



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

**NÁVRH A OPTIMALIZACE ZÁSOBOVACÍHO
A DISTRIBUČNÍHO SKLADU POMOCÍ DYNAMICKÉ
SIMULACE**

DESIGN AND OPTIMIZATION OF SUPPLY AND DISTRIBUTION WAREHOUSE USING DYNAMIC
SIMULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Zindler

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Urbánek

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Lukáš Zindler
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Michal Urbánek
Akademický rok:	2022/23

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:

Návrh a optimalizace zásobovacího a distribučního skladu pomocí dynamické simulace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Dle současného stavu prostorového uspořádání a layoutu pracovišť a komunikací návrh nového konceptu materiálového a informačního toku ve skladu s ohledem na časové posloupnosti pracovních úkonů ve skladu s využitím analytických metod a predikčním modelem poptávky a výroby na základě historických údajů. Využití počítačového modelování a simulace k vytvoření sady experimentů materiálového a informačního toku pro posouzení vlivu jednotlivých koncepčních návrhů na celkovou výkonnost systému.

Cíle diplomové práce:

Literární rešerše skladovacích a distribučních systémů.

Analýza současného stavu materiálového a informačního toku v zadaném systému včetně schematického znázornění aktuálního konceptu skladu.

Návrh časových posloupností pracovních úkonů ve skladu s využitím analytických metod.

Návrh matematického predikčního modelu poptávky a výroby na základě historických údajů.

Počítačový simulační model aktuálního systému materiálového a informačního toku ve skladu.

Schematické znázornění nového konceptu skladu včetně znázornění materiálového toku pomocí sankeyova diagramu.

Počítačový simulační model vytvořený na základě návrhu predikčního modelu a časových posloupností pracovních úkonů včetně sestavení matice experimentů a provedení simulace experimentů s cílem nalézt optimální řešení daného problému.

Seznam doporučené literatury:

BANGSOW, Steffen. Tecnomatix Plant Simulation. 2nd ed. New Your: Springer, 2020, ISBN 978-3-030-41543-3.

PINKER, Alexander a Marco Prügelmeier. Innovationen in der Logisitk. 1. Auflage, Huss-Verlag, 2021, ISBN 978-3-948001-75-9.

NOCHE, Bernd a Mathias BÖS. Simulation der Transportverkehre. MAYER, Gottfried, Carsten PÖGE, Sven SPIECKERMANN a Sigrid WENZEL, ed. Ablaufsimulation in der Automobilindustrie [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, 2020-03-14, s. 155-171 [cit. 2020-10-06]. ISBN 978-3-662-59387-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-662-59388-2_11.

WENZEL, Sigrid a Matthias WEIß. Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik Planung und Durchführung von Simulationsstudien. Berlin, Heidelberg, 2008. ISBN 978-354-0352-761.

ZEIGLER, Bernard P. Theory of modelling and simulation. New York: Wiley, c1976, xxii, 435 p. ISBN 04-719-8152-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Obsahem této diplomové práce je návrh optimalizace výrobního a distribučního skladu na pneumatiky za použití dynamické simulace. Teoretická část se zabývá logistickými pojmy a skladovacími systémy, v praktické části je podrobně vytvořena analýza současného stavu fungování skladu. Následně je navrženo několik optimalizačních změn, které jsou pomocí simulačních experimentů softwaru Plant Simulation odzkoušeny na vytvořeném virtuálním modelu skladu. Na závěr je provedeno zhodnocení navržených optimalizací.

KLÍČOVÁ SLOVA

Logistika, sklad, materiálový tok, optimalizace, simulace, Plant Simulation.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design the optimization of a production and distribution warehouse for tyres using dynamic simulation. The theoretical part deals with logistics concepts and warehouse systems, while the practical part provides a detailed analysis of the current state of the warehouse. Several optimization changes are then designed and tested on the created virtual model of the warehouse using simulation experiments of the Plant Simulation software. In conclusion, the proposed optimizations are evaluated.

KEYWORDS

Logistic, warehouse, material flow, optimalization, simulation, Plant Simulation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZINDLER, Lukáš. *Návrh a optimalizace zásobovacího a distribučního skladu pomocí dynamické simulace*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149408>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Michal Urbánek.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. května 2023

.....

Bc. Lukáš Zindler

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Michalovi Urbánkovi za jeho cenné rady, odborné vedení a trpělivost při řešení všech problémů, které se v průběhu práce vyskytly. Rád bych také poděkoval všem pracovníkům z firmy Trelleborg, kteří mi umožnili a pomohli sesbírat potřebná data a informace pro tvorbu této práce. Největší díky patří mé rodině a blízkým přátelům za jejich neustálou podporu a oporu v průběhu celého studia.

OBSAH

Úvod.....	12
1 Logistika.....	13
1.1 Dodavatelský řetězec.....	13
1.2 Dodavatelský systém.....	14
2 Skladovací systémy	16
2.1 Funkce skladu.....	16
2.2 Členění skladů dle funkce	17
2.3 Členění skladů dle vlastnictví.....	17
2.3.1 Veřejné sklady.....	17
2.3.2 Smluvní skladování.....	18
2.3.3 Soukromé skladování.....	18
2.4 Členění skladů dle toku zboží	18
2.5 Členění skladů dle technického vybavení	19
2.6 Metody řízení toku zásob	19
3 Skladovací technologie.....	20
3.1 Statická část skladovacích technologií	20
3.1.1 Skladování na volné ploše.....	20
3.1.2 Skladovací nádrže a síla.....	21
3.1.3 Policové regály.....	22
3.1.4 Paletové regály.....	22
3.1.5 Vjezdové a průjezdové regály	23
3.1.6 Spádové (gravitační) regály	23
3.1.7 Mobilní (pojezdové regály).....	24
3.1.8 Karuselové a páternosterové regály	24
3.2 Dynamická část skladovacích technologií	25
3.2.1 Ruční manipulace.....	25
3.2.2 Motorizované manipulační vozíky.....	25
3.3 Technologie skladování pneumatik.....	27
4 Současný stav skladu	29
4.1 Představení společnosti	29
4.2 Popis problematiky.....	30
4.3 Analýza současného stavu.....	30
4.3.1 Stanovení hranic systému.....	30
4.3.2 Koncept skladu.....	31
4.3.3 Manipulační jednotky	32
4.3.4 Manipulační technika.....	33
4.3.5 Materiálový tok ve skladu.....	34
4.3.6 Informační tok ve skladu.....	35
4.4 Simulační model aktuálního konceptu	37
4.4.1 Tvorba simulačního modelu.....	37
4.4.2 Vstupní parametry modelu.....	38
4.4.3 Řídící funkce simulačního modelu	40
4.4.4 Verifikace a validace simulačního modelu	42

5	Návrh nového konceptu skladu	44
5.1	Analýza historických údajů	44
5.1.1	Rozčlenění materiálu	44
5.1.2	Analýza dat	45
5.2	Návrh časových posloupností pracovních úkonů	46
5.2.1	Příjem zboží	46
5.2.2	Expedice zboží	47
5.3	Návrh nového rozmístění layoutu	48
5.4	Návrh zavážeční funkce	49
6	Simulační experimenty	51
6.1	Matice experimentů	51
6.2	Výsledky experimentů	52
6.3	Vyhodnocení experimentů	53
6.4	Zhodnocení navržených změn	57
	Závěr	58
	Použité informační zdroje	59
	Seznam použitých zkratk a symbolů	61
	Seznam příloh	62

ÚVOD

Logistika a skladování tvoří klíčovou oblast ve výrobních operacích, které mají významný dopad na efektivitu výroby a konkurenceschopnost obchodních podniků. Efektivní správa logistických řetězců, zahrnující materiálový a informační tok, je klíčová pro úspěch firem ve všech odvětvích. Současným trendem ve výrobních podnicích je snižování stavu zásob na minimum, či úplná eliminace skladování. V mnoha případech je přecházeno ze systému push, kdy je zboží vyráběno hromadně na sklad, na systém pull, kdy je výroba řízena poptávkou odběratelů. Systém pull ovšem není možné zavést zcela ve všech případech, proto se přistupuje alespoň k optimalizaci logistických a skladovacích procesů. Správná organizace skladovacích prostor, optimalizace pohybu materiálu a efektivní řízení zásob jsou základními faktory pro efektivní a úsporné skladování. Z finančního hlediska tvoří skladování a samotná doprava materiálu významnou část z celkových logistických nákladů.

S rozvojem výpočetní techniky a celkovým vývojem simulačních softwarů je v dnešní době možné celkem detailně vytvořit virtuální model určitého logistického úseku, či komplexních systémů a subsystémů. Pomocí počítačové simulace lze analyzovat různé části logistických systémů bez nutnosti zásahu do reálného provozu s rizikem ztrát, či nežádoucích efektů. Díky simulačním experimentům můžeme identifikovat klíčové problémy, nedostatky a překážky a nalézt neoptimálnější řešení pro danou situaci. Využití simulace ve většině případů vyžaduje kvalifikované pracovníky, kteří umí s daným nástrojem pracovat, a také zakoupení licencí pro příslušný software. I když může být počáteční investice do vytvoření simulačního modelu vysoká, výsledné optimalizace, či změny v logistických systémech mohou z dlouhodobého hlediska přinést nemalé finanční úspory.

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku skladování, logistiky a jejich optimalizaci pomocí softwarového nástroje Plant Simulation. Cílem práce je analyzovat současný stav procesů výrobního a distribučního skladu na pneumatiky a navrhnout optimalizační změny pro dosažení efektivnějšího skladování ve vybraném podniku. Výsledek práce přispěje k lepšímu porozumění pojmům v logistice, skladovacích systémů a technologií. Dále poskytne návrhy a doporučení pro zefektivnění logistických a skladovacích procesů ve vybraném podniku.

1 LOGISTIKA

Původ slova logistika můžeme hledat již ve starém Řecku, kde vychází nejspíše ze slova logistikon znamenající důmysl či rozum nebo logos – slovo, řeč, myšlenka, pojem, rozum, zákon, pravidlo. Též původ tohoto slova můžeme najít v sanskrtském slovu dharma v původním významu udržet, udržovat. Jeden z významů slova dharma je také „vyhnout se hroící katastrofě“. Při uplatnění tohoto slova v náboženství se řídí principem „správného jednání ve správném čase.“ A zde můžeme vidět jednoznačnou souvislost s logistikou, jak ji známe dnes. [1]

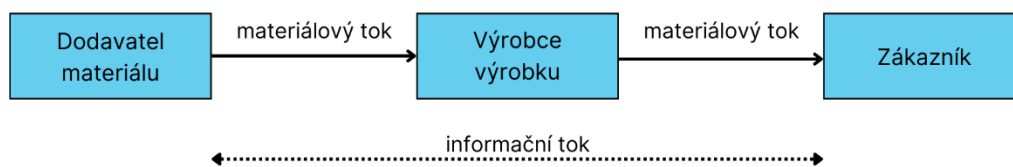
Dle ČSN EN 14943 je logistika „plánování, uskutečňování a kontrola pohybu a umístování osob a zboží a podpůrných činností vztahujících se k tomuto pohybu a umístování, v rámci systému k dosažení specifických cílů.“ Tento stručný popis logistiky lépe vystihuje podrobnější definice vydaná v roce 2006 mezinárodní organizací CSCMP – Council of Supply Chain Management Professionals: „Logistika je ta část řízení dodavatelského řetězce, která plánuje, realizuje a efektivně a účinně řídí dopředné i zpětné toky výrobků, služeb a příslušných informací od místa původu do místa spotřeby a skladování zboží tak, aby byly splněny požadavky konečného zákazníka. K typickým řízeným aktivitám patří doprava, správa vozového parku, skladování, manipulace s materiály, plnění objednávek, návrh logistické sítě, řízení zásob, plánování nabídky a poptávky a řízení poskytovatelů logistických služeb. V různé míře logistické funkce zahrnují také vyhledávání zdrojů a nákup, plánování a rozvrhování výroby, balení a kompletace a služby zákazníkům. Je zapojena do všech úrovní plánování a realizace – strategické, operativní a taktické. Řízení logistiky je integrující funkcí, která koordinuje a optimalizuje všechny logistické činnosti, stejně jako se podílí na propojení logistických činností s dalšími funkcemi, včetně marketingu, výroby, prodeje, financí a informačních technologií“ [2].

1.1 DODAVATELSKÝ ŘETĚZEC

Postupný vývoj logistiky jako důležitá součást managementu při řízení hmotných toků nejen v rámci firem, posouvá její význam z operativní na strategickou úroveň. Definice dodavatelského řetězce dle CSCMP: „Řízení dodavatelských řetězců v sobě zahrnuje plánování a řízení všech aktivit, které vyžaduje vyhledávání zdrojů a nákup, transformaci zdrojů a realizaci dalších logistických aktivit. Významná je skutečnost, že zahrnuje koordinaci a spolupráci mezi partnery v řetězci, kterými mohou být dodavatelé, zprostředkovatelé, poskytovatelé logistických služeb a zákazníci. V podstatě dodavatelský řetězec integruje řízení nabídky a poptávky uvnitř i mezi organizacemi. Řízení dodavatelského systému má integrační funkci a nese odpovědnost za propojení podnikatelských procesů v prostředí soudržného a vysoce výkonného modelu. Zahrnuje všechny shora uvedené logistické aktivity včetně výroby a řídí koordinaci procesů s marketingem, prodejem, navrhováním výrobků, financováním a informačními technologiemi“ [2].

