činnosti u dané sekce systému a testovat tak logistický řetězec, který nevykonává vlastní princip funkce v maximální možné míře. Dalším rozšířením parametrizace oproti ideální Variantě E je zprostředkování dodávky stohů o různých počtech stohovaných palet. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.3.3., zásluhou aplikace navržené logiky řízení je první systémovou sekcí logistického řetězce s označením „0S/0P“ možné přijímat stohy o různých velikostech. S ohledem na proporční charakteristiky systému a jednotlivé činnosti prvků logistického řetězce je stanovena horní hranice deseti kusů, kterou stohované palety z externího skladu palet nesmějí přesáhnout. Simulačnímu modelu je tak upraven generátor náhodných čísel, se kterým operuje pracovní stanice zastupující externí sklad palet. Generátoru je upraven rozsah číslic, které může nahodile vytvářet a na základě kterých je daným stohům určen počet obsažených palet.

2.4.2 VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

Výsledné hodnoty průchodností jednotlivých simulačních experimentů, které prováděly testování o délce simulačního běhu 32 dní, jsou uvedeny v předposledním sloupci matice experimentů. Hodnoty jejich výsledných průchodností jsou v posledním sloupci přepočteny na jejich týdenní ekvivalenty. Pro celkovou přehlednost matice experimentů jsou uvedeny jak

označení jednotlivých simulačních experimentů, tak i názvy variant simulačních modelů spolu s vyznačením aplikované parametrizace. Tučným písmem jsou v matici experimentů zvýrazněny řádky 10 a 11, na kterých jsou zaznamenány údaje o provedeném experimentu na ideálně parametrizovaný simulační model.

2.5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Z výsledků simulační experimentů pro Variantu A je patrné, že během simulovaného období nevznikají časová prostoje v rámci kompletace materiálu na odpovídající přepravní prostředky. Na základě tohoto faktu je prostřednictvím simulačních experimentů SE 1 i SE 2 dosahováno maximální možné průchodnosti materiálu systémem, jejíž hodnota se zastavila na množství 67913 kusů zkompletovaných palet. Obě aplikované logiky řízení jsou tak schopné dodávat dostatečné množství prázdných přepravních prostředků do sekcí, v nichž je vykonávána překládka automobilových akumulátorů na palety.

Důsledkem aplikace navržené logiky řízení je dosažena maximální průchodnost materiálu výrobní oblastí i během simulace Varianty B, kdy dodávka prázdných palet do logistického řetězce pružně reagovala na definovaný výrobní program. Původní logika řízení již nebyla schopna zajistit dostatečnou dodávku palet do jednotlivých sekcí systému. Úsek logistického řetězce vykazující nedostatek prázdných palet tak nemohl realizovat nezbytnou činnost přeložení akumulátorů, tudíž vznikaly prostoje jak během překládek materiálu na palety, tak v rámci následné přepravy zkompletovaných palet do navazující oblasti průmyslového závodu. Jak dokazují výsledky SE 3, hodnota průchodnosti materiálu systémem v rámci této parametrizace klesla (oproti maximální dosažitelné hodnotě) o celých 75 kusů.

V průběhu simulačních experimentů SE 5 a SE 6, kdy byla testována Varianta C, nastal pokles hodnoty signifikantní charakteristiky materiálového toku. Důvodem byly nepravidelné výpadky schopnosti systému realizovat přeložení akumulátorů na přepravní prostředky. Robotizované stanice překládky nemohly vykonávat z důvodu nastalých poruch činnost přeložení. K nutným opravám se pojily několikaminutové intervaly, během nichž nebylo možné uvést stanice do činnosti. Snížení průchodností oproti jejím maximálním dosaženým hodnotám byl v řádu stovek. Konkrétně se při aplikaci původní logiky řízení její hodnota snížila o 523 kusů. S působením navržené logiky řízení byl nastalý pokles menší, kdy se celková produkce systému snížila o 474 zkompletovaných palet.

Variantou D je simulačním experimentem posouzen vliv aplikace aktivního směnového kalendáře na hodnotu signifikantní charakteristiky materiálového toku. Vzhledem k pracovním přestávkám nebylo v průběhu simulačního běhu možné jejich pracovní činnosti, tj. manipulaci s objekty v rámci logistického řetězce, provádět až po dobu 93 hodin. Tento fakt se očekávaně podepsal na úbytku produkce řešené výrobní oblasti. Směnový režim spolu s aplikovanou původní logikou řízení vykazoval ztrátu celých 5 191 kusů. Se záměnou logiky řízení na navrženou alternativu bylo za přispění směnového režimu opět docíleno menšího snížení hodnoty průchodnosti, a to konkrétně o 5073 kusů zkompletovaných palet. Oba zmíněné rozdíly hodnot signifikantních charakteristik materiálového toku jsou vztaženy k jejich maximálně dosažitelné hodnotě.

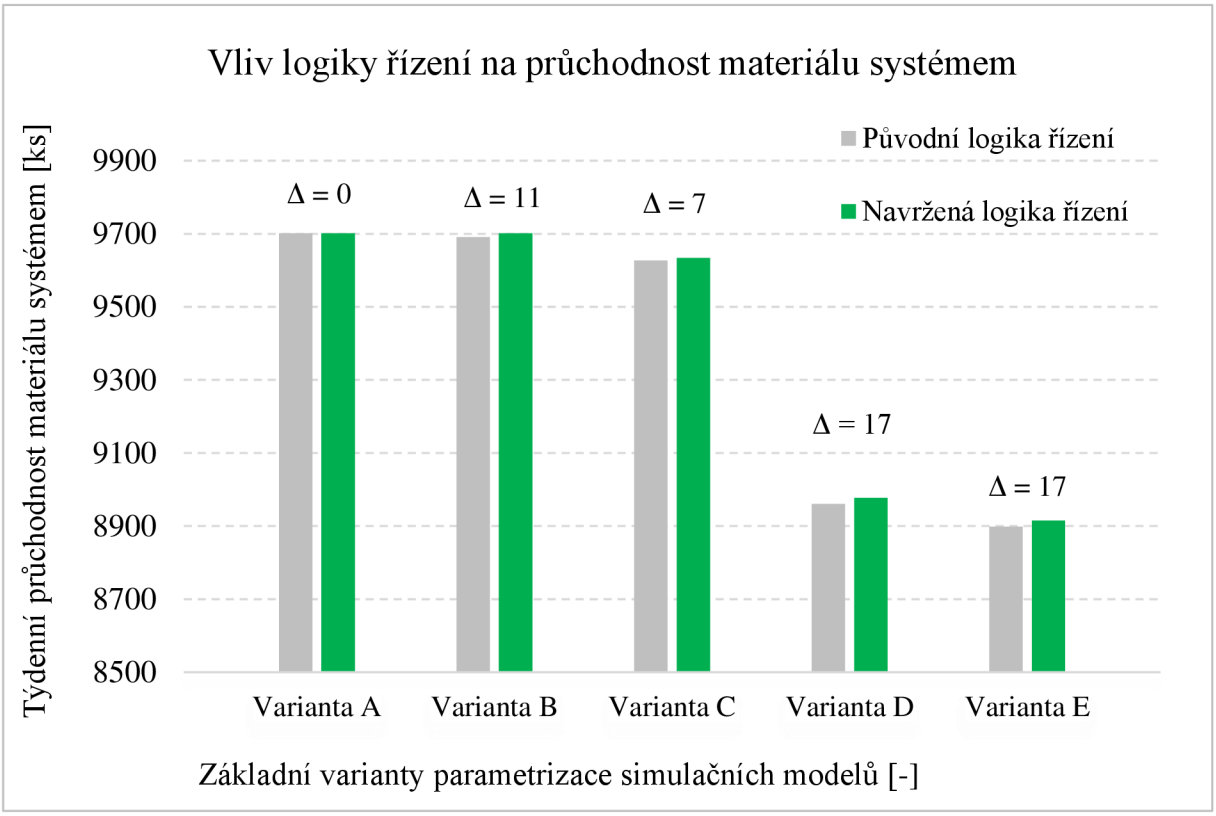
Pro posouzení vlivů aplikovaných logik řízení na celkovou průchodnost materiálu systémem je stěžejní dvojice simulačních experimentů pod označením SE 9 a SE 10. Varianta E simulačního modelu je vytvořena se snahou o co nejbližší přiblížení řešeného logistického řetězce, který operuje se všemi podstatnými technickými parametry ovlivňující jeho výslednou hodnotu

produkce. Jelikož je v rámci této parametrizace simulačního modelu využito jak poruchovosti vybraných pracovišť, tak i směnového režimu průmyslového závodu, lze předpokládat, že výsledky obou simulačních experimentů budou vykazovat nižší hodnoty průchodností, než tomu bylo u dříve provedených simulačních experimentů. Navržená logika řízení v simulačním experimentu SE 10 opět vykazuje vyšší průchodnost materiálu systémem, než je tomu při implementaci logiky původní. Rozdílným způsobem řízení materiálového toku v rámci logistického řetězce je docíleno zvýšení průchodnosti o 119 kusů.