Dodatelský řetězec označován v anglické literatuře jako „Supply Chain“ můžeme dekomponovat podle CSCMP do pěti skupin na získávání zdrojů, plánování, transformaci (výroba, manipulace), dodávky a realizace zpětných toků. [3]

Důsledkem vývoje ekonomického prostředí, globalizace ekonomiky a segmentace trhu, se postupně přechází od pojmu logistický řetězec k pojmu dodavatelský řetězec. Rozdíl oproti logistickému řetězci je rozšíření ve vertikálním směru i proti směru materiálového toku. To může zahrnovat aktivity počínaje těžbou prvotních zdrojů až po konečnou dopravu hotových výrobků zákazníkovi. Dodavatelský řetězec v sobě integruje také realizaci zpětných toků vrácených nebo použitých výrobků, likvidaci odpadů a možnost jejich druhotného využití. Klade větší důraz na zapojení manažerských funkcí, plánování, nákup, predikci poptávky, financování aj. Přechod od logistických k dodavatelským systémům zvyšuje nároky na funkčnost toku informací, systém a strukturu řízení. Dodavatelské řetězce se dále vyvíjí v dodavatelské síti a spojují se jak vertikálně, tak horizontálně. [2]



Obr. 1 Dodavatelský řetězec [autor]

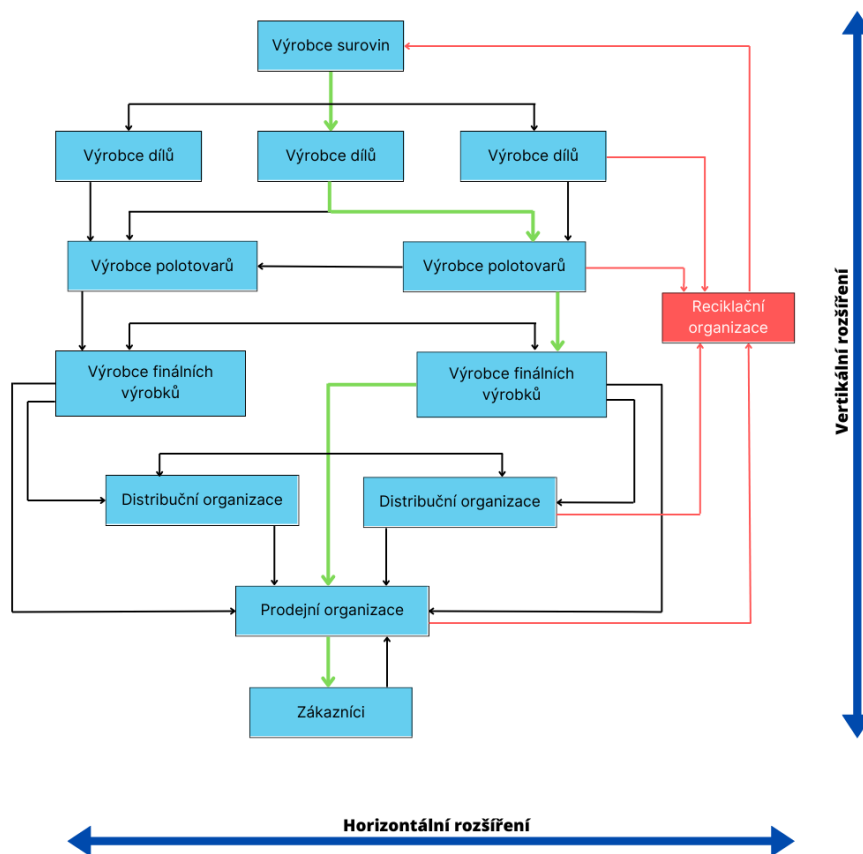
1.2 DODAVATELSKÝ SYSTÉM

Dodatelský řetězec můžeme jednoduše definovat „jako posloupnost činností v integrovaných a vzájemně propojených logistických řetězci včetně aktivit spojených s realizací zpětných toků, jejichž výkon je nezbytný pro splnění požadavků finálního zákazníka v požadovaném čase, množství, kvalitě a na požadované místo“ [2].

Jelikož je dodavatelský řetězec podmnožinou dodavatelského systému, ten definujeme jako „systém účelově definované množiny organizací a vazeb mezi nimi, která se podílí na plánování a výkonu posloupnosti činností v dodavatelském řetězci definovaných“ [2].

Zavedení pojmu dodavatelského systému nám může velice pomoci v budoucích tvorbách dodavatelských struktur či restrukturalizaci stávajících. Základním kamenem ovšem musí být kvalitní návrh všech částí a stanovení kritérií a následné hledání vhodných partnerů pro její realizaci. V případě, kdy postupujeme nejprve od partnerů k požadavkům a stanovujeme podmínky v opačném sledu, často můžeme narazit na problém a nutnost výměny partnerů. Informační provázanost a kvalitní otevřený tok informací mezi partnery a organizacemi je důležitou součástí pro dobře fungující dodavatelský systém. [2]

Dodavatelský systém si můžeme představit jako množinu několika dodavatelských řetězců, jak je znázorněno na Obr. 2. Zde je zobrazen dodavatelský systém, zeleně poté jeden dodavatelský řetězec.



Obr. 2 Dodavatelský systém [autor]

2 SKLADOVACÍ SYSTÉMY

Nedílnou součástí dodavatelských systémů je skladování materiálu. Sklady nejrůznějších typů můžeme nalézt v celém průřezu systému, a to například v průběhu výroby nebo v sekci distribuce konečného materiálu. Tvorba skladů nám způsobuje dočasné přerušování toku materiálu, což je z podstaty v rozporu s principem řízení redukce zásob a plynulým materiálovým tokem. V uskladněných zásobách se nacházejí uložené finanční prostředky, které by mohly být použity v jiných případech pro zisk a následnou investici. Proto je nejlepší výrobky neskladovat, ale udržovat stále v pohybu s co nejmenším počtem kroků zpracování.

Za skladování lze považovat „soubor činností spojených s pořizováním, udržováním zásob a zejména dodávkami skladovaných položek podle požadavků přímým zákazníkům na nějakém místě logistického nebo dodavatelského systému včetně uskutečnění s tím spojených nezbytných rozhodovacích procesů“ [2].

Skladovací systém dle [2] a [4] lze dekomponovat na čtyři části:

- statická – zahrnuje prvky skladovacích ploch od volných nebo krytých skladů přes nádrže, sila až po skladovací budovy jednopodlažní či vícepodlažní;
- dynamická – zabezpečuje operace v systému týkající se manipulace s materiálem (příjem, uložení, kompletace, balení, expedice). Pod tuto část spadají také dopravníky, manipulační prostředky, výtahy, zakladače;
- informační subsystém – v jednoduchých případech uskutečňují evidenci skladovaných položek, jejich pohyb a přidružené informace. Pokročilejší moderní Warehouse Management Systémy jsou schopny řídit celý sklad komplexně s podporou při rozhodovacích procesech;
- pracovníci – odborní pracovníci, manipulanti, skladníci, vedoucí skladu, členové managementu.

2.1 FUNKCE SKLADU

Sklad je prvek dodavatelského či logistického systému, který zabezpečuje všechny činnosti ohledně skladování. Tím může být místo pro uložení materiálu, polotovarů nebo konečných výrobků po různou dobu. Vedle samotného uskladňování poskytuje sklad další podružné funkce jako skladový management, informace o uskladněných produktech či podmínkách uskladnění. [2]

Sklady z historického hlediska plnily spíše funkci zásobníků pro absorpci výrobků, surovin, dílů apod. Uplatňoval se zde princip tlaku, kde končily výrobky z předešlých operací dodavatelského systému či umístění před úzké místo výroby, kde sklad zastává pasivní funkci. Současné nové pojetí vymezuje sklad jako poskytovatele služeb zákazníkům s vyšší úrovní nabízeného servisu. Především vychází při realizaci dodávek, obdobně jako výrobci, z požadavku zákazníka, čímž se stále více uplatňuje princip tahu oproti principu tlaku. V reálných případech sklady plní obě funkce. Současně se snaží zajistit určitou pružnost materiálového toku a vytváří objednávky dodavatelům na základě objednávek zákazníků, avšak zachovává jistou pojistnou zásobu podle budoucího odhadu odbytu. [1] [2]

Základními funkcemi skladu dle [4] jsou:

- příjem zboží – fyzický příjem, vyložení, vybalení zboží, kontrola jeho stavu, kvality, množství a záznam do evidenčního systému;
- transfer či ukládání zboží – přesun zboží na místo jeho uložení (regál, plocha);
- překládka zboží – při typu skladu cross – docking, zboží se neuskładňuje, pouze se překládá z místa příjmu do místa expedice;
- expedice zboží – odesílání dle objednávky zákazníka, můžou mu předcházet operace jako kompletace, balení, paletování aj.

2.2 ČLENĚNÍ SKLADŮ DLE FUNKCE

Dle [2] a [4] lze sklady členit dle funkce na:

- centrální sklad hotových výrobků – sklad, kde daná společnost ukládá vyrobené zboží a výrobky;
- obchodní sklady – shromažďují více dodavatelů a odběratelů dohromady, jedna z funkcí navíc je kromě skladování také změna sortimentu podle požadavku odběratelů;
- tranzitní sklad – je systém skladu fungující na principu překládky zboží. Produkty a zboží se zde dováží ve velkém množství, rozdělují se a spojují s ostatními výrobky dále k expedici pro konkrétního zákazníka. Typickým příkladem jsou přístavy nebo železniční překladiště;
- konsignační sklady – tento typ skladů je zřizován zákazníkem přímo u dodavatele. Zboží je skladováno tzv. na účet a riziko dodavatele. Odběrateli je umožněno kdykoliv zboží odebrat dle potřeby. Platbu poté uskutečňuje v určitých časových úsecích. Typicky je tento systém využitý pro zásobování náhradními díly například pro dodavatele výpočetní techniky či v automobilovém průmyslu;
- celní sklady – Při dovozu vybraného zboží např. tabák, alkohol, chemické výrobky, prochází toto zboží přes celní sklady, kde má stát nad těmito komoditami určitý dohled před distribucí na trh. Dovození clo se neplatí, dokud se výrobky neprodají. Odběr zboží ze skladu je postupný. Kontrolním orgánem je Celní správa ČR zřízena ministerstvem financí ČR;

2.3 ČLENĚNÍ SKLADŮ DLE VLASTNICTVÍ

Sklady lze rozdělit dle vlastnictví do tří skupin, které jsou popsány níže. Každý z nich má své výhody a taktéž nevýhody plynoucí z podstaty jejich funkce a provozu.

2.3.1 VEŘEJNÉ SKLADY

Výhodou veřejného skladování je uchování kapitálu. Není vyžadována žádná investice pro nákup pozemku, stavbu budovy a provoz skladu. V případě, že výrobní činnost podléhá sezónním výkyvům, umožňuje veřejné skladování zvýšení, či naopak snížení skladovací kapacity v krátkém čase, čímž se eliminuje přetíženost nebo nevytíženost skladu. Veřejným skladováním také odpadají rizika spojené se skladováním soukromým. [4]

V případě jakékoliv změny například sortimentu, množství nebo lokace výroby, není uživatel vázán na vlastnictví skladu, pouze zruší smlouvu a využije jiný vyhovující sklad. Z principu funkce vyplývá taktéž jako určitá výhoda pružnost skladu. Smlouvy se sklady jsou z pravidla krátkodobé a jejich častá obměna umožňuje změnu podmínek podle tržní situace. [4] [5]

Nevýhodami spojenými s veřejným skladováním mohou být nedostatečný rozsah služeb nabízených vlastníkem skladu, či jeho samotná dostupnost v okolí potřeby zákazníka. Další z problémů, které mohou vyvstat, je komunikace mezi zákazníkem a provozovatelem skladu. Veřejné sklady mají většinou zavedený vlastní informační systém, který nemusí každému zákazníkovi vyhovovat, čímž se mu nemusí dostávat potřebných informací. Změna takového systému kvůli jednomu klientovi může být velmi složitá, přičemž bude záležet na typu klienta, jeho perspektivnosti a finančním obratu. [4]

2.3.2 SMLUVNÍ SKLADOVÁNÍ

Smluvní skladování je variantou veřejného skladování. Jedná se o dlouhodobý závazek mezi uživatelem a poskytovatelem logistických služeb, přičemž zpravidla poskytovatel zhotovuje služby výhradně jednomu uživateli. Výhodou je nulový počáteční kapitál ze strany uživatele, vzájemná prospěšnost, vysoká míra flexibility a úroveň služeb poskytovaných provozovatelem. [6]

2.3.3 SOUKROMÉ SKLADOVÁNÍ

V případě, kdy si výrobce zajišťuje skladování sám, jedná se o soukromé skladování. Přináší nám přímou kontrolu nad materiálem. V situacích, kdy materiál, či zboží vyžaduje speciální manipulační nebo skladovací podmínky, nemusí veřejné skladování přicházet do úvahy. Výrobce má stále své zboží pod kontrolou a nese za něj zodpovědnost až do předání zákazníkovi, čímž se značně můžou eliminovat reklamace od zákazníka z důvodu neopatrného, či neodborného zacházení se zbožím ze strany provozovatele veřejného skladu. Další výhodou je flexibilita skladu, který může být navržen přímo dle potřeb výroby. V rámci dlouhodobého hlediska vlastnictví skladu se uvádí snížení nákladů na skladování oproti veřejnému skladování o 15 až 25 % při efektivním využití skladu. [5]

Z finančního hlediska se dají považovat jako nevýhody soukromého skladování, počáteční investice do pořízení skladovacích prostor, tvorba skladovacího managementu a zaškolení obsluhy. Taktéž flexibilita skladu je jednou z nevýhod soukromého skladování, kdy se v krátkém časovém horizontu nedá rozšířit skladovací kapacita. V opačném případě snížení množství skladovaných výrobků, jsou fixní náklady na provoz skladu stále stejné a je nutno je hradit.