Tab. 7 Výsledné hodnoty průchodností základních variant simulačních experimentů [zdroj: vlastní]

Logika řízení [-]	Týdenní průchodnost materiálu logistickým systémem [ks]				
Původní	9702	9691	9627	8960	**8898**
Navržená	9702	9702	9634	8977	**8915**
	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D	**Varianta E**

V Tab. 7 jsou zaznamenány průchodnosti základních variant simulačních modelů, na které jsou aplikovány obě verze logiky řízení materiálového toku. Výsledné hodnoty simulačních experimentů jsou převzaty z Přílohy 11. Právě v posledním sloupci matice experimentů jsou zaznamenány číselné údaje průchodností, který jsou vztaženy na simulační běh jednoho kalendářního týdne. Volba tohoto kratšího časového úsek je za účelem lepší prezentace jednotlivých vlivů aplikovaných logik řízení. Takto upravené hodnoty signifikantní charakteristiky materiálového toku jsou zaneseny do grafické závislosti na Obr. 18. Pro jednotlivé varianty parametrizací simulačních modelů nejsou uvedeny hodnoty jejich průchodností, ale řeckým písmenem Δ je u každé varianty stanoven rozdílný počet kusů týdenní produkce, o který byla průchodnost modelu s původní logikou řízení navýšena v porovnání s modelem, ve kterém byla aplikována navržená logika řízení materiálového toku.



Obr. 18 Týdenní průchodnost materiálu logistickým systémem – základní varianty [zdroj: vlastní]

Jak přibližuje Obr. 18, hodnoty signifikantních charakteristik materiálového toku očekávaně klesaly s počtem aplikovaných technických parametrů na systém. Pro všechny základní varianty parametrizací simulačních modelů byla aplikovaná navržená logika řízení, v porovnání s působením původní metody řízení materiálového toku, prokazatelně vhodnější.

Během simulačních experimentu SE 10 byly také zaznamenávány celkové počty provedených odvolávek, tj. počty dodaných stohů palet. Množství expedovaných objektů z externího skladu se lišilo v závislosti na typu stohovaných přepravních prostředků. Prodloužených palet bylo logistickým řetězcem přijato 5810, kdežto stohů obsahujících standardní palety bylo akceptováno o 27 více. Diference v obou hodnotách byla zapříčiněna právě probíhajícím plněním výrobního programu. S koncem simulačního běhu nebyl dovršen celý cyklus výrobního programu, který by tak zaručoval zkompletování stejného počtu prodloužených a standardních palet. Dalším důvodem vzájemné nerovnosti hodnot popisujících uskutečněné odvolávky je existence dvou připojených výstupních stanic výrobní linky. Jejich prostřednictvím je do řešeného výrobní oblasti průmyslového závodu realizována dodávka akumulátorů, která se odvíjí od vlastních výrobních programů. Vlivem rozdílných taktů výstupních stanic výrobní linky, a tím pádem i rozdílných časových intervalů náběhů meziskladů na nich připojených, pracují robotizované stanice přeložení akumulátorů na prázdné palety nesouhlasně. Pravděpodobnost, že by obě překladové stanice dovršily zpracování posledního akumulátoru v cyklu výrobního programu současně a ve stejný moment by byl ukončen simulační experiment, je minimální. V rámci simulovaného období je tedy velmi obtížné dosáhnout shodného počtu expedovaných stohovaných palet obou typů.

Testování simulačního modelu s označením Varianta F, resp. Varianta G, kdy je ideálně nastavenému modelu upraven výrobní program takový způsobem, že logistický řetězec operuje pouze s akumulátory A, resp. B, opět prokázalo vhodnost navržené logiky řízení materiálového toku. Způsob navrženého rozřazování prázdných palet do logistického řetězce je sofistikovanější a dokáže tak lépe zásobit jednotlivé sekce potřebnými prázdnými paletami. Celková průchodnost materiálu systémem i přes tuto skutečnost vykazuje oproti Variantě E pokles. Její hodnoty jsou však při aplikaci navržené logiky řízení vždy vyšší, než je tomu v modelech s původním způsobem řízení materiálového toku. Snížení hodnot signifikantní charakteristiky materiálového toku je způsobeno nedostatečnou dopravou prázdných palet k robotizovaným stanicím překládky. Obě logiky řízení nejsou schopny ideálně dodávat požadované množství přepravních prostředků. Důvodem je stále obsazený mechanismus v sekci 0S/0P, který vykonává rozdělení stohů na dvojice palet, příp. jednotlivé palety. Vzhledem k jeho vysokému vytížení se tvoří fronta stohovaných palet, jejichž zpracování je klíčové pro následující přepravu do daných sekcí systému. Stejné závěry lze vyvodit z výsledků simulačních experimentů Varianty O a P. V rámci těchto parametrizací simulačních modelů byla navíc změněna také expedice stohů z externího skladu palet. Prázdné palety jsou do systému vysílány až v počtu deseti kusů v jednom stohu.

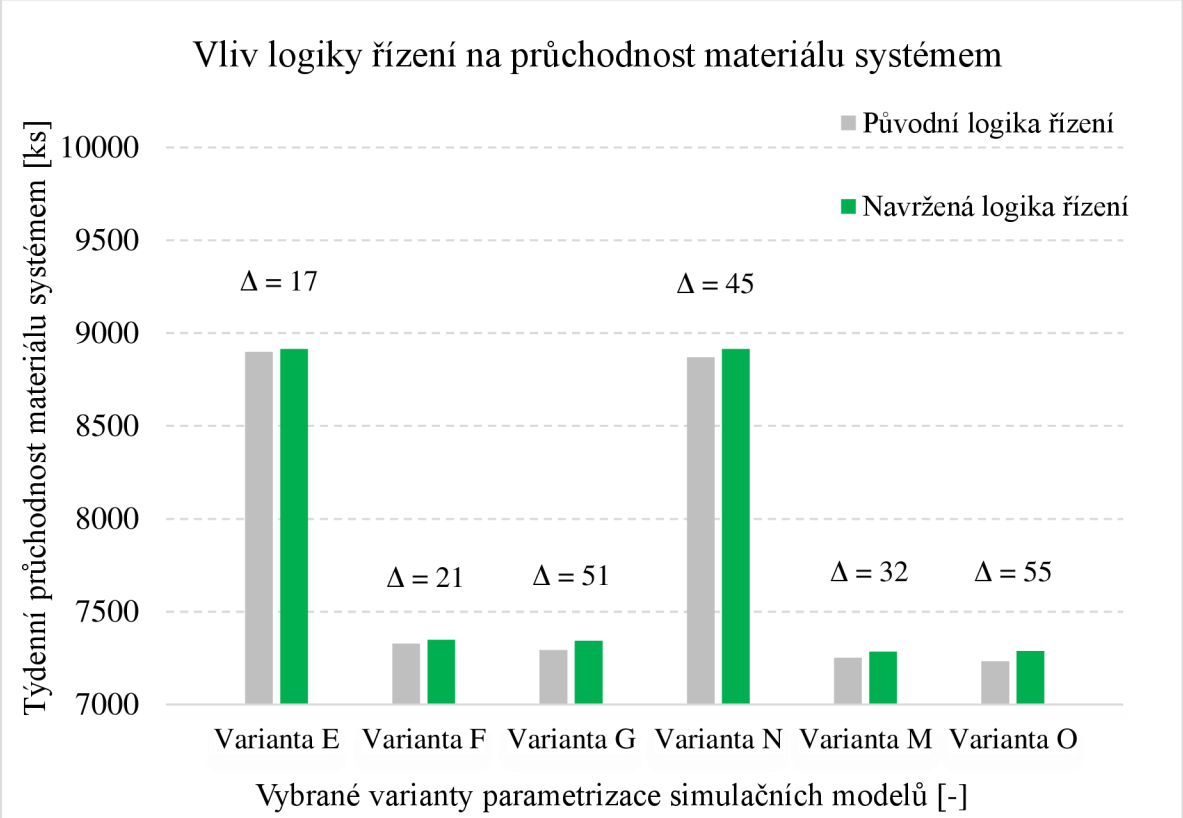
Možnost přijímat libovolně velké stohy z externího skladu palet vykazuje také parametrizace simulačního modelu pod označením Varianta N, která je ve všech ostatních ohledech obdobou Varianty E. V rámci simulačních experimentů modelu s aplikací navržené logiky řízení nedošlo ke změně hodnot průchodností materiálu výrobní oblastí. Při aplikaci původní logiky řízení došlo v rámci dodávky libovolně velkých stohů do systému k poklesu výsledné průchodnosti materiálu systémem. Systémem přijaté stohované palety o malém počtu kusů způsobují nedostatečné doskladnění prázdných palet do sekcí a zároveň dočasně blokují mechanismus rozdělení v první sekci logistického řetězce. Vznikají tak časové prostoje v rámci potřebného vyslání stohovaných palet ze sekce 0S/0P, což má za následek nečinnost robotizovaných pracovišť překládky, a tedy i pokles hodnoty průchodnosti.

Výše popsané výsledky simulačních experimentů modelů, jejichž parametrizace vychází z Varianty E, jsou uvedeny v Tab. 8. Na jejich základě je také vytvořena grafická závislost (viz

Obr. 19) vybraných variant parametrizací modelů na týdenní průchodnosti materiálu výrobní oblastí průmyslového závodu.

Tab. 8 Výsledné hodnoty průchodností vybraných simulačních experimentů [zdroj: vlastní]

Logika řízení [-]	Týdenní průchodnost materiálu logistickým systémem [ks]					
Původní	**8898**	7327	7292	8870	7252	7232
Navržená	**8915**	7348	7343	8915	7284	7287
	Varianta E	Varianta F	Varianta G	Varianta N	Varianta O	Varianta P



Obr. 19 Týdenní průchodnost materiálu logistickým systémem – vybrané varianty [zdroj: vlastní]

Pro simulační experimenty SE 15 – SE 20, je, obdobně jako pro simulační experimenty SE 33 – SE 38, omezen provoz robotizovaných stanic překládky pouze na jedno funkční pracoviště v sekci 2S/2P-B. Na celkové průchodnosti materiálu logistickým řetězcem vznikají nevratné ztráty v řádech desetitisíců zkompletovaných palet. Ty jsou způsobeny prostým faktem, jenž poukazuje na aktivní pracovní činnost pouze poloviny logistického řetězce. Avšak jednotlivé hodnoty průchodností těchto simulačních experimentů nedosahují ani polovičních hodnot produkcí Varianty E. Tento výrazný pokles je také zapříčiněn umístěním činné sekce 2S/2P-B, ke které jsou připojena dopravníková propojení, jejichž vzdálenost musejí překonávat prázdné i zkompletované palety. Obě logiky řízení dodávají prázdné palety v takové míře, že nevznikají nežádoucí prostoje v pracovní činnosti robotizovaného pracoviště. I z toho důvodu jsou hodnoty průchodností velice podobné. Liší se nahodile pouze o jeden kus zkompletované palety. Tento rozdíl je ovšem vzhledem k délce simulovaného období bezvýznamný. Při bližším zkoumání dílčích simulačních experimentů bylo zjištěno, že daná chybějící paleta, jejíž

přeprava nebyla do navazující oblasti průmyslového závodu dokončena, je pouze několik málo dopravníkových pozic před výstupem z logistického řetězce.

Zbylými simulačními experimenty je ověřována hodnota signifikantní charakteristiky materiálového toku logistického řetězce pro odstavenou sekci 2S/2P-B od činnosti. Z dispozice systému je patrné, že sekce 1S/1P, která v této parametrizaci jako jediná vykonává činnost přeložení akumulátorů na palety, je s původní sekcí 0S/0P propojena výrazně kratším dopravníkovým propojením. Hodnoty průchodností jsou oproti jejím maximům opět výrazně nižší. Příčinou je využití logistického řetězce pouze do jeho poloviční kapacity. Vyšší hodnoty průchodností u modelů s aplikovanou původní logikou řízení způsobuje vlastní zásoba palet v první sekci systému. Palety tak při vlastní přepravě do sekce 1S/1P překonávají kratší vzdálenost dopravníkového propojení, což má přímý vliv na časový interval jejich přepravy. Robotizovaná stanice překládky vykazuje nižší vzniklé časové prostoje a systém tak do navazující montážní linky dodává větší počet zkompletovaných palet.

2.5.1 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH ZMĚN

Navržená logika řízení vykazuje, oproti původně aplikované logice řízení, vyšší hodnoty signifikantních charakteristik materiálových toků, a to pro všechny varianty simulačních modelů, které mohou během měsíčního provozu reálně nastat. Za reálnou tak není považována situaci, kdy by došlo vlivem poruchy k odstávce sekce 1S/1B či 2S/2P-B po celou dobu simulovaného období.

Mezi největší benefit v rámci aplikace navržené logiky lze zařadit eliminaci vázaných nákladů spojených se zásobou přepravních palet v sekci 0S/0P. Logistický řetězec je s ohledem na aktuální stav systému schopen přijímat palety přímo z externího skladu palet, tudíž není vyžadována zásoba přepravních prostředků v jeho první sekci. Na základě toho není vyžadováno, aby řešená výrobní oblast průmyslového závodu disponovala vyšším množstvím palet, než je nezbytně nutné. Je tak ušetřeno až 50 kusů přepravních prostředků jednoho druhu. Ty mohou v rámci průmyslového závodu najít vícero uplatnění. Je možné jejich využití v jiné oblasti průmyslového závodu nebo mohou být uschovány jako rezervní zásoba přepravních prostředků pro využití v budoucnu. Jejich následné uplatnění by mohlo nastat při dílčích rozšíření průmyslového závodu, kdy by byla realizována výstavba dalších jeho oblastí. Průmyslový závod by případně nemusel přepravní prostředky pořizovat a bylo by tak ušetřeno nákladů spojených s jejich nákupem.

Z provedených simulačních experimentů lze posoudit, že navržená logika řízení vykazuje vhodnost aplikace na řešenou výrobní oblast průmyslového závodu. Signifikantní charakteristiky materiálového toku dosahují za využití navržené logiky řízení vyšších hodnot i s ohledem na neměnnou technologii jednotlivých prvků logistického řetězce. Nebyly tak upravovány jednotlivé takty pracovních stanic ani jejich další technické parametry. Dokonce nebylo přistoupeno k navýšení jejich počtu nebo změně jejich rozmístění v rámci systému. Pouze byla změněna metoda řízení materiálového toku.

ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce se zaměřila na stěžejní pojmy týkající se logistiky a simulace. Se záměrem o správnou aplikaci odborných výrazů v průběhu celé práce byly zaneseny definice pojmů logistika, logistický řetězec, materiálový a informační tok, simulační model, verifikace nebo validace. Byla zavedena definice pojmu metodika simulačního modelování, jíž bylo využito v rámci tvorby simulačního modelu. Za pomocí využití dalších odborných termínu bylo možné v navazujících kapitolách práce popsat principy činností jednotlivých sekcí logistického řetězce.

V rámci praktické části byla definována charakteristika logistického systému. Byly popsány veškeré technické parametry, které měly přímý vliv na činnost prvků logistického řetězce. Prostřednictvím systémové analýzy byla výrobní oblast průmyslového závodu pomyslně rozčleněna na několik dílčích sekcí. Toto členění bylo realizováno za účelem názorného popisu, jak funkcí jednotlivých úseků systému, tak i celkového principu řízení materiálového toku. Na jeho základě byl formou blokového schématu vytvořen pojmový model, který přesně popisoval původní logiku řízení materiálového toku v rámci logistického řetězce.