2.4 ČLENĚNÍ SKLADŮ DLE TOKU ZBOŽÍ

Průtokový sklad – zboží koná jednosměrný pohyb od přejímky po vyskladnění přímo rovně nebo zatáčí do pravého úhlu. Při materiálovém toku ve skladu se vzájemně neruší činnosti příjmu a expedice a zvyšuje se efektivita skladu. [4]

Hlavový sklad – příjem i vyskladňování zboží probíhají na stejné straně skladu. To může způsobovat různé kolize při manipulačních činnostech a musí tomu být sklad uzpůsoben. Tento systém se využívá většinou u malých skladů s nízký počtem zaměstnanců a mechanizačních prostředků nebo u automatizovaných skladů kde je doprava zajištěna mimoúrovňovými dopravníky, čímž se předchází možné kolizi. [4]

2.5 ČLENĚNÍ SKLADŮ DLE TECHNICKÉHO VYBAVENÍ

Dle [2] lze sklady rozdělit do čtyřech kategorií podle technického vybavení:

- ruční sklady – užití v malých podnicích a prodejnách. Veškerá manipulace s materiálem je zajišťována zaměstnanci ručně;
- mechanizované sklady – tyto sklady využívají určité mechanizační prostředky a dopravníky, ale pouze v malé míře. Manipulace s materiálem neprobíhá komplexně za využití všech možných dostupných prostředků;
- vysoce mechanizované sklady – jedná se zatím o nejvíce efektivní skladovací systém. Využívají progresivní skladovou technologii komplexně zasazenou do chodu skladu, stále je u manipulace přítomen člověk, avšak za pomoci nejvyššího stupně mechanizace;
- plně automatizované sklady – tyto sklady využívají automatizaci téměř všech manipulačních a informačních procesů. Vyznačují se velkou propustností, efektivností a provozní dobou. Mohou být v provozu nepřetržitě. Eliminují nutnost zaučování nových pracovníků a tím i chybovost při vychystávání objednávek. Nevýhodou jsou velmi vysoké pořizovací náklady, avšak v dlouhodobém hledisku se náklady počáteční investice vracejí.

2.6 METODY ŘÍZENÍ TOKU ZÁSOB

Dle [7] existuje několik metod pro řízení toku zásob:

- FIFO – je zkratkou anglického názvu First In – First Out, která v překladu znamená: „první dovnitř, první ven“. Jedná se o způsob organizování materiálu a jeho distribuce nejen v rámci skladování. Tato metoda zajišťuje, že ze skladu odejde první materiál, který je uskladněn nejdéle. Dodržování správných zásad práce s informacemi a evidence materiálu je pro tuto metodu klíčové;
- LIFO – je zkratkou anglického názvu Last In – First Out, která v překladu znamená: „poslední dovnitř, první ven“. Znamená to, že zboží, které přišlo na sklad jako poslední, je expedováno jako první. Využívá se v oblastech s dlouhodobějším blokovým skladováním a materiál s dlouhou dobou expirace;
- FEFO – je zkratkou anglického názvu First Expired – First Out, která v překladu znamená: „první expirace, první ven“. Tato metoda je velmi podobná výše popsanému systému FIFO s rozdílem, že položky s dřívějším datem spotřeby budou vydány ze skladu dříve, nezávisle na pořadí, v jakém do skladu přišly.

3 SKLADOVACÍ TECHNOLOGIE

Pod pojem skladovací technologie se dá zařadit „soubor technických prostředků a skladovacích jednotek používaných pro výkon skladovacích činností ve skladu“ [2]. Rozdělit tyto technologie můžeme na dva úseky, a to statickou část zahrnující hmotné neměnné prvky (skladovací plochy, regály) a tomu adekvátní dynamickou část zabezpečující veškerou manipulaci, dopravu, kompletaci, či balení.

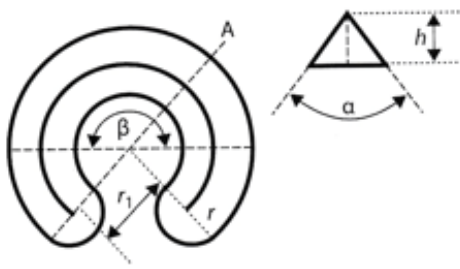
3.1 STATICKÁ ČÁST SKLADOVACÍCH TECHNOLOGIÍ

Statická část zahrnuje veškeré prvky, které jsou ve skladovacích technologiích neměnné. Jedná se např. o technické vybavení, regály, skladovací plochy.

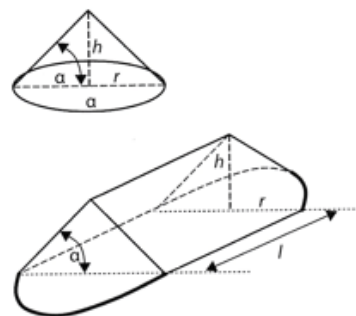
3.1.1 SKLADOVÁNÍ NA VOLNÉ PLOŠE

Jedná se o nejjednodušší formu skladování materiálu. Nejčastějšími požadavky a zároveň podmínkami pro skladování je dostatečně zpevněný povrch, ohrazení okolo skladovací plochy, případně její zastřešení.

Volného skladování je využíváno převážně pro sypké materiály jako rudy, paliva, stavební materiály, či hromadně zpracovávané suroviny. Jelikož je materiál skladován bez jakékoliv ochrany, měl by splňovat určité požadavky (hygroskopie, větrná odolnost, specifická hmotnost). Kapacita skladovacích ploch je dána především technologií uskládání. U sypkých materiálů je pro příklad využíváno ukládání do kuželu, řady nebo tzv. „ledviny“. [2]



Obr. 3 Druhy hromad na skladovací ploše (ledvina) [2]



Obr. 4 Druhy hromad na skladovací ploše (kužel, řada) [2]

Pro ukládání sypkých materiálů je někdy využíváno boxů, které mají nejčastěji jednu stěnu volnou, umožňující přístup manipulačním prostředkům. Pro uskladnění specifických materiálů např. kamenná sůl, se tyto boxy zastřešují pro ochranu surovin před přírodními vlivy.

Na volných plochách se běžně také skladují položky umístěné na vhodných manipulačních jednotkách. Tím můžou být např. palety nebo kontejnery. Největšího využití skladovací plochy lze dosáhnout při skládání manipulačních jednotek do bloku. Takovým příkladem může být překladiště kontejnerů, které jsou stohované a ukládané do bloků. [2]



Obr. 5 Sklad kontejnerů [11]

3.1.2 SKLADOVACÍ NÁDRŽE A SILA

Skladovací nádrže a sila představují způsob velkoobjemového skladování jedno druhových komodit. Využívají se pro sytké materiály, tekutiny, kapalně plyny, chemické výrobky a další různé zdroje. Pro každou komoditu je vyhrazen jeden samostatný prostor (nádrž, silo), ve kterém je skladována. Z konkrétních příkladů můžeme uvést jako skladované komodity: pohonné hmoty a rafinerské produkty, chemické produkty, mouka, obilí, stavební hmoty, vápno atd. Sila a nádrže jsou vybaveny různými systémy kontroly množství skladovaného materiálu, senzory o podmínkách skladování či dopravníky pro jejich plnění a vyprazdňování. Výhodou zavedení velkoobjemového skladování je progresivní snížení nákladů na obalový materiál. [2]



Obr. 6 Silo na obilí [12]

3.1.3 POLICOVÉ REGÁLY

Policové nebo také příhradové regály, patří mezi regálové systémy, nejčastěji umístěné v budovách. Vyznačují se velmi jednoduchou konstrukcí. Skladuje se v nich od kusového zboží, po krabicové manipulační obaly, avšak ve většině případů do ruční manipulační hmotnosti. Z pravidla jsou tyto regály obsluhovány manuálně bez nároků na drahou manipulační techniku. Pro manuální obsluhu jsou uzpůsobeny do maximální výšky 2 m, hloubky mezi 0,4 a 0,8 m a šířce uličky 0,8 m. Díky jejich jednoduché stavebnicové konstrukci je lze modifikovat na míru požadavkům zákazníka s přídatnými elementy (zásuvky, dveře, věšáky). Nevýhodou policových regálů je jejich nízká využitelnost skladovací plochy. [2]

Pro efektivnější využití skladovací plochy mohou být policové regály uspořádány do patrových segmentů. Vstup do vyšších pater je zajištěn přes schody. Při použití manipulačních technologií, lze výšku regálů protáhnout až na 4,5 m, kdy je nutno použít pojezdového manipulačního prostředku, který může nést manipulanta, tzv. zařízení Man-up. Obecně se policové regály vyznačují nízkými investičními náklady, jednoduchou skladovou organizací, bezporuchovým provozem a dobrým přístupem ke skladovaným položkám. [2] [4]

3.1.4 PALETOVÉ REGÁLY

Tento typ regálů je možno využívat pro jakýkoliv materiál uložený na paletové manipulační jednotce. Tím mohou být jednotlivé kusy nebo úložné krabicové obaly. Jedná se o nejrozšířenější druh regálů používaný v budovách. Jsou stavěny ve výšce od 7 do 45 m, šířkou uliček 1 až 3 m a hloubkou regálů od 1 m podle uskladňovaných palet. Dle konstrukce regálu je možno ukládat jednu, či více manipulačních jednotek v závislosti na jejich velikosti. Díky lehké modifikaci regálů lze výšku jednotlivých ložných ploch přizpůsobit výšce skladovaného materiálu, čímž můžeme dosáhnout lepšího vytížení skladovacího prostoru. [4]

Pro obsluhu nižších paletových regálů se používá konvenčních vysokozdvíhových vozíků. Při jejich aplikaci je třeba dbát na dostatečnou šířku uličky, což nám snižuje vytíženost skladovacího prostoru. Vyšší regály již vyžadují použití regálových zakladačů, které mohou být finančně nákladné jak z pohledu pořizovací ceny, tak prostředků pro jejich provoz. Při užití zakladačů s otočnými vidlemi se může manipulační prostor v uličce snížit, čímž se nám zvýší vytíženost skladovacího prostoru. [2]



Obr. 7 Policový regál [13]



Obr. 8 Paletový regál [14]

3.1.5 VJEZDOVÉ A PRŮJEZDOVÉ REGÁLY

Pro lepší využití skladovacího prostoru lze použít vjezdové a průjezdové regály. Svou konstrukcí jsou podobné paletovým regálům, ovšem umožňují ukládat za sebe několik manipulačních jednotek. U vjezdového regálu se naskladňování a vyskladňování uskutečňuje pouze z jedné strany tzv. „drive-in“. Z toho důvodu lze uplatnit pouze systém LIFO (Last in – First out). Použití tohoto typu regálu je vhodné pro skladování většího množství materiálu stejného druhu s nižší mírou obrátkovosti. [4]

Průjezdové regály tzv. „drive-through“ oproti vjezdovým umožňují obsluhu z obou stran s možností projíždět celé regálové pole. Výhodou je možnost uplatnění systému FIFO (First in – First out). Daný regál mohou obsluhovat dva na sobě nezávislé manipulační prostředky. Pro oba typy regálu platí, že šířka regálové uličky je dána šířkou palet, jejich výška obvykle nepřesahuje 11 m a hloubka se konstruuje na zhruba 12 paletových míst za sebou. Výrobní tolerance šířky uličky musí být velmi přesná, jinak by docházelo ke kolizím manipulačních vozíků s konstrukcí. [2]

3.1.6 SPÁDOVÉ (GRAVITAČNÍ) REGÁLY

Spádové regály jsou vybaveny válečkovými tratěmi různé konstrukce, které mají náklon 2 až 8 stupňů. Je možné ukládat paletované zboží, ale i krabicové nebo dokonce kusové. Vyšší strana je určena pro naskladňování. Pomocí gravitačních sil se zboží posunuje samospádem do nižší pozice regálu, odkud je odebíráno. Jedna regálová ulička je vhodná pro jeden vybraný sortiment zboží. Výhodou je možnost uplatnění systému FIFO a vysoká využitelnost skladovacího prostoru. Tyto regály lze taktéž plně automatizovat. Nalézt je můžeme například u kompletačních linek nebo montážních linek. Nevýhodou je přístup ke zboží, který je možný pouze z čelních stran regálu. Další problém vyvstává z poruchovosti válečkových tratí a jejich složité opravy. Celkové pořizovací náklady jsou oproti ostatním typům regálů vysoké a jedná se o jeden z nejdražších regálových systémů. [2] [4]

Variantou tohoto typu regálu jsou zásuvné regály. Zde je přístup umožněn pouze z jedné strany. Poslední uložená manipulační jednotka zatlačuje proti sklonu regálu druhou jednotku na zadní pozici. Uplatňuje se systém LIFO pro menší počet manipulačních jednotek. [2]



Obr. 9 Válečkový (spádový) regál [16]



Obr. 10 Vjezdový regál [15]

3.1.7 MOBILNÍ (POJEZDOVÉ REGÁLY)

Klasické regály jsou pevně ukotveny na jednom místě. Pojezdové regály jsou umístěny na podvozcích, které se pohybují po kolejnicích na podlaze. Horizontální pohyb může být u malých zařízení zajištěn manuálně, u velkých prostřednictvím elektrického pohonu. Díky tomu lze počet manipulačních uliček snížit na minimum a tím výrazně zvýšit využití skladovacích ploch, přibližně dvojnásobně oproti klasickým regálům. Výška tohoto typu regálu standardně nepřesahuje 10 m z důvodu nutnosti posunovat s celou konstrukcí. Použití je vhodné pro malé až střední množství skladovaných položek. Výhodou je možnost „uzamknutí“ skladovaných položek např. z bezpečnostních důvodů a uplatnění systému FIFO. Nevýhodou je omezená možnost automatizace, pomalá rychlost manipulace a vysoká pořizovací cena. [2]



Obr. 11 Mobilní (pojezdový) regál [17]

3.1.8 KARUSELOVÉ A PÁTERNOSTEROVÉ REGÁLY

Využití karuselových a páternosterových zásobníků se uplatňuje především pro drobné a střední součástky, které mohou být loženy v bednách nebo samostatně. Jednotlivé patra, či přihrádky jsou spojeny k obíhajícím řetězům poháněny elektromotorem. Uspořádání může být horizontální nebo vertikální. Cenově tento systém patří k nejdražším vůbec. Výhodou je vysoké využití skladovacího prostoru, možnost zavedení FIFO systému a automatizace vyskladnění a naskladnění. Z ergonomického hlediska se jedná o nejlepší systém. [2] [4]



Obr. 12 Vertikální karuselový zásobník [18]

3.2 DYNAMICKÁ ČÁST SKLADOVACÍCH TECHNOLOGIÍ

Dynamická část ve skladovacích technologiích zahrnuje veškeré proměnlivé prvky, které se v systémech skladů nacházejí. Jedná se například o manipulační prostředky, lidské zdroje, kompletaci zboží, balení zboží nebo strategii skladování.