S využitím simulačního softwaru byl vytvořen model výrobní oblasti průmyslového závodu, v kterého byl kladen důraz na co nejpřesnější tvorbu logistického řetězce tak, aby se model do maximální možné míry přiblížil řešené systému. K co nejbližšímu přiblížení byly využity definované technické parametry, které se podílely na vymezení materiálového toku v rámci logistického řetězce. Simulační model bylo nutné ověřit pomocí verifikace a validace. Navržená logika řízení aplikovaná v simulačním modelu byla, na základě porovnání s vytvořeným blokovým schématem, shledána za odpovídající. Hodnota průchodnosti materiálu logistickým řetězcem získaná z výsledků statických výpočtů i ze simulačního experimentu byla shodná. Tím došlo k ověření, že zhotovený simulační model v dostatečné míře odpovídal řešené výrobní oblasti.

Poslední etapou praktické části diplomové práce bylo posouzení vlivu navržené logiky řízení na hodnotu signifikantní charakteristiky materiálového toku logistického řetězce. Pro účely vyhodnocení byla využita hodnota průchodnosti materiálu logistickým řetězcem. Pro komplexní posouzení vlivu aplikované logiky řízení na tuto hodnotu byla vytvořena matice experimentů. V jejím rámci byly testovány různé varianty parametrizace simulačních modelů. Z výsledků simulačních experimentů bylo patrné, že nově aplikovaná logika řízení vykazovala oproti původní logice řízení vyšší hodnoty průchodnosti. Při bližším pozorování průběhů simulací bylo zřejmé, jakou příčinnou byl tento jev zapříčiněn. Během simulačního běhu nedocházelo k časovým prostojům překládky materiálu na přepravní prostředky. Simulační model s navrženou logikou řízení tedy po interval simulačního běhu zajistil dostatečnou dodávku prázdných palet do jednotlivých sekcí logistického systému. Vzhledem k výsledkům matice experimentů byla aplikace navržené logiky řízení materiálového toku posouzena jako vyhovující.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] PERNICA, Petr. *Logistický management. Teorie a podniková praxe*. 1. vyd. Praha: RADIX, 1998, 660 s. ISBN 80-86031-13-6

[2] GROS, Ivan. *Velká kniha logistiky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016, 507 s. ISBN 978-80-7080-952-5

[3] SIXTA, Josef a Václav MAČÁT. *Logistika: teorie a praxe*. Brno: CP Books, 2005, 315 s. ISBN 80-251-0573-3

[4] MACUROVÁ, Pavla, Naděžda KLABUSAYOVÁ a Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. *Logistika I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, Ekonomická fakulta, 2007. ISBN 978-80-248-1419-3

[5] DANĚK, Jan a Miroslav PLEVNÝ. *Výrobní a logistické systémy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005, 212 s. ISBN 80-7043-416-3

[6] VARJAN, Matúš. *Simulační verifikace komplexního technologického projektu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 187 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

[7] JUROVÁ, Marie, Vysoké učení technické v Brně a Nottingham Business School. *Logistika*. Brno: Zdeněk Novotný, 2004. ISBN 80-7355-010-5

[8] BESTA, Petr a Stanislav PTÁČEK. *Průmyslová logistika*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2009. ISBN 978-80-248-1993-8

[9] PERNICA, Petr a Jörg Horst MOSOLF. *Partnership in logistics*. Prague: Radix, 2000. ISBN 80-86031-24-1

[10] ŠTOČEK, Jiří. *Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě*. Brno: Vysoké učení technické. ISBN 80-214-2885-6. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav dopravní techniky, 2004. 114 s. Vedoucí práce doc. Ing. Břetislav Mynář, CSc.

[11] HLOSKA, Jiří. *Optimalizace materiálového toku v hromadné výrobě simulačními metodami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 144 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

[12] BANGSOW, Steffen. *Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions*. Berlin: Springer, 2010. ISBN 978-3-642-05073-2

[13] SLÍVA, Aleš. *Základy logistiky*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0678-9

[14] ŠTŮSEK, Jaromír. *Řízení provozu v logistických řetězcích*. V Praze: C.H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-534-6

[15] JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9

[16] PERNICA, Petr. Logistika pro 21. století: (Supply chain management). Praha: Radix, 2005. ISBN 80-86031-59-4

[17] SCHULTE, Christof. Logistika. Praha: Victoria Publishing, 1994. ISBN 80-85605-87-2

[18] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4486-5

[19] MICHALKO, Milan a Ladislav HÁDEK. Řízení výroby a logistika. Ostrava: Vysoká škola podnikání v Ostravě, 2007. ISBN 978-80-86764-68-9

[20] ŘEZÁČ, Miloslav a Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Dopravní inženýrství: kurz zajišťuje Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-730-7

[21] BANKS, Jerry. Discrete-event system simulation. 5th ed., International version. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, 2010. ISBN 978-013-8150-372

[22] *Automa: odborný časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC public, 2007, 13(5). ISSN 1210-9592. Dostupné také z: https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:34a89bf0-d625-11e9-b075-5ef3fc9bb22f

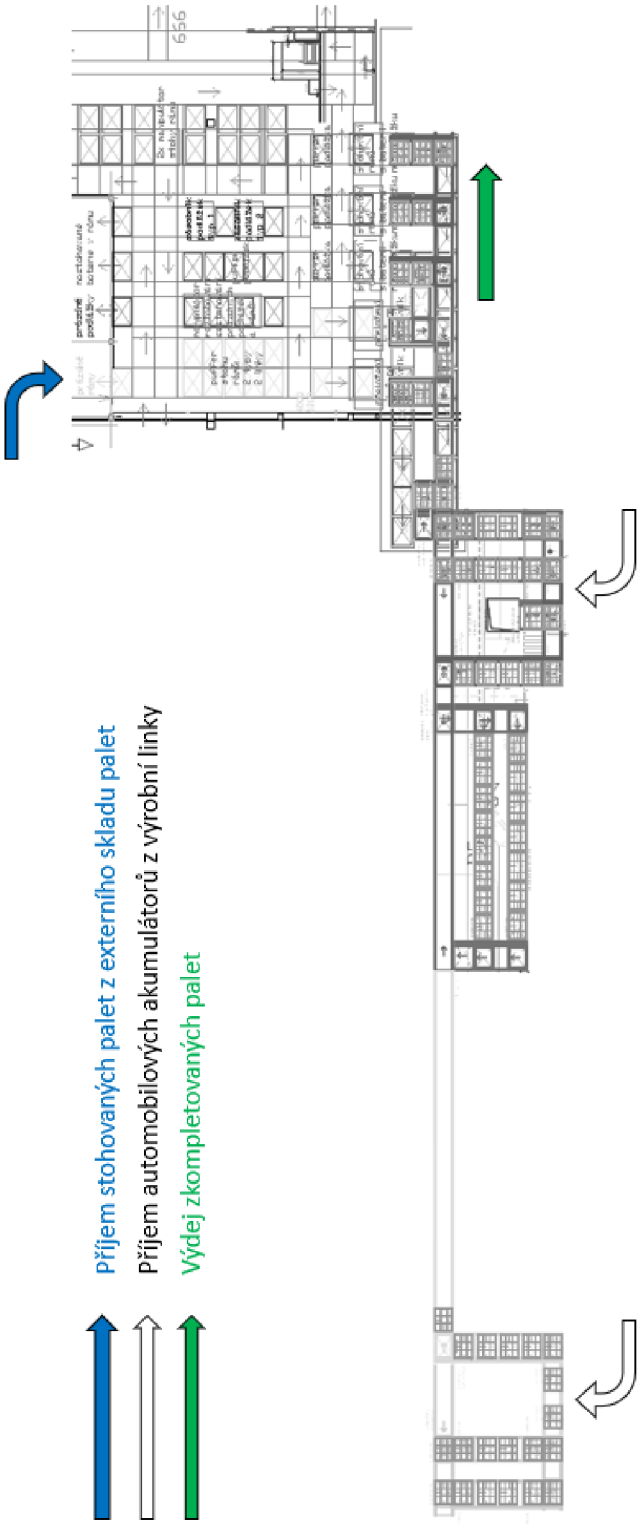
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Akum_A	[-]	Automobilový akumulátor s označením A
Akum_B	[-]	Automobilový akumulátor s označením B
PLM	[-]	Správa životního cyklu výrobku (z anglického *„Product lifecycle management“*)
JIS	[-]	Just in time
JIT	[-]	Just in sequence
s_p	[m]	Vzdálenost přepravy prázdné palety na pásovém dopravníku
s_v	[m]	Vzdálenost přepravy prázdné palety na válečkovém dopravníku
s_z	[m]	Vzdálenost přepravy zkompletované palety na válečkovém dopravníku
SE	[-]	Simulační experiment
t_a	[s]	Časový interval přeložení akumulátoru robotizovaným pracovištěm
t_b	[s]	Časový interval přeložení prázdné palety robotizovaným pracovištěm
t_d	[s]	Časový interval doprovodných úkonů manipulace
t_e	[s]	Časový interval expedice materiálu ze systému
t_p	[s]	Časový interval přepravy prázdné palety
t_r	[s]	Časový interval překládky robotizovaným pracovištěm
t_z	[s]	Časový interval přepravy zkompletované palety
v_p	[$m \cdot s^{-1}$]	Rychlost přepravované prázdné palety na pásovém dopravníku
v_v	[$m \cdot s^{-1}$]	Rychlost přepravované prázdné palety na válečkovém dopravníku
v_z	[$m \cdot s^{-1}$]	Rychlost přepravované zkompletované palety na válečkovém dopravníku
Δ	[ks]	Rozdíl průchodností v rámci simulačních experimentů
0S/0P	[-]	Systémová sekce 0S/0P
1*S/1P*	[-]	Systémová sekce 1S/1P
2S/2P-A	[-]	Systémová sekce 2S/2P-A
2S/2P-N	[-]	Systémová sekce 2S/2P-B