3.2.1 RUČNÍ MANIPULACE

Ruční manipulace se v dnešní době využívá především pro menší sklady s nízkou mírou mechanizace nebo pro speciální operace. Z hlediska bezpečnosti se jedná o nejrizikovější úsek, kde je potřeba dbát na správné postupy a zásady pro eliminaci jak náhodných úrazů, tak dlouhodobých následků. Usnadnění práce a předejití rizikům s ruční manipulací spojených se zabývají ergonomická studia. Jejich výsledkem jsou doporučení, které vedou ke snížení bezpečnostních rizik na pracovišti. [2]

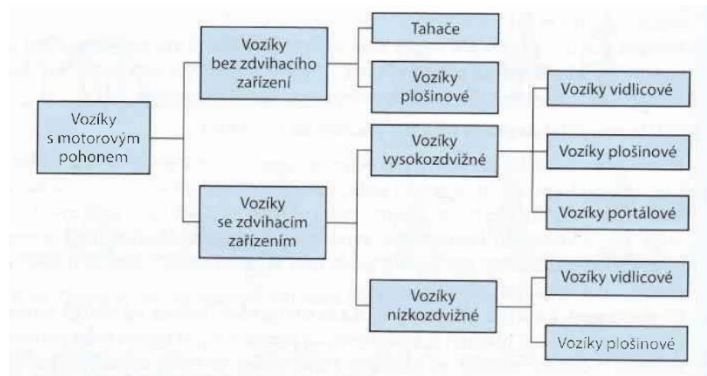
Opatření, která mohou být zavedena pro zlepšení ruční manipulace dle [2]:

- Organizační opatření:
 - redukce množství předmětů určených pro manipulaci;
 - zvolení vhodného pracovního postupu při manipulaci;
 - eliminovat repetitivní pohyby (rotace na jednu stranu, zdvih);
 - zařazení pravidelných oddechových přestávek;
 - školení pracovníků ohledně správné manipulace.

- Technická opatření:
 - předělání pracovišť zaměřené na přehlednost, odstranění překážek, zkrácení přepravných vzdáleností atd.;
 - vhodné balení přepravovaného materiálu;
 - technická vybavenost pracovníků (vhodná obuv, pracovní oděv, přilba, rukavice);
 - v nejlepším případě náhrada ruční manipulace za mechanickou.

3.2.2 MOTORIZOVANÉ MANIPULAČNÍ VOZÍKY

Tvoří nejrozsáhlejší skupinu manipulačních prostředků. Slouží pro horizontální a vertikální dopravu a zabezpečují dopravu po celých skladovacích, či výrobních zónách. Jejich pohon je zajištěn benzínovými, naftovými nebo plynovými pohonnými jednotkami. Ve velké míře je také využíváno elektromotorických manipulačních prostředků, které vedou ke zlepšení pracovního prostředí z důvodu nulových emisí. Přepravovaným materiálem mohou být palety, krabice, boxy, kontejnery aj. Na Obr. 13 můžeme vidět rozdělení podle jednotlivých druhů. [2]



Obr. 13 Motorizované manipulační vozíky [2]

VYSOKOZDVIŽNÉ VOZÍKY

Jsou nejrozšířenějším typem manipulačních prostředků. Využívají se pro manipulaci s materiálem uloženým na paletách, nosných deskách nebo pro speciálně upravené manipulační jednotky. Hlavní části vozíku jsou šasi (rám), pohonná jednotka, sedadlo pro řidiče, ovládací panel, protizávaží a zdvihací ústrojí. To je složeno z dvojitého teleskopického stožáru se dvěma až třemi výsuvnými teleskopickými prvky, na kterém jsou umístěny manipulační vidlice, případně chapadla nebo plošina. Nosnost vozíků se pohybuje od 100 kg do 9 000 kg v závislosti na typu vozíku. Mohou být tříkolové nebo čtyřkolové. [2]

VYCHYSTÁVACÍ (KOMPLETAČNÍ) VOZÍKY

Jedná se o speciální skupinu vysokozdvížných vozíků. Používá se pro přímou kompletaci ze skladovacích pozic. Kabina s řidičem je nainstalovaná na zdvihací zařízení a umožňuje přímý přístup ke skladovacímu místu. Manipulant může zboží vychystávat přímo z vozíku, bez nutnosti vozík opustit nebo přemísťovat vychystávaný materiál. [2]



Obr. 15 Vysokozdvížný vozík [20]



Obr. 14 Vychystávací vozík [19]

3.3 TECHNOLOGIE SKLADOVÁNÍ PNEUMATIK

Pneumatiky je třeba skladovat určitými způsoby. Ty, které jsou již přidělány na ráfcích kol, skladujeme naskládané na sobě nebo zavěšené např. na háčích. Pneumatiky, které jsou bez ráfků, se skladují pouze postavené vedle sebe, aby nedošlo k deformaci jejich tvaru. [8]

Skladovací prostor pro pneumatiky musí být suchým místem s chladnějším a větraným prostorem. Pneumatiky je vhodné chránit před přímým slunečním zářením, aby nedocházelo k degradaci materiálu. Styk pneumatik s ropnými produkty, oleji, či chemikáliemi je přísně zakázán. [8]

Pro skladování pneumatik je možno využít jakékoliv dostupné skladovací technologie. Nejčastěji se setkáváme se skladováním v příhradových regálech. Zde jsou pneumatiky uskladněny vedle sebe, jak můžeme vidět na Obr. 16. Tento způsob uskladňování je vhodný pro pneumatiky menších rozměrů, jelikož je manipulace s nimi zajišťována manuálně.



Obr. 16 Regálové skladování pneumatik [8]

Pro snazší manipulaci s více kusy pneumatik nebo s rozměrnějšími pneumatikami, lze použít vhodnou manipulační jednotku pro jejich uskladnění. Tou může být např. paleta nebo speciální manipulační klece.



Obr. 17 Uskladnění pneumatik na paletách [21]



Obr. 18 Pneumatiky uložené v kleci [8]

Velkosklady také ve velké míře pro efektivní využití skladovací plochy využívají stromečkové regály. V nich je možno skladovat pneumatiky položené na sobě. Jejich počet je omezen výškou stromečku a také maximálním počtem kusů, které je možno skladovat na sobě. V určitých případech se lze setkat také s uskladněním pneumatik v pojízdných regálech.



Obr. 19 Pojízdný policový regál na pneumatiky [23]



Obr. 20 Stromečkový regál na pneumatiky [22]

4 SOUČASNÝ STAV SKLADU

Následující část této práce se bude zabývat analýzou současného stavu fungování výrobního skladu firmy Trelleborg Wheel Systems se sídlem v Otrokovicích. Bude zde podrobně rozebrán využitý systém fungování skladu, použité manipulační jednotky a techniky, materiálový a informační tok na jehož základě budou navrženy časové posloupnosti jednotlivých pracovních úkonů. Následovat bude vytvoření počítačového simulačního modelu aktuálního systému využívaného ve skladu.

4.1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Firma Trelleborg AB je švédská globální společnost zabývající se výrobou plastů se zvláštním zaměřením na gumárenský průmysl. Mezi její produkty patří tlumicí a těsnicí systémy a pneumatiky pro užitková vozidla. Byla založena v roce 1905 v nejnižším městě Švédska Trelleborg. Má zastoupení v 48 zemích světa a zaměstnává na 24000 zaměstnanců. Dceřiné společnosti v České republice jsou ČGS Holding, Trelleborg Bohemia (bývalá Rubena), Trelleborg Boots Mladá Boleslav, Trelleborg Sealing Solutions Czech a poslední Trelleborg Wheel Systems Czech Republic. [24]

V roce 2015 Trelleborg AB odkoupil firmu Mitas a přejmenoval ji na Trelleborg Wheel Systems Czech Republic. Ta má v České republice několik výrobních závodů např. Zlín nebo Otrokovice a sdružuje pod sebe další divize (výroba, sklad, prodej). Hlavními výrobky Trelleborg Wheel Systems Czech Republic jsou agrární pneumatiky a pneumatiky pro stavební stroje. [24]



Obr. 21 Sklad Trelleborg Otrokovice [autor]

4.2 POPIS PROBLEMATIKY

Již z názvu diplomové práce je zřejmé, že se praktická část bude zabývat optimalizací již zavedeného skladovacího systému. Aktuálně používaný systém skladu dle informací získaných z firmy začíná být nedostačující. Během provozu dochází k situacím, kdy se plánované objednávky nestíhají expedovat v požadovaný čas, dochází k prostoji expedičních i příjmových kamionů a často musejí zaměstnanci pracovat přesčas, aby se naplnil expediční plán.

Byl tedy vznesen požadavek na optimalizaci aktuálního skladovacího systému. Ta by měla v co nejvíce optimální míře zvýšit rychlost průtoku materiálu ve skladu.

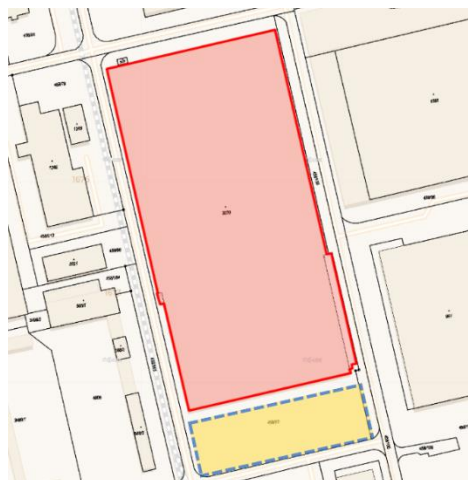
4.3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Centrální výrobní a distribuční sklad firmy Trelleborg Wheel Systems se nachází nedaleko výrobního závodu, který se specializuje na pneumatiky. Jsou to pneumatiky převážně agrární, které jsou dodávány pro zemědělské stroje, a pneumatiky pro stavební stroje jako jsou nakladače, rypadla apod.

Sklad tvoří samostatnou divizi firmy a je řízen interními pracovníky a manažery. Doprava hotového zboží z výrobního závodu je zajišťována kyvadlovou kamionovou dopravou, za kterou odpovídá externí firma. Jelikož jde o nepřetržitou výrobu, je zboží naváženo v pravidelných intervalech do skladu. Od počátku vstupu materiálu do skladu až po jeho expedici smluvními externími dopravci, přejímá sklad zodpovědnost za veškeré zboží.

4.3.1 STANOVENÍ HRANIC SYSTÉMU

Na Obr. 22 můžeme vidět územní plán a rozložení samostatného skladu. Červeně je vyznačen půdorys skladovací budovy, kterou je montovaná průmyslová hala. Před halou se nachází manipulační prostor (označen žlutě), do kterého přijíždějí kamiony k rampám s dodávkami zboží a také kamiony pro následnou expedici zboží.

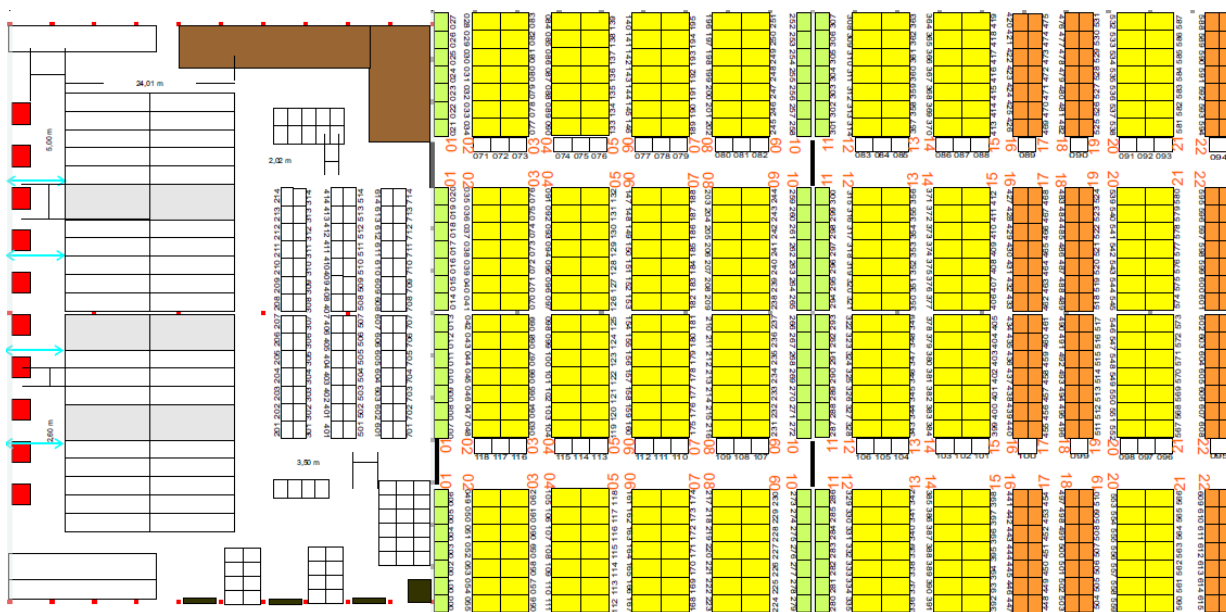


Obr. 22 Územní plán budovy skladu [autor]

Vymezení hranic systému pro náš příklad vychází ze samotného konceptu skladu. Za vstup do systému považujeme bod, kdy je materiál přijat od externího dodavatele, tj. moment vyložení zboží z kamionu na rampě do prostoru skladu. Do této chvíle je pro nás cesta a způsob jakým se zboží dopravuje do skladu nezajímavá, tudíž se jí nebudeme zabývat. Výstupním bodem systému určíme moment, kdy je zboží nakládáno do kamionů a expedováno příslušným prodejcem či velkoskladům. V momentě, kdy zboží opustí budovu skladu, přebírá veškerou zodpovědnost dopravce. Za fyzické hranice systému lze považovat budova skladu jako taková.

4.3.2 KONCEPT SKLADU

V návaznosti na předchozí literární rešerši této práce, uveďme základní definici skladu. Jedná se o jednopodlažní budovu, kterou je průmyslová montovaná hala nacházející se v soukromé průmyslové zóně. Skladování probíhá na volné ploše, kde jsou umístěny manipulační jednotky se zbožím. Tyto jednotky jsou stohovány a uloženy v řadách dle uvedeného schématu Obr. 23. Maximální počet stohovaných manipulačních jednotek je dán typem manipulační jednotky. Příjem a expedice zboží probíhá na stejné straně skladu, tudíž se jedná o hlavový sklad. V co největší míře je dodržován systém FIFO (First in – First out).



Obr. 23 Layout skladu [autor]

Červené čtverce označují rampy sloužící pro příjem a expedici zboží. Celkově se ve skladu nachází 10 ramp, z čehož 1 rampa slouží pro příjem zboží do skladu, 8 pro expedici zboží ven ze skladu a jedna zůstává nevyužita jako rezervní. Do prostoru před nakládacími a vykládacími rampami je vychystáváno zboží k expedici. Barevně jsou poté označeny jednotlivé skladovací pozice. Celkově se ve skladu nachází 22 uliček a 615 skladovacích pozic. Zelené a oranžové pozice mohou být půdorysně obsazeny pouze jednou manipulační jednotkou, žluté pozice umožňují obsadit dvě nebo tři manipulační jednotky za sebe v závislosti na jejich druhu.

Do barevných pozic je možno obsazovat pouze zcela plné manipulační jednotky. Pro jednotky, které nejsou zcela plné se využívají tzv. zlomkové pozice, které jsou umístěny na okraji řady s označením 071-118 (bílé znázorněny). V předním prostoru skladu jsou poté skladovány prázdné manipulační jednotky (Obr. 24).



Obr. 24 Prázdné manipulační jednotky [autor]

4.3.3 MANIPULAČNÍ JEDNOTKY

Zboží dovážené z výrobního závodu Trelleborg Wheel Systems tvoří agrární pneumatiky a pneumatiky pro stavební stroje. Portfolio výrobků je veliké a s ním i jejich různorodost. Pro zemědělské stroje jsou to z pravidla velkoobjemové pneumatiky velkých rozměrů, naopak pneumatiky pro manipulační techniku mají menší rozměry. Tomu musí být uzpůsobeny manipulační jednotky. Ty jsou speciálně navrženy a vyrobeny pro tento konkrétní závod a sklad.

Manipulační jednotky, nazývány taky paletami nebo klecemi, jsou dostupné ve čtyřech variantách. Každá jednotka je půdorysně stejná, aby byla zajištěna vzájemná stohovatelnost pro maximální využití skladovacího prostoru. Odlišeny jsou pomocí barev (světle modrá, tmavě modrá, světle zelená a tmavě zelená). Rozdíl mezi nimi tvoří pouze jejich výška. Díky sklopným bočnicím klecí je možné prázdné klece skladovat ve složeném stavu, díky kterému zabírají co nejmenší skladovací prostor.

Rozměry a jednotlivé označení klecí jsou uvedeny v příloze **PI**. Každý typ klece má výrobcem definovanou maximální nosnost, stohovatelnost v prázdném složeném stavu a stohovatelnost při plném obsazení klece.

Na Obr. 25 můžeme vidět plně naložené manipulační jednotky nastohované v jednotlivých skladovacích pozicích. Pro lepší stabilitu pneumatiky v kleci, jsou tyto opatřeny žlutými lištami, které jsou vidět na obrázku. Ty zabráňují pneumatice v samovolném pohybu a zamezují případnému pádu při manipulaci.



Obr. 25 Plné manipulační jednotky [autor]

4.3.4 MANIPULAČNÍ TECHNIKA

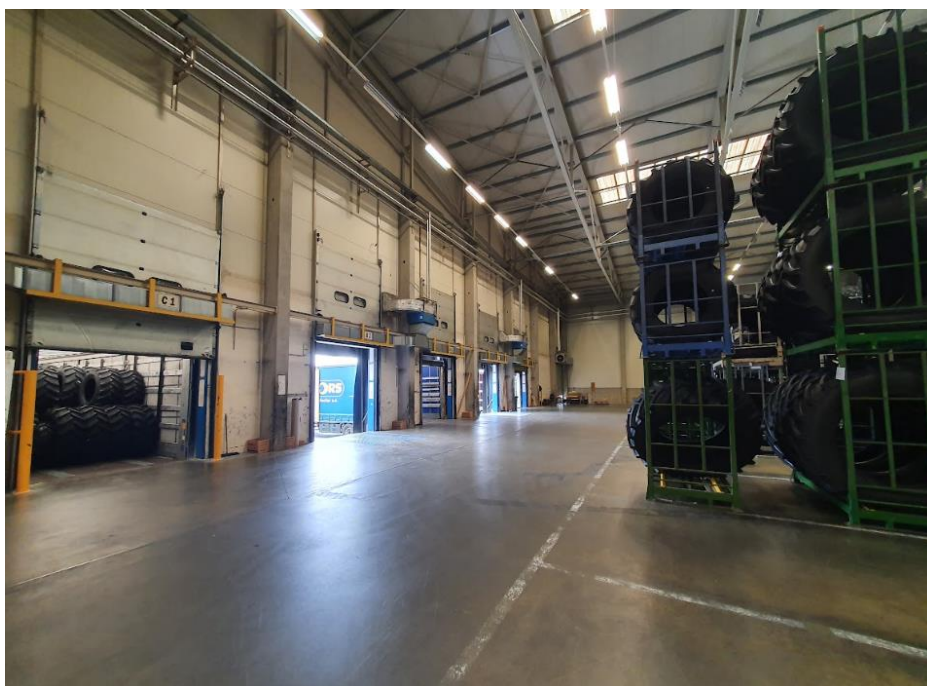
Manipulace s materiálem probíhá kombinovaně manipulační technikou a ruční manipulací pracovníků. Jedná se tedy o mechanizovaný sklad. Pro manipulaci s manipulačními jednotkami je využíváno vysokozdvizných vozíků, které slouží pro vyskladnění zboží z příjmu, uložení na jednotlivé skladovací pozice a následné vyskladnění do manipulačního prostoru expedice. Samotná expedice probíhá již ručně, kdy jsou jednotlivé pneumatiky vyjmuty z manipulačních jednotek a ukládány do příslušných kamionů.



Obr. 26 Vysokozdvizný vozík [autor]

4.3.5 MATERIÁLOVÝ TOK VE SKLADU

Příjem zboží do skladu probíhá dle provozu výroby. Ten je nepřetržitý, třísměnný s vymezenou nedělní pauzou od 14 do 22 h, kdy jsou měněny formy lisů a probíhá údržba. Tudíž i příjem do skladu funguje na třísměnný provoz se zmiňovanou pauzou. Na směně jsou vždy dva pracovníci zajišťující příjem zboží. Jeden za pomoci vysokozdvížného vozíku vyskladňuje kamion s manipulačními jednotkami, druhý poté tyto odváží do skladu na příslušnou skladovací pozici. Pro co největší vytížení kamionové dopravy je vždy přepravní kapacita kamionu plně využita. Při zpětné cestě kamionu, jsou nakládány prázdné manipulační jednotky a odváženy zpět do výroby pro jejich opětovné využití.



Obr. 27 Nakládkový a vykládkový prostor [autor]

Další tok materiálu probíhá při zpracování a následné expedici objednávky. Vychystání objednávek k expedici zajišťují dvě skupiny pracovníků. Tyto skupiny pracují na ranní provoz od 6 do 14 h pondělí až pátek. Celkově se skládají z osmi ručních manipulátů a dvou pracovníků s vysokozdvížným vozíkem. Ti přivážejí ze skladu zboží dle požadavku objednávky do prostoru nakládacích ramp, který můžeme vidět na Obr. 27. V jeden čas jsou nakládány vždy dva kamiony.

Tři pracovníci zajišťující ruční nakládku postupně vyskladňují pneumatiky z manipulačních jednotek podle toho, jak jsou jim dopraveny a nakládají je do příslušného kamionu. Čtvrtý pracovník vykonává administrativní práci, tiskne průvodky, kontroluje nakládku pneumatik, počet naložený kusů, správné typy dle objednávky atd. Průměrně za den je expedováno něco mezi 40 až 60 kamionů, přičemž jedna nakládka zabere do 30 minut. Prázdné manipulační jednotky odváží pracovníci s vysokozdvížným vozíkem na místo pro jejich uskladnění.

4.3.6 INFORMAČNÍ TOK VE SKLADU

Celý výrobní závod včetně skladu pracuje na jednotném informačním systému SAP (System Analysis Program). Jedná se o software německé společnosti SAP SE a její název ve volném překladu do češtiny znamená: „program pro systémovou analýzu“. Má za úkol centralizovat všechny podnikové procesy s efektivním zpracováním dat. Různé platformy softwaru propojují všechny části podniku a ukládají informace do společné databáze, ke které mají přístup všichni uživatelé různých částí podniku. Tím je eliminována duplikace dat a sníženo riziko vzniku chyb při jejich přenosu. [9]

SYSTÉM OBJEDNÁVEK

Přijaté objednávky od zákazníků jsou zpracovány a vloženy do systému. Největšími zákazníky jsou přidružené obchodní sklady firmy Trelleborg po celém světě, do kterých je expedováno přibližně 90 % vyrobených pneumatik. Ty jsou dále distribuovány prodejci nebo zákazníkům. Zbylou část zákazníků tvoří přímo koneční velkoobchodníci v České republice. Maloobchodní, či kusový prodej z tohoto skladu není provozován.

Plán výroby je vytvářen taktéž na platformě systému SAP. Na základě historických údajů prodeje je vytvořen celoroční plán výroby. Jednotlivé objednávky, které přicházejí do systému jsou korigovány s výrobním plánem. Poptávky po konkrétních typech zboží jsou upravovány dle stavu výroby, či množství naskladněných kusů, aby bylo dosaženo rovnoměrného uspokojení všech zákazníků. Výroba pracuje v týdenních intervalech, kdy jsou vyráběny pouze omezené typy pneumatik. To je dáno technologií výroby pneumatik, kdy je pro změnu formy potřeba půldenní odstávka pro vychladnutí, změnu a opětovné nahřání nové formy. Proto se expedice objednávek koriguje s výrobním plánem závodu.

VÝROBNÍ A SKLADOVACÍ SYSTÉM

Jak již bylo zmíněno, výrobní a skladovací část podniku tvoří dva samostatné úseky. Oba tyto úseky využívají informační systém SAP se společnou datovou databází a čerpají výhod z toho plynoucích, uvedených výše. Jelikož je plán výroby stanoven dopředu, pracovník na výrobní lince přesně ví, jaké kusy a v jakém počtu mají být vyrobeny a expedovány do centrálního skladu. Na základě automaticky vygenerované průvodky tento materiál naloží do příslušné palety, označí ji průvodkou a odešle do centrálního skladu. Průvodka obsahuje informace např. o datu výroby, typu materiálu, počtu kusů, pohybu materiálu apod. Příklad výrobní průvodky můžeme vidět na Obr. 28.

Trelleborg Wheel Systems Czech Republic a.s.
 Dispatch form from production *****
 Průvodka [materiálu] Číslo 4927413482 / 0001

Datum účtování : 03.02.2023 Čas : 12:45:03
 Závod / sklad : 4/4204 Wts in production
 Sklad příjmu : 4701 FG warehouse
 Druh pohybu : 313 Movement type

Materiál : 4006310220000
 Šarže : 1
 Označení : 560/60R22.5 165D AGRITERRA 02 HD TL MI

Množství : 4 KS

Zn.uskladnění : **TOM** ↑
 This document is sticked to each pallet in production

Obr. 28 Výrobní průvodka [autor]

Na základě výrobní průvodky jsou jimi označené palety s materiálem odváženy do příslušného skladu pomocí kamionu. Při příjmu materiálu do skladu jsou palety vyskladněny z kamionu a proběhne vizuální kontrola přijatého materiálu. Jednotlivé výrobní průvodky jsou pak zadávány pracovníky do systému, který eviduje příjem zboží na výrobní sklad. Následně systém najde vhodné místo pro přijatou paletu ve skladovacím prostoru, vygeneruje novou skladovou průvodku a pracovník nahradí průvodku starou za novou.