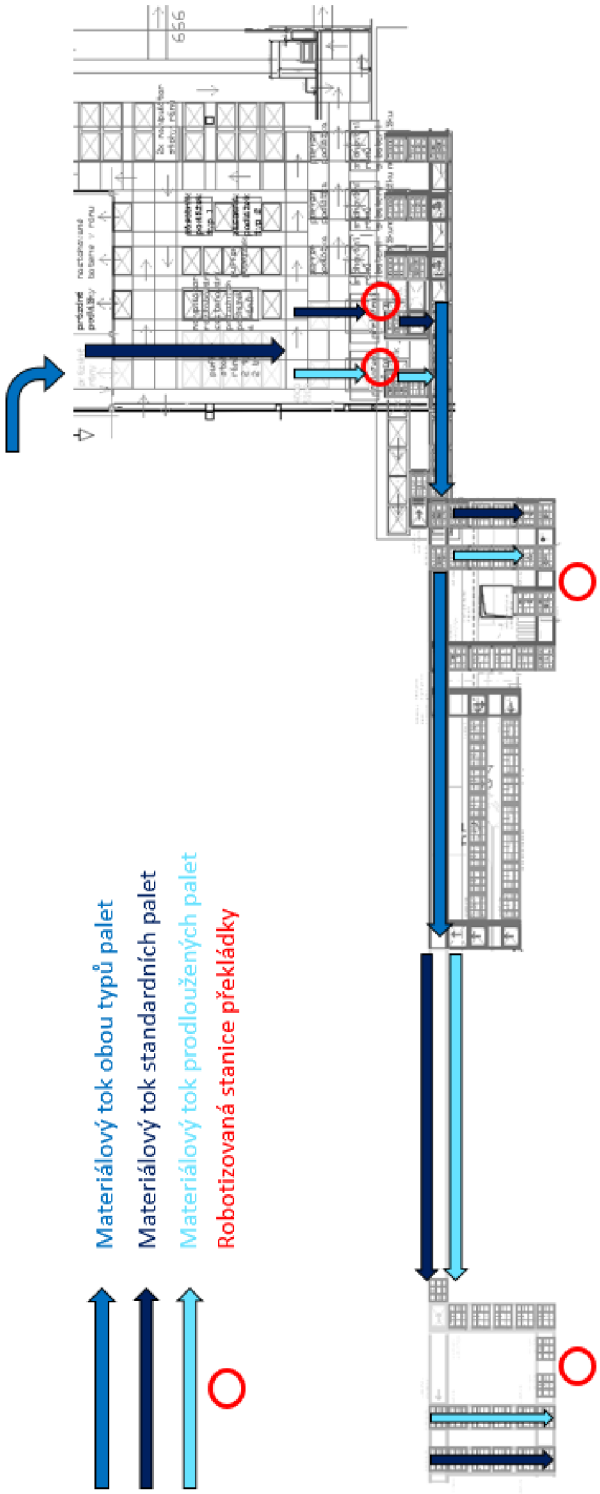
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Vstupy a výstupy logistického řetězce [zdroj: vlastní] I
Příloha 2: Materiálový tok prázdných palet [zdroj: vlastní] II
Příloha 3: Materiálový tok zkompletovaných palet [zdroj: vlastní] III
Příloha 4: Zavedené sekce logistického řetězce [zdroj: vlastní] IV
Příloha 5: Blokové schéma původní logiky řízení [zdroj: vlastní] V
Příloha 6: Projektový návrh dispozice výrobní oblasti závodu [zdroj: vlastní] VI
Příloha 7: 3D model logistického řetězce [zdroj: vlastní] VII
Příloha 8: Blokové schéma navržené logiky řízení [zdroj: vlastní] VIII
Příloha 9: Struktura centrální řídící metody simulačního modelu [zdroj: vlastní] IX
Příloha 10: Evidenční body řídící metody [zdroj: vlastní] X
Příloha 11: Matice simulačních experimentů [zdroj: vlastní] XI

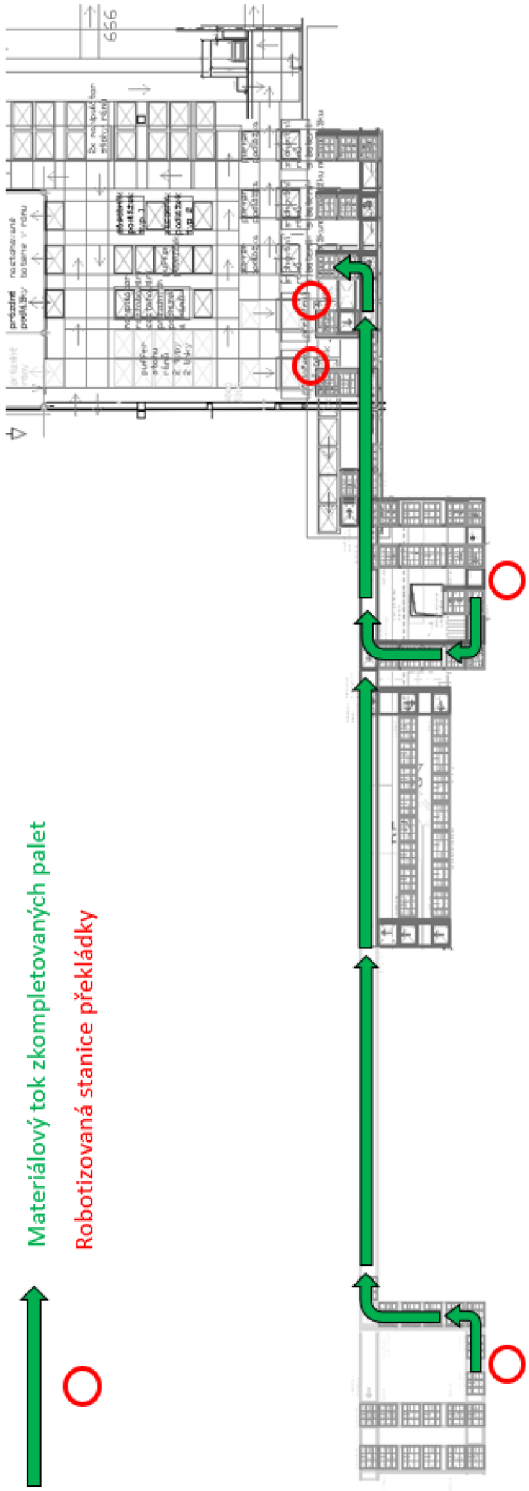
Příloha 1: Vstupy a výstupy logistického řetězce [zdroj: vlastní]



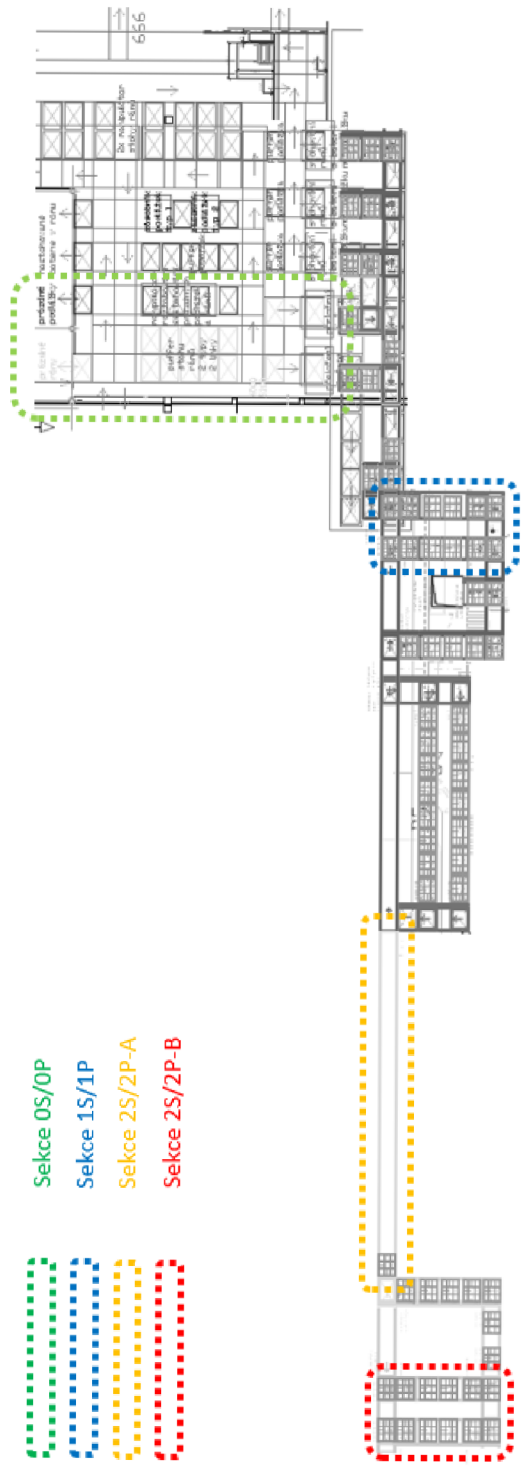
Příloha 2: Materiálový tok prázdných palet [zdroj: vlastní]



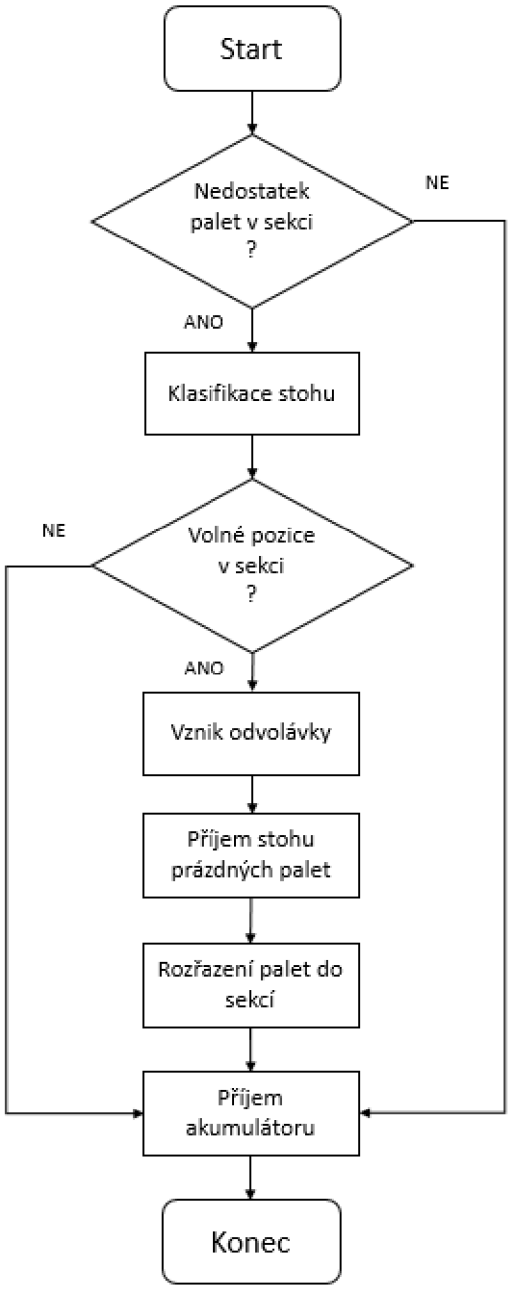
Příloha 3: Materiálový tok zkompletovaných palet [zdroj: vlastní]



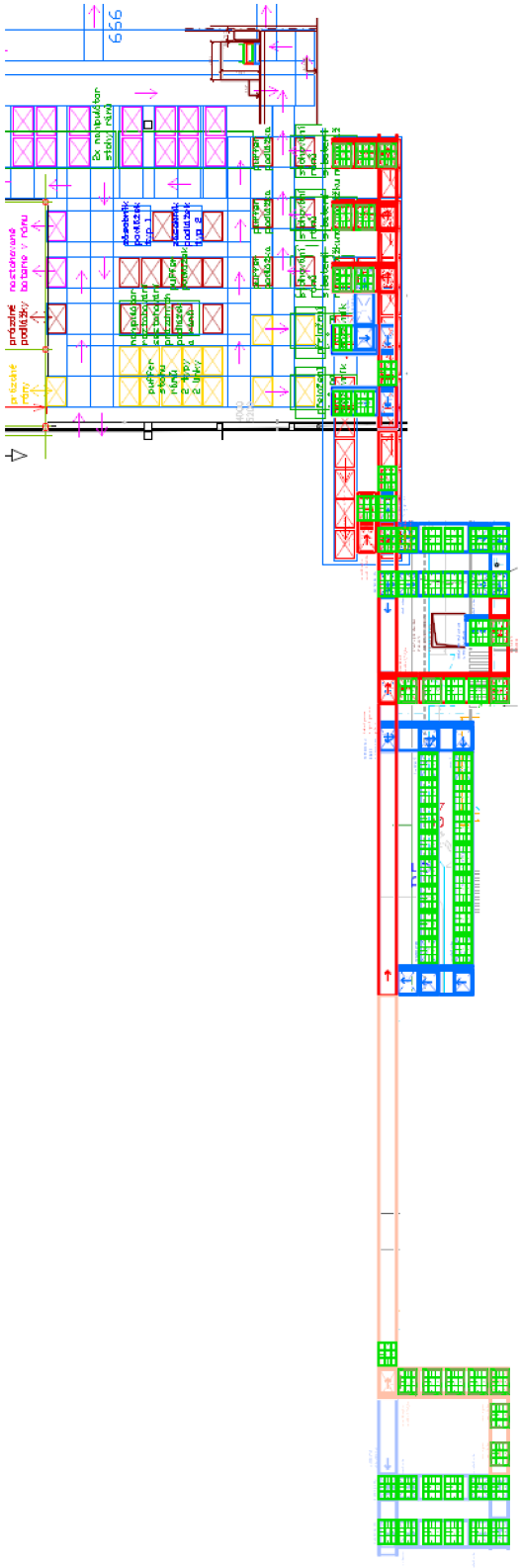
Příloha 4: Zavedené sekce logistického řetězce [zdroj: vlastní]