Rozmíst'ování materiálu do skladovacích pozic se primárně řídí zaplňováním prázdných skladovacích pozic ze strany příjmu a expedice. Dalšími kritérii použitých při výběru skladovací pozice jsou:

- typ materiálu – do jedné skladovací pozice nesmí přijít různé druhy materiálu, jedna paleta vždy obsahuje jeden typ materiálu;
- týden výroby – pro efektivní udržení systému FIFO se do jedné skladovací pozice nesmí umístit materiál z různých týdnů výroby;
- typ palety – jelikož má každá paleta jiné rozměry a definovanou stohovatelnost, je dán počet palet, které se vejdu do příslušné skladovací pozice.

Na Obr. 29 můžeme vidět příklad skladovací průvodky. Ta obsahuje datum a čas příjmu zboží do skladu, pohyb materiálu (z výroby do skladu), typ a počet materiálu uložený v manipulační jednotce a označení příslušné skladovací pozice.

STEP 2 Informace o p zaskladnění
Receipt to the warehouse for the selected position

Skld. příkaz : 2325738/1
 Pořeba : 0 0
 Datum : 03.02.2023 13:04:34
 Závod/sklad : 4 / OKO Centrální sklad Otrokovice / 4701

4006310220000 1 CZ560/60R22.5 165D AGRITERRA 02 HD TL MI

E	099	001	4927413546	4	KS
Do	TOM	M53	B53-16-440	4	KS / 1M15

B53 - 16 - 440

Hmotnost CELKEM: 497,200 KG

Obr. 29 Skladovací průvodka [autor]

Při jakémkoliv pohybu manipulační jednotky, například při expedici nebo reorganizaci skladu, se tyto pohyby musí zaznamenávat do systému a vystavit průvodka nová. Na té je vždy uveden poslední pohyb z minulé na současnou pozici. Systém tak má přehled o každé uskladněné paletě, její pozici a zaplnění.

Při expedici je zboží vyskladňováno na základě objednávek. Vychystávání objednávek mají na starosti pracovní manipulanti. Dle přijaté zakázky, která je již evidována v systému, jim jsou nabídnuty možné skladovací pozice, které mohou být vyskladněny.

Logika vyskladňování materiálu ze skladu se řídí systémem FIFO a je vždy vyskladněn materiál, který jako první vstoupil do skladu. Systém nabídne pro vyskladnění materiál s nejstarším týdnem výroby, což by se dalo označit také za systém FEFO. První je expedováno zboží z tzv. zlomkových pozic. Jelikož ne vždy objednávka požaduje tolik kusů, kolik je v plné paletě, zůstávají na skladě neplné palety, které se uskladňují do těchto pozic. Ty jsou pak také jako první expedovány při další objednávce. Zbytek objednávky se poté vykrývá z palet plných, opět dle nejstaršího týdnu výroby. Palety určené pro expedici jsou označeny novou průvodkou obsahující informace o materiálu a kusech, jeho pohyb ze skladovací pozice do expedičního prostoru a číslo příslušné objednávky, která je expedována.

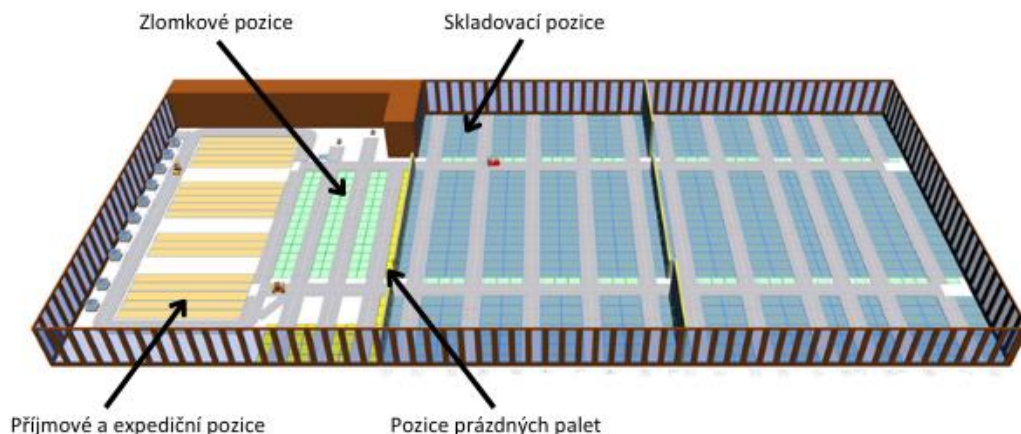
4.4 SIMULAČNÍ MODEL AKTUÁLNÍHO KONCEPTU

Vytvoření simulačního modelu a následné vyhodnocení výsledků simulace proběhlo v prostředí softwaru Tecnomatix Plant Simulation od společnosti Siemens. Jedná se o software navržený pro modelování, simulaci, analýzu a optimalizaci výrobních a logistických systémů a procesů. Program umožňuje vytvoření modelů od malých výrobních úseků až po velké komplexní modely celých firem, továren, či dodavatelských systémů. [10]

Výhodou vytvoření digitálního modelu výroby, či logistických úseků, je možná analýza současného, či budoucího stavu, za pomoci dynamické simulace, což nám značně ušetří vznik rizikových situací a velikost vynaložených financí s tím spojené oproti testování změn za reálného provozu. V modelu lze navrhnout několik možných scénářů při změně určitých parametrů a vybrat z nich ten nejefektivnější na základě námi stanovených požadovaných parametrů.

4.4.1 TVORBA SIMULAČNÍHO MODELU

Simulační model byl realizován na základě předchozí analýzy materiálového a informačního toku. Z vytvořeného layoutu aktuálního stavu skladu, byly jednotlivé prvky přeneseny do virtuálního prostředí softwaru a byla vytvořena digitální kopie skladu. Na Obr. 30 můžeme vidět vytvořený model skladu.

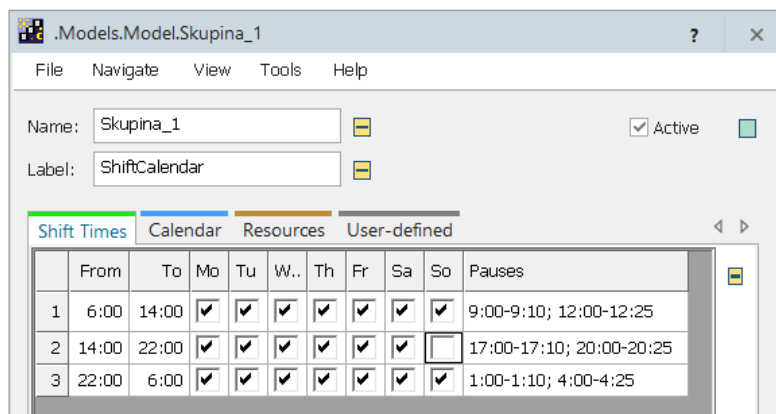


Jak již bylo zmíněno, hranici systému tvoří zdi skladu. Modré obdélníky na Obr. 30 představují jednotlivé skladovací pozice, ve kterých jsou skladovány plné manipulační jednotky. Zelené obdélníky představují zlomkové pozice pro neplné palety a žluté pro palety prázdné. V levé části jsou oranžově vyznačeny pozice určené pro vychystání materiálu určeného k expedici před jednotlivé expediční rampy. Vysokozdvíhací vozíky obsluhující jednotlivé skladovací pozice, příjmové a expediční rampy, jezdí po předem nadefinovaných obousměrných cestách, které tvoří uličky mezi skladovacími pozicemi.

4.4.2 VSTUPNÍ PARAMETRY MODELU

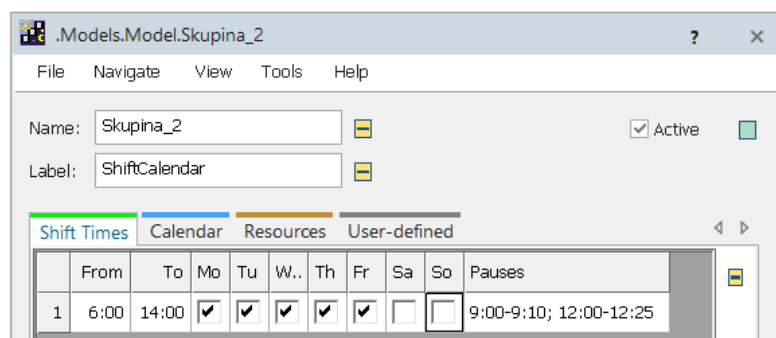
Prvními vstupními parametry pro vytvoření modelu byly informace získané z vyhotovené analýzy současného stavu skladu, jak bylo zmíněno výše. Především to bylo rozmístění jednotlivých prvků do modelu dle vytvořeného layoutu, velikosti a vlastnosti jednotlivých prvků, jejich počet atd.

Dalším vstupním parametrem byl směnový provoz, ve kterém je sklad provozován. Ten je standardně určen dle zákoníku práce. Pro první skupinu pracovníků, kteří se starají o příjem materiálu do skladu, je určen třísměnný provoz, který kopíruje provoz výrobního závodu. Jednotlivé směny lze v modelu nastavit a přiřadit pomocí prvku ShiftCalendar. Nastavení tohoto prvku pro první skupinu zaměstnanců můžeme vidět na Obr. 31.



Obr. 31 prvek ShiftCalendar pro skupinu 1 [autor]

Druhou skupinu pracovníků tvoří administrativní pracovníci a expediční manipulanti. Tito pracují na jednosměnný provoz pouze od pondělí do pátku. Nastavení a přiřazení prvku ShiftCalendar pro tuto skupinu lze vidět na Obr. 32.



Obr. 32 prvek ShiftCalendar pro skupinu 2 [autor]

Při analýze systému skladu byly zjištěny průměrné délky pracovních úkonů a událostí, které se ve skladu uskutečňují. Tyto hodnoty byly použity jako vstupní parametry pro chod a řízení simulačního modelu. V Tab. 1 jsou uvedeny pracovní úkony a k nim přiřazená doba, po kterou je daný pracovní úkon vykonáván.

Tab. 1 Délka pracovních úkonů [autor]

Pracovní úkon	Průměrná doba trvání
Vyložení 1 palety z kamionu	35 s
Evidence palety v IS	1 min
Naložení palety na vozík	5 s
Uložení palety do skladovací pozice	10 s
Expedice 1 kamionu - do 10 ks palet	15 min
Expedice 1 kamionu - nad 10 ks palet	30 min

Posledními vstupními parametry do modelu byly použity získané historické údaje z firmy. Byla vygenerována data ohledně příjmu materiálu, a to ve složení:

- číslo shuttle kamionu z výroby;
- interní označení materiálu;
- počet kusů materiálu v jedné paletě;
- čas příjmu materiálu.

Tyto údaje byly použity pro generování a vstup jednotlivých dílů do vytvořeného simulačního modelu.

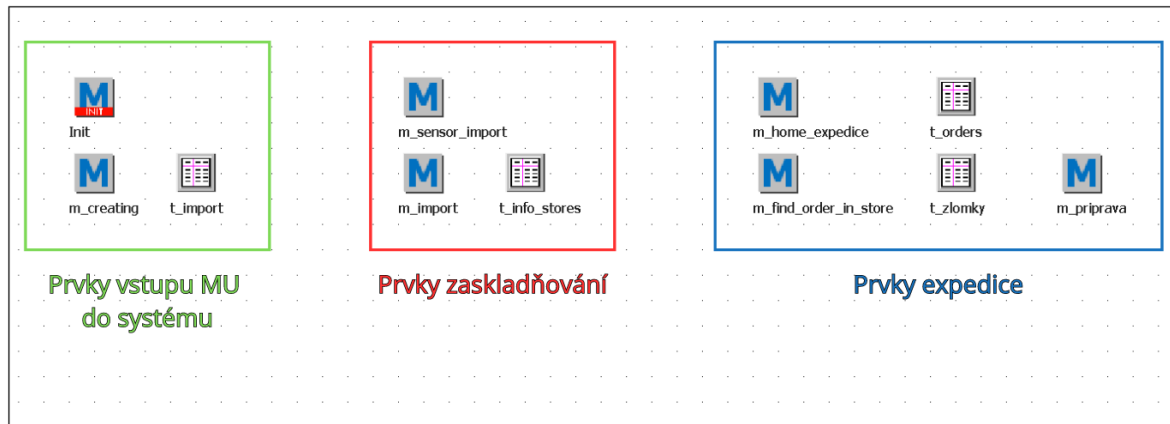
Pro simulaci expedice zboží na základě objednávek byla do modelu vložena data, která byla taktéž získána z firmy na základě historických údajů, a to ve složení:

- číslo shipmentu expedičního kamionu;
- interní označení expedovaného materiálu;
- počet kusů expedovaného materiálu;
- čas expedice do kamionu.

Všechna data ohledně příjmu i expedice zboží byla generována za období od 1. 1. 2022 do 31. 12. 2022, tudíž i experimenty byly tvořeny pro toto časové období.

4.4.3 ŘÍDÍCÍ FUNKCE SIMULAČNÍHO MODELU

Jak již bylo zmíněno, použitý software Tecnomatix Plant Simulation nabízí celou řadu nástrojů pro tvorbu simulačního modelu. Jedním z těchto prvků, který řídí chování modelu, je prvek *Method*. V něm je možné vytvořit script v programovacím jazyku SimTalk. Tento script je poté spouštěn v určitou potřebnou dobu právě prvkem *Method*.