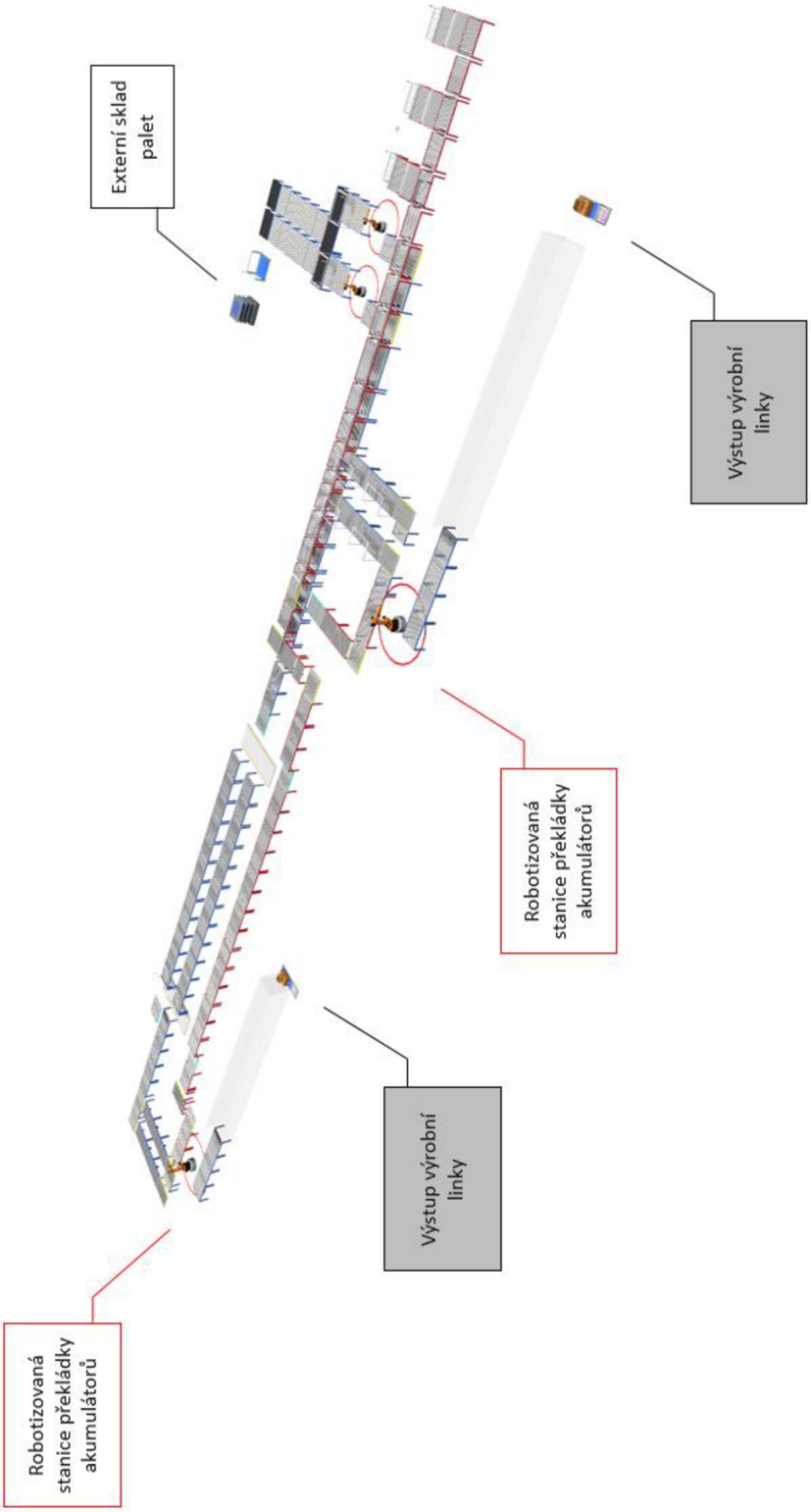
Příloha 5: Blokové schéma původní logiky řízení [zdroj: vlastní]



Příloha 6: Projektový návrh dispozice výrobní oblasti závodu [zdroj: vlastní]

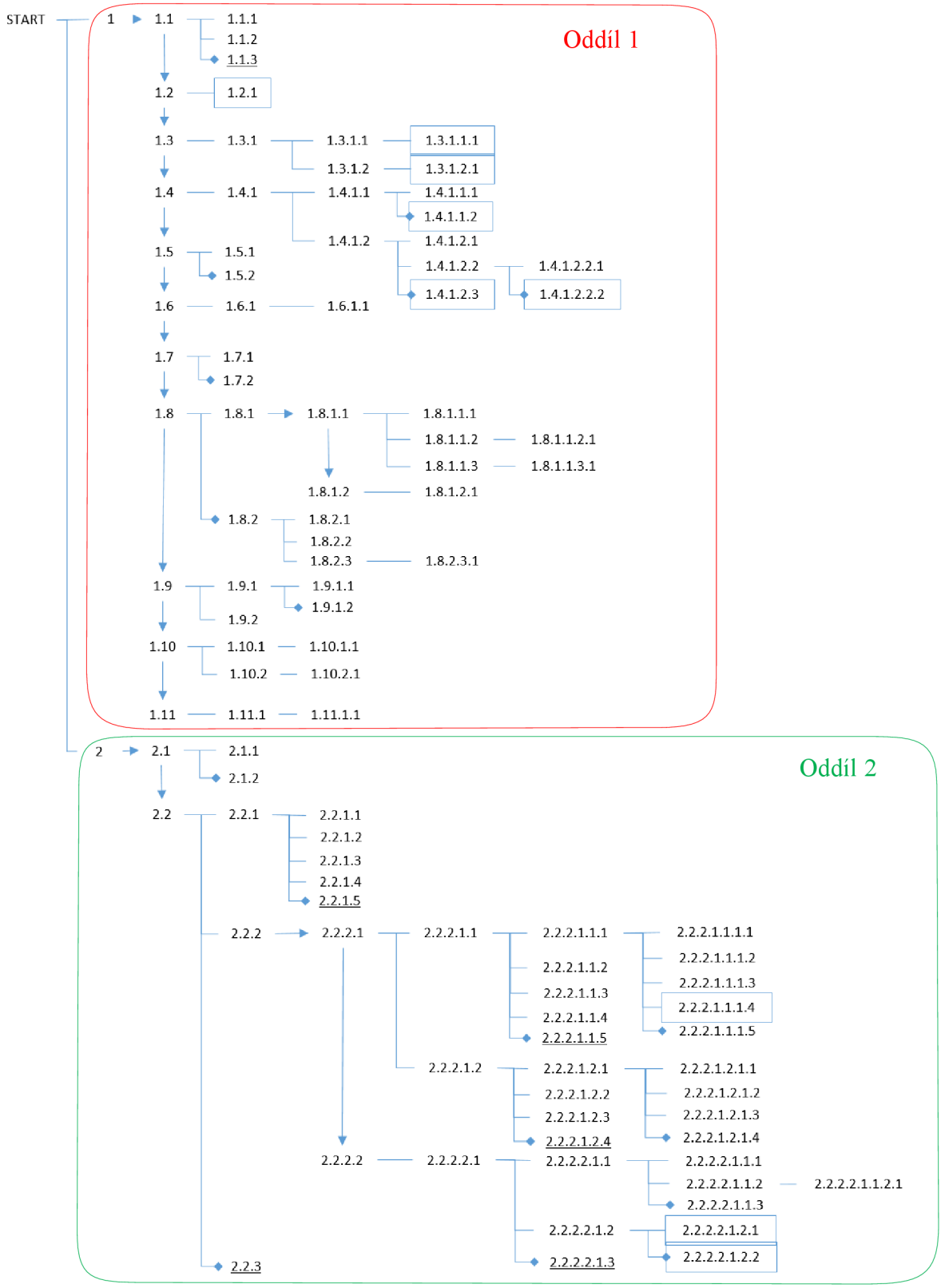


Příloha 7: 3D model logistického řetězce [zdroj: vlastní]