Obr. 33 Řídící prvky modelu [autor]

ZPŮSOB VSTUPU MU DO SYSTÉMU

Základními aktivními prvky použitými v modelu jsou tzv. MU (Moveable Units). Tuto skupinu tvoří tři prvky:

- *part* – jedná se o prvek první úrovně reprezentující jeden kus dílu, může mít přiřazeny grafické a rozměrové vlastnosti, vždy však zabírá jednotkovou pozici;
- *container* – tento prvek druhé úrovně reprezentuje manipulační jednotku (paleta, box, kontejner), může mít přiřazeny grafické a rozměrové vlastnosti, je schopen pojmout do sebe prvky *part* nebo další prvky *container*, které mohou obsahovat prvky *part*;
- *transporter* – prvek třetí úrovně představující transportní zařízení (vozík, kamion atd.), který může mít přiřazeny grafické, rozměrové a další vlastnosti, umožňující přepravu výše dvou zmíněných prvků nebo sebe sama.

Vstup jednotlivých MU do skladu je řízen pomocí vytvořené metody *m_creating*, která je vyvolávána metodou *Init*, spouštějící se na začátku simulace. Metoda *m_creating* postupně generuje prvky *part*, které jsou ukládány do vytvořeného prvku *container*. Generování probíhá na základě vytvořené tabulky *t_import*, která obsahuje reálná data o příjmu pneumatik získané z firmy. Pro každý typ pneumatiky je předem stanoven typ palety, ve které je uskladněn. Po vytvoření dávky materiálu jsou díly pojmenovány a paleta odeslána pro následující zaskladnění.

Vývojový diagram způsobu vstupu MU do systému je uveden v příloze **P2**.

ZPŮSOB ZASKLADŇOVÁNÍ PŘIJATÝCH PALET

Po vygenerování a vstupu dílů do systému, jsou plné palety uloženy před prostor příjmové rampy, kde čekají na zavedení do informačního systému a vyzvednutí zavážecím vysokozdvížným vozíkem. Vysokozdvížný vozík pojmenovaný *Transporter_prijem* uskutečňující zavážku plných palet do skladu je generován prvkem *Source* a čeká, dokud nebude první paleta přichystána k zaskladnění.

U příjmové rampy je na cestě použit sensor, který spouští metodu *m_sensor_import*. Tento senzor je aktivní pouze pokud je zvolená destinace prostoru importu u zavážecího vysokozdvížného vozíku *Transporter_prijem*. Vozík zde čeká, dokud nebude připravena paleta pro zaskladnění. Jakmile se objeví paleta, kterou je možno zaskladnit, vyzvedne tuto paletu a spustí metodu *m_import*, pomocí které nalezne skladovací pozici pro uložení palety.

Samotná metoda *m_import* pracuje s tabulkou *t_info_stores*, která obsahuje seznam všech skladovacích pozic s informacemi o jednotlivém zaplnění těchto pozic, uložených paletách a týdnu výroby uložených dílů v paletách. Pomocí příkazu *find* je hledána v tabulce skladovací pozice, která je zaplněna shodnými pneumatikami se stejným týdnem výroby s pneumatikami určenými k zaskladnění. Pokud je taková pozice nalezena, je vozík s paletou odeslán na tuto skladovací pozici a paleta zaskladněna. V opačném případě je vybrána první volná skladovací pozice v tabulce. Odeslání vozíku probíhá poté analogicky. Po uložení materiálu do skladovací pozice je aktualizován stav uloženého materiálu v tabulce *t_info_stores*.

Vývojový diagram zaskladňování přijatých palet je uveden v příloze **P3**.

ZPŮSOB EXPEDICE DLE OBJEDNÁVKY

Na základě získaných dat o expedici materiálu v jednotlivých dnech byla vytvořena tabulka *t_orders*, ve které jsou tyto hodnoty uloženy. Pro vyvolání jednotlivých objednávek slouží metoda *m_home_expedice*, která dle informací z tabulky *t_orders* generuje objednávky. Forma uložených dat je složena z data expedice, čísla expedovaného shipmentu, typu materiálu a kusech. V tomto formátu jsou informace o dílčí objednávce uloženy do interní tabulky expedičního vysokozdvížného vozíku generovaného prvkem *Source* s názvem *Transporter_expedice*. Po uložení informací je vyvolána metoda *m_find_order_in_store*, která má za úkol nalézt požadovaný materiál na skladě.

Metoda *m_find_order_in_store* prvně pomocí příkazu *find* prohledá informace o zlomkových pozicích, jestli zde není požadovaný materiál k expedici. Informace o uložených jednotkách ve zlomkových pozicích jsou uloženy v tabulce *t_zlomky*. Pokud tento materiál zde najde, vyšle vozík pro jeho vyzvednutí. Jestliže se ve zlomkových pozicích nenachází žádný vhodný materiál k expedici, pokračuje v hledání ve skladovacích pozicích s plnými paletami. Zde se řídí kritériem výběru dle nejstaršího týdne výroby pneumatiky.

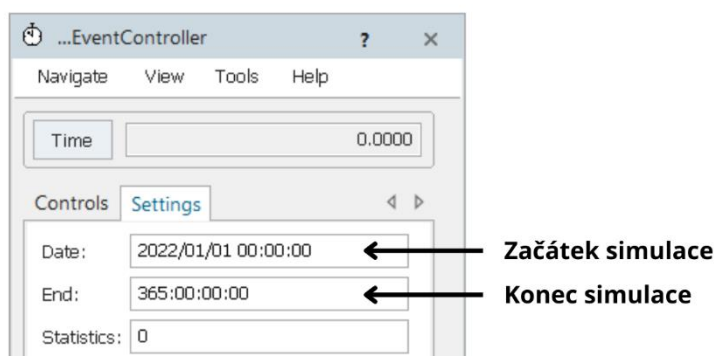
Po nalezení požadovaného materiálu ve skladě je ze skladovacího prostoru přivezena paleta do prostoru „přípravy“. Zde je vyvolána metoda *m_priprava*, která má za úkol zjistit požadovaný počet pneumatik v objednávce. Pokud je požadovaný počet shodný s počtem pneumatik na přivezené paletě, jsou pneumatiky odvezeny na expedici. Pokud je počet přivezených pneumatik větší, než počet požadovaných, přesune pracovník expedičního vozíku kusy, které jsou navíc do prázdné palety a odveze požadovaný počet pneumatik na expedici. Zbylé kusy zaskladní zpět, ovšem již do zlomkové pozice neplných palet. V případě, že přiveze menší počet pneumatik, než je požadován, odveze tyto kusy na expedici, vyvolá znovu metodu *m_find_order_in_store* a pokračuje v plnění objednávky dle popisu výše.

Vývojový diagram metody pro nalezení objednávky ve skladu je uveden v příloze **P4** a vývojový diagram metody přípravy je uveden v příloze **P5**.

4.4.4 VERIFIKACE A VALIDACE SIMULAČNÍHO MODELU

Jednotlivé pracovní úkony ve vytvořeném simulačním modelu jsou uskutečněny pomocí metod, které jsou tvořeny programovacím jazykem SimTalk. Tento jazyk umožňuje vytvářet funkce pro řízení systému díky jednoduchým příkazům. Vytvořené příkazy mohou být odkontrolovány prvkem *brakepoint*, který nám umožňuje sledovat chování kódů po jednotlivých rádcích. Při tvorbě modelu byly takto všechny řídicí metody odkontrolovány, taktéž bylo kontrolováno reálné chování simulace po jednotlivých úkonech díky grafické vizualizaci. Jelikož všechny části modelu a simulace pracovaly dle očekávání, považujeme tento model za verifikovaný.

Vstupními daty, se kterými model pracoval, byly reálné objednávky získané od firmy za jeden kalendářní rok 2022. Ty byly vloženy do modelu a na jejich základě byly tvořeny odvolávky pro expedici zboží ze skladu. Pro validaci modelu byl sledován počet expedovaných kusů v simulační délce jednoho kalendářního roku. Délka simulace byla nastavena v prvku EventController, který můžeme vidět na Obr. 34. Ten nám řídí časový běh simulace, metodu časového běhu, či rychlost simulace.

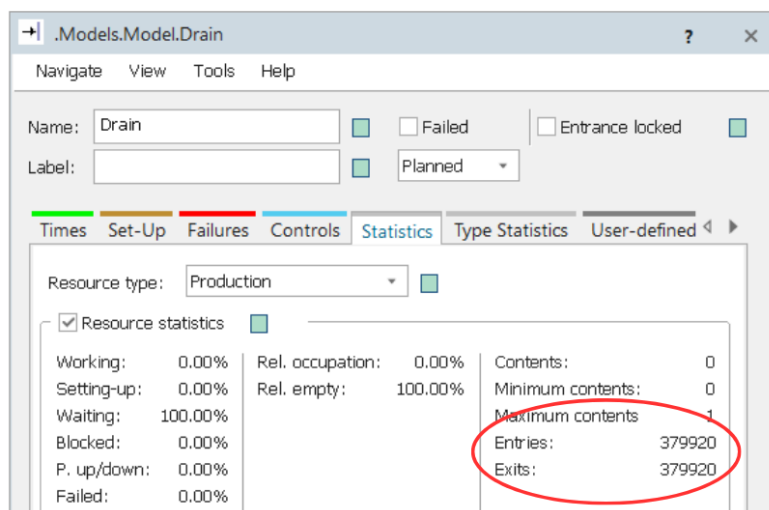


Obr. 34 Prvek EventController [autor]

Celkový počet expedovaných kusů za kalendářní rok 2022 dle získaných údajů z firmy je uveden v Tab. 2. Pro sledování exportovaných kusů v modelu během simulace byl použit prvek *Drain*, do kterého odcházely všechny expedované kusy. Tento prvek má ve svých základních vlastnostech zabudovanou funkci sledování statistických údajů. Jedním z údajů je počítání průchodu dílů přes tento prvek. Výsledek této statistiky můžeme vidět na Obr. 35. Porovnáním reálné hodnoty exportovaných kusů v Tab. 2 s výstupní hodnotou exportovaných kusů simulačního modelu na prvku *Drain* (Obr. 35) můžeme říci, že se sobě rovnají a považovat model za validovaný.

Tab. 2 Počet expedovaných kusů [autor]

Datum	Expedované kusy
1.1.2022 – 31.12.2022	379920 ks



Obr. 35 Prvek Drain [autor]

5 NÁVRH NOVÉHO KONCEPTU SKLADU

Tato kapitola práce se bude zabývat návrhem nového konceptu skladovacího systému. Úkolem práce je vytvoření optimalizace stávajícího systému pro dosažení lepší průchodnosti materiálu skladem. V prvním kroku bude provedena analýza historických údajů, přičemž bude hledán rozdíl sezónnosti prodeje mezi určitými skupinami zboží. Následovat bude návrh časových posloupností pracovních úkonů, které ve skladu probíhají. Jednou z možných optimalizací, která bude navržena, bude změna layoutu skladovacích pozic. Dále bude vytvořena nová zavážecí funkce, která na základě odbytu jednotlivých typů pneumatik bude přiřazovat jejich umístění ve skladu. Na závěr bude vytvořen počítačový model nového konceptu skladu s provedením experimentu.

5.1 ANALÝZA HISTORICKÝCH ÚDAJŮ

Na základě získaných historických údajů z firmy Trelleborg Wheel Systems byla vytvořena analýza zpracovávající data ohledně toku materiálu ve skladu v délce jednoho roku. Rozčleněním materiálu do několika sekcí byla zjištěna jejich závislost počtu expedovaných kusů na jednotlivých měsících v roce.

5.1.1 ROZČLENĚNÍ MATERIÁLU

Pro tvorbu analýzy je nejprve nutné rozčlenit skladovaný materiál do několika skupin. Na základě toho bude hledána závislost sezónnosti prodeje mezi danými skupinami materiálu. Skladovaný materiál tvoří pneumatiky pro technická vozidla a zařízení, které lze rozčlenit do následujících třech skupin.

První skupinu tvoří pneumatiky určené pro agrární stroje. Ty se vyrábějí v několika rozměrových variantách s různými vlastnostmi a typy dezénu, které jednotlivé stroje vyžadují. Těmito stroji mohou být například kombajny, traktory, lesní vyvážedky, valníky, cisterny apod.

Druhá skupina obsahuje pneumatiky dodávané pro stavební stroje. Tyto pneumatiky, oproti agrárním pneumatikám, jsou vyráběny pro daleko náročnější provoz a větší zatížení. Jejich konstrukce často obsahuje ocelové výztuhy, které zvyšují hmotnost pneumatiky a tím i zhoršují podmínky při jejich manipulaci. Určené jsou například pro kolové rypadla, kolové nakladače, grejdry, mobilní jeřáby apod.