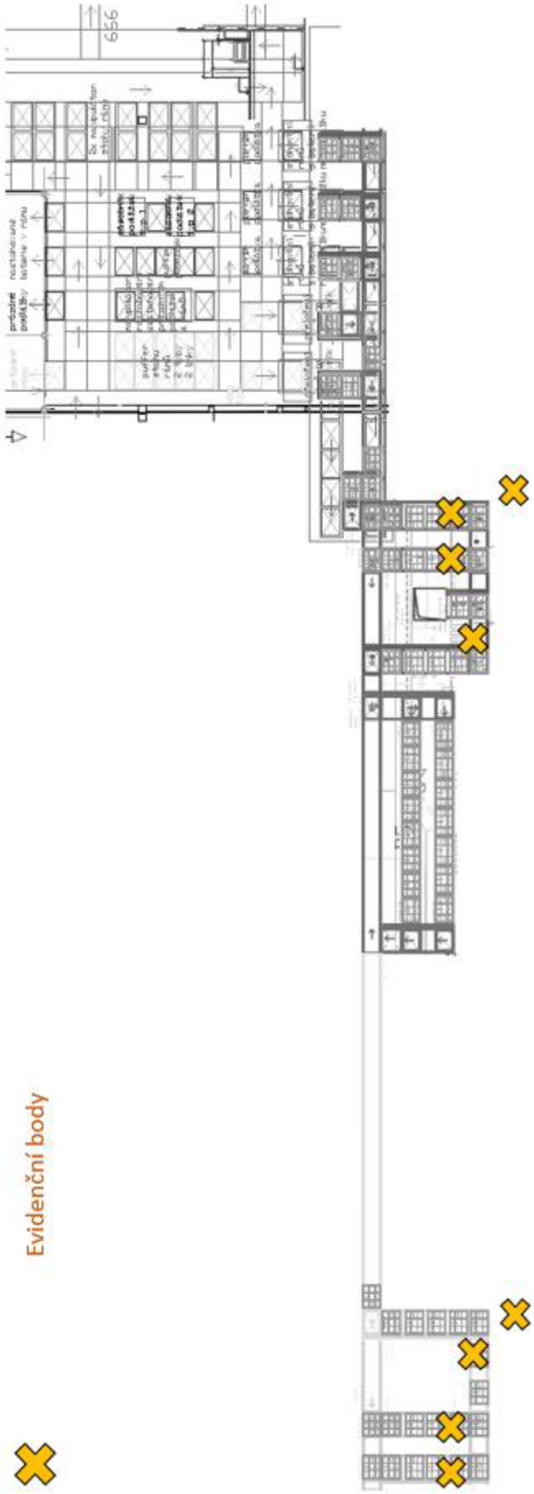


Příloha 8: Blokové schéma navržené logiky řízení [zdroj: vlastní]

Příloha 9: Struktura centrální řídící metody simulačního modelu [zdroj: vlastní]



Příloha 10: Evidenční body řídící metody [zdroj: vlastní]



Příloha 11: Matice simulačních experimentů [zdroj: vlastní]

	1	2	3	4	5		6	7	10	
1	Označení simulačního experimentu [-]	Varianta simulačního modelu [-]	Aplikovaná logika řízení [-]	Poruchovost [-]	Směnový režim [-]	Velikost stohů [-]	Logisitcký řetězec [-]	Výrobní program [-]	Měsíční průchodnost materiálu [ks]	Týdenní průchodnost materiálu [ks]
2	SE 1	Varianta A	Původní	Ne	Ne	4/7 kusů	Celý	Žádný	67913	9702
3	SE 2	Varianta A	Navržená	Ne	Ne	4/7 kusů	Celý	Žádný	67913	9702
4	SE 3	Varianta B	Původní	Ne	Ne	4/7 kusů	Celý	Definovaný	67838	9691
5	SE 4	Varianta B	Navržená	Ne	Ne	4/7 kusů	Celý	Definovaný	67913	9702
6	SE 5	Varianta C	Původní	Ano	Ne	4/7 kusů	Celý	Definovaný	67390	9627
7	SE 6	Varianta C	Navržená	Ano	Ne	4/7 kusů	Celý	Definovaný	67439	9634
8	SE 7	Varianta D	Původní	Ne	Ano	4/7 kusů	Celý	Definovaný	62722	8960
9	SE 8	Varianta D	Navržená	Ne	Ano	4/7 kusů	Celý	Definovaný	62840	8977
10	**SE 9**	**Varianta E**	**Původní**	**Ano**	**Ano**	**4/7 kusů**	**Celý**	**Definovaný**	**62288**	8898
11	**SE 10**	**Varianta E**	**Navržená**	**Ano**	**Ano**	**4/7 kusů**	**Celý**	**Definovaný**	**62407**	8915
12	SE 11	Varianta F	Původní	Ano	Ano	4/7 kusů	Celý	Akumulátory A	51292	7327
13	SE 12	Varianta F	Navržená	Ano	Ano	4/7 kusů	Celý	Akumulátory A	51435	7348
14	SE 13	Varianta G	Původní	Ano	Ano	4/7 kusů	Celý	Akumulátory B	51041	7292
15	SE 14	Varianta G	Navržená	Ano	Ano	4/7 kusů	Celý	Akumulátory B	51398	7343
16	SE 15	Varianta H	Původní	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 1S/1P	Definovaný	27331	3904
17	SE 16	Varianta H	Navržená	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 1S/1P	Definovaný	27330	3904
18	SE 17	Varianta I	Původní	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 1S/1P	Akumulátory A	27331	3904
19	SE 18	Varianta I	Navržená	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 1S/1P	Akumulátory A	27330	3904
20	SE 19	Varianta J	Původní	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 1S/1P	Akumulátory B	27331	3904
21	SE 20	Varianta J	Navržená	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 1S/1P	Akumulátory B	27330	3904
22	SE 21	Varianta K	Původní	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 2S/2P-B	Definovaný	35098	5014
23	SE 22	Varianta K	Navržená	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 2S/2P-B	Definovaný	35076	5011
24	SE 23	Varianta L	Původní	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 2S/2P-B	Akumulátory A	35096	5014
25	SE 24	Varianta L	Navržená	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 2S/2P-B	Akumulátory A	35074	5011
26	SE 25	Varianta M	Původní	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 2S/2P-B	Akumulátory B	35094	5013
27	SE 26	Varianta M	Navržená	Ano	Ano	4/7 kusů	Bez 2S/2P-B	Akumulátory B	35075	5011
28	SE 27	Varianta N	Původní	Ano	Ano	Náhodná	Celý	Definovaný	62087	8870
29	SE 28	Varianta N	Navržená	Ano	Ano	Náhodná	Celý	Definovaný	62406	8915
30	SE 29	Varianta O	Původní	Ano	Ano	Náhodná	Celý	Akumulátory A	50763	7252
31	SE 30	Varianta O	Navržená	Ano	Ano	Náhodná	Celý	Akumulátory A	50991	7284
32	SE 31	Varianta P	Původní	Ano	Ano	Náhodná	Celý	Akumulátory B	50627	7232
33	SE 32	Varianta P	Navržená	Ano	Ano	Náhodná	Celý	Akumulátory B	51011	7287
34	SE 33	Varianta Q	Původní	Ano	Ano	Náhodná	Bez 1S/1P	Definovaný	27331	3904
35	SE 34	Varianta Q	Navržená	Ano	Ano	Náhodná	Bez 1S/1P	Definovaný	27330	3904
36	SE 35	Varianta R	Původní	Ano	Ano	Náhodná	Bez 1S/1P	Akumulátory A	27330	3904
37	SE 36	Varianta R	Navržená	Ano	Ano	Náhodná	Bez 1S/1P	Akumulátory A	27330	3904
38	SE 37	Varianta S	Původní	Ano	Ano	Náhodná	Bez 1S/1P	Akumulátory B	27331	3904
39	SE 38	Varianta S	Navržená	Ano	Ano	Náhodná	Bez 1S/1P	Akumulátory B	27330	3904
40	SE 39	Varianta T	Původní	Ano	Ano	Náhodná	Bez 2S/2P-B	Definovaný	35098	5014
41	SE 40	Varianta T	Navržená	Ano	Ano	Náhodná	Bez 2S/2P-B	Definovaný	35074	5011
42	SE 41	Varianta U	Původní	Ano	Ano	Náhodná	Bez 2S/2P-B	Akumulátory A	35091	5013
43	SE 42	Varianta U	Navržená	Ano	Ano	Náhodná	Bez 2S/2P-B	Akumulátory A	35059	5008
44	SE 43	Varianta V	Původní	Ano	Ano	Náhodná	Bez 2S/2P-B	Akumulátory B	35092	5013
45	SE 44	Varianta V	Navržená	Ano	Ano	Náhodná	Bez 2S/2P-B	Akumulátory B	35072	5010