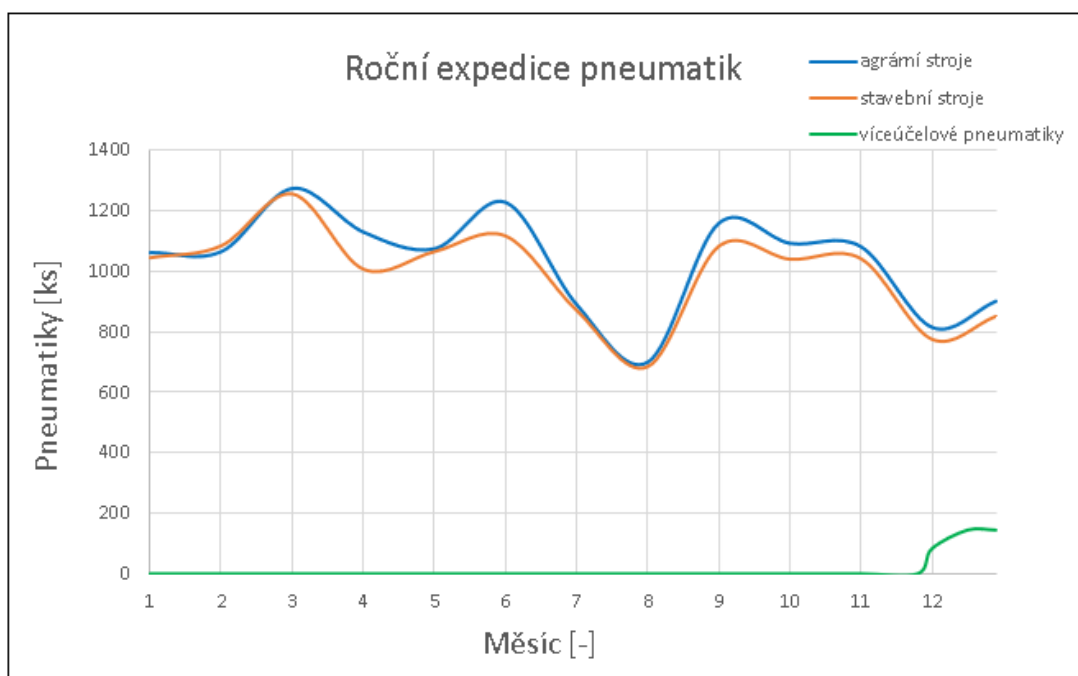
Poslední skupina zahrnuje zbylý skladovaný sortiment. Zde byly zařazeny víceúčelové pneumatiky používané například pro univerzální údržbová vozidla nebo vojenská vozidla. Nachází se zde také pneumatiky pro tractor pullingové závody.

5.1.2 ANALÝZA DAT

Výchozí data, jež byla získána z interní databáze SAP, obsahují informace o toku materiálu ven ze skladu za jeden konkrétní rok. V porovnání s předchozími lety byl trend toku materiálu v podstatě totožný, proto byl zvolen interval analýzy jednoho roku. Data obsahují informace o jednotlivých objednávkách, které byly expedovány ze skladu v roce 2022 a to ve složení:

- datum;
- číslo objednávky;
- označení expedičního kamionu;
- označení expedovaného zboží;
- počet expedovaného zboží.

Na Obr. 36 můžeme vidět graf znázorňující pohyb materiálu jednotlivých skupin pneumatik v počtu jejich kusů v závislosti na jednotlivých měsících v roce.



Obr. 36 Graf závislosti počtu expedovaných pneumatik v roce [autor]

Dle získaných závislostí mezi první a druhou skupinou pneumatik můžeme v grafu pozorovat jejich téměř totožný průběh. Na základě toho můžeme konstatovat, že se zde nenachází nějaký významný rozdíl mezi sezónností prodeje první a druhé skupiny, který by mohl být využit pro tvorbu matematického predikčního modelu. Trend poptávky po obou skupinách pneumatik je téměř stejný po celý rok. Třetí skupina pneumatik je vyráběna a expedována pouze ve dvanáctém měsíci v roce, a to v množství, které je v celkovém počtu ostatních pneumatik zanedbatelné. V rámci organizace skladu můžeme navrhnout primární uskladnění těchto typů pneumatik v zadní části skladu, aby neobsazovaly pozice bližší k expedičním rampám. Tento návrh změny aplikujeme v další části práce, při návrhu nové zavážecí funkce.

5.2 NÁVRH ČASOVÝCH POSLOUPNOSTÍ PRACOVNÍCH ÚKONŮ

U tvorby návrhu časových posloupností pracovních úkonů budeme vycházet z analýzy materiálového a informačního toku ve skladu. Jak již bylo zmíněno, pracovní úkony provádí dvě skupiny zaměstnanců. První skupina pracovníků zajišťuje příjem zboží do skladu a druhá skupina pracovníků provádí expedici výrobků ven ze skladu.

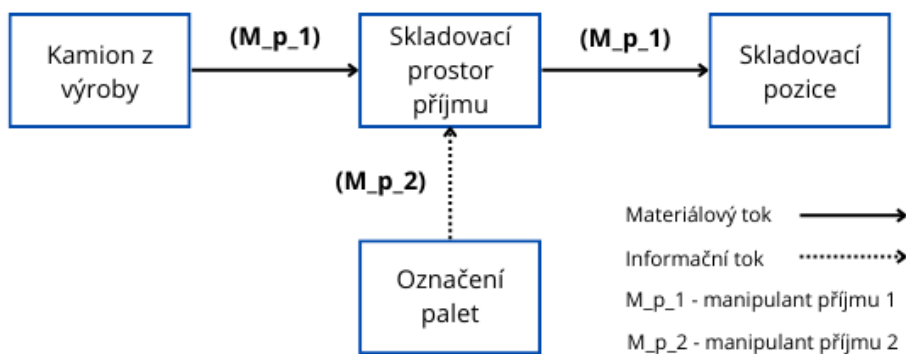
5.2.1 PŘÍJEM ZBOŽÍ

Při dodávkách je zboží přiváženo z výroby do skladu pomocí kyvadlové kamionové dopravy. O vyskladnění zboží z kamionu a následné zaskladnění na skladovací pozici se starají dva pracovníci na každé směně. Z předchozí analýzy systému skladu víme, že vyskladněné palety je potřeba nejprve vložit do informačního systému, který pro ně následně vybere vhodnou skladovací pozici ve skladu, vygeneruje skladovací průvodku a pracovník ji musí vyměnit za průvodku starou.

Označme si jednotlivé pracovníky jako M_p_1 (Manipulant příjmu 1) a M_p_2 (Manipulant příjmu 2). Při příjezdu kamionu do prostoru příjmové rampy začne pracovník M_p_1 vyskladňovat kamion za pomoci vysokozdvizného vozíku do prostoru před příjmovou rampou. Zde jsou uloženy palety, které přišly z výroby a nemají ještě určenou skladovací pozici. Při vykládce palet začne druhý pracovník M_p_2 zadávat postupně palety do informačního systému. Postup práce označení jedné palety probíhá ve sledu:

- odstranění výrobní průvodky z palety;
- přesun pracovníka k počítači s informačním systémem;
- vložení palety do informačního systému na základě výrobní průvodky;
- vygenerování nové skladové průvodky;
- přesun pracovníka k paletě a označení palety skladovací průvodkou.

Jakmile pracovník M_p_1 dokončí vykládku kamionu, začne postupně zavážet palety, které již zavedl do systému pracovník M_p_2, na příslušné skladovací pozice dle nových skladovacích průvodek. Na Obr. 37 je graficky znázorněna posloupnost pracovních úkonů při příjmu zboží do skladu.



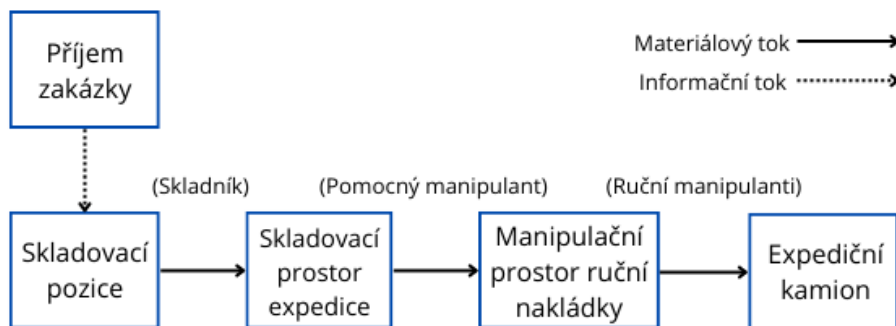
Obr. 37 Posloupnost pracovních úkonů příjmu zboží [autor]

5.2.2 EXPEDICE ZBOŽÍ

Vyskladňování zboží ze skladu a následnou expedici na základě zpracovaných přijatých objednávek zajišťuje druhá část pracovníků ve skladu. Jak již bylo zmíněno, jedná se o dva zaměstnance obsluhující vysokozdvizné vozíky a skupinu osmi manipulantů, uskutečňující ruční nakládku pneumatik do kamionu. Expedice zboží probíhá pouze na ranní směně v pracovní dny v týdnu.

V novém konceptu je navržen systém, kdy jeden pracovník obsluhující vysokozdvizný vozík, nazvěme ho *Składník*, vychystává objednávky ze skladu do skladovacího prostoru expedičních ramp, které se nacházejí v levé části skladu. Dle vyhotoveného denního plánu expedice objednávek vyskladňuje postupně zboží, které bude čekat na expedici do kamionu. Druhý pracovník obsluhující vysokozdvizný vozík, nazvěme ho *Pomocný manipulant*, má za úkol vypomáhat manipulační technikou *ručním manipulantům*. Především se jedná o přiblížení plných palet ze skladovacího prostoru expedice k příslušné expediční rampě. Poslední skupina *ručních manipulantů* se skládá ze dvou podskupin. Podskupinu tvoří čtyři pracovníci, kteří mají za úkol ruční ložení pneumatik do expedičního kamionu. Po expedici nachystané palety od *Pomocného manipulanta* je přivezena nová paleta nachystaná k expedici a prázdná paleta odvezena na příslušnou skladovací pozici prázdných palet.

Na Obr. 38 můžeme vidět vytvořené grafické zpracování jednotlivých navržených pracovních úkonů při expedici zboží. Tato posloupnost byla navržena z důvodu možné tvorby určité zásoby přichystaného zboží určeného k expedici a tím omezení vzniku možných prostožů při nakládce kamionu.



Obr. 38 Posloupnost pracovních úkonu expedice zboží [autor]

5.3 NÁVRH NOVÉHO ROZMÍSTĚNÍ LAYOUTU

Jednou z nabízejících se možností, jak optimalizovat materiálový tok ve skladu při vynaložení co nejmenších nákladů, je změna rozvržení layoutu skladovacích pozic. Jelikož se v našem případě jedná o skladování na volné ploše, není při změně layoutu zapotřebí speciálních operací, přesunu regálů, dopravníků apod. Díky softwaru Tecnomatix Plant Simulation jsme schopni zjistit vliv změny layoutu na tok materiálu za pomoci dynamické simulace.

Aktuální koncept skladu, který nalezneme výše na Obr. 23, využívá číslování skladovacích pozic v hadovitém tvaru po řádcích, počínaje od strany příjmu zboží. Zlomkové pozice jsou poté číslovány od zadní části skladu a pokračují směrem k přední části skladu. Systém, který řídí zaskladňování palet do skladovacích a zlomkových pozic, přiřazuje palety do těchto pozic na základě první volné pozice, která se nachází ve vztupném číslování skladovacích a zlomkových pozic.

V novém konceptu layoutu, který můžeme vidět na Obr. 39 nebo ho nalézt v příloze P6, je zvoleno číslování skladovacích pozic postupně po řádcích, vždy s nejnižším číslem z řádku ve spodní části skladu. Pokud existuje vztah, mezi vytížeností jednotlivých skladovacích pozic a jejich označením, můžeme pouze změnou umístění v layoutu docílit určité optimalizace.



Obr. 39 Návrh nového rozložení layoutu [autor]

Číslování zlomkových pozic bylo vytvořeno postupně od strany expedice a příjmu zboží po zadní část skladu. Při zavážce palet do zlomkových pozic by mělo dojít ke zkrácení průměrného dojezdového času od zlomkové pozice k expediční rampě, díky primárnímu uskladňování zboží v bližších pozicích.

Navržená optimalizace na základě změny rozmístění layoutu bude otestována v simulaci v následující části této práce. Najdeme ji v matici experimentů pod označením čísla 2.

5.4 NÁVRH ZAVÁŽECÍ FUNKCE

Zavážení skladu je řízeno za pomoci informačního systému SAP. Ten za předem stanovených podmínek přiřazuje skladovací pozice jednotlivým paletám. Tyto podmínky byly již podrobně rozebrány v kapitole 4.3.6 této práce. Díky možnosti změny podmínek zavážky zboží do skladu, lze navrhnout efektivnější způsob uskladňování zboží s cílem přesunu co největší části materiálového toku do přední části skladu. To by mělo mít za následek zkrácení dojezdové vzdálenosti mezi příjmovou/expediční rampou a zbožím s vysokým odbytem, tudíž zkrácení průměrného času potřebného pro zavážku, či expedici zboží.

Díky historickým údajům o expedici zboží, bylo možné zjistit počet expedovaných kusů každého typu pneumatik za jednotlivé dny. Použitím výpočtu aritmetického průměru jsme získali průměrný počet kusů expedovaných pneumatik každého typu za jeden měsíc. Obecné řešení získání průměrného měsíčního odbytu je uvedeno v následujících rovnicích:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{y}_i \quad (1)$$

$$y = \sum_{j=1}^m a_j \quad (2)$$

kde \bar{x} je rovno aritmetickému průměru odbytu materiálu za měsíc, n je rovno počtu analyzovaných měsíců, y je množství expedovaných kusů za jeden měsíc, m se rovná počtu dní v příslušném měsíci, a je počet expedovaných kusů za jeden den.

Při porovnání výsledků aritmetických průměrů byl mezi jednotlivými pneumatikami zjištěn rozdíl v průměrném měsíčním odbytu. Na základě toho byly pneumatiky rozděleny do tří skupin podle jejich průměrného měsíčního odbytu. Dle těchto navržených skupin byl rozdělen layout na tři sekce (Obr. 40). Každá tato sekce obsahující vybrané skladovací pozice je přiřazena jedné odbytové skupině, viz. Tab. 3.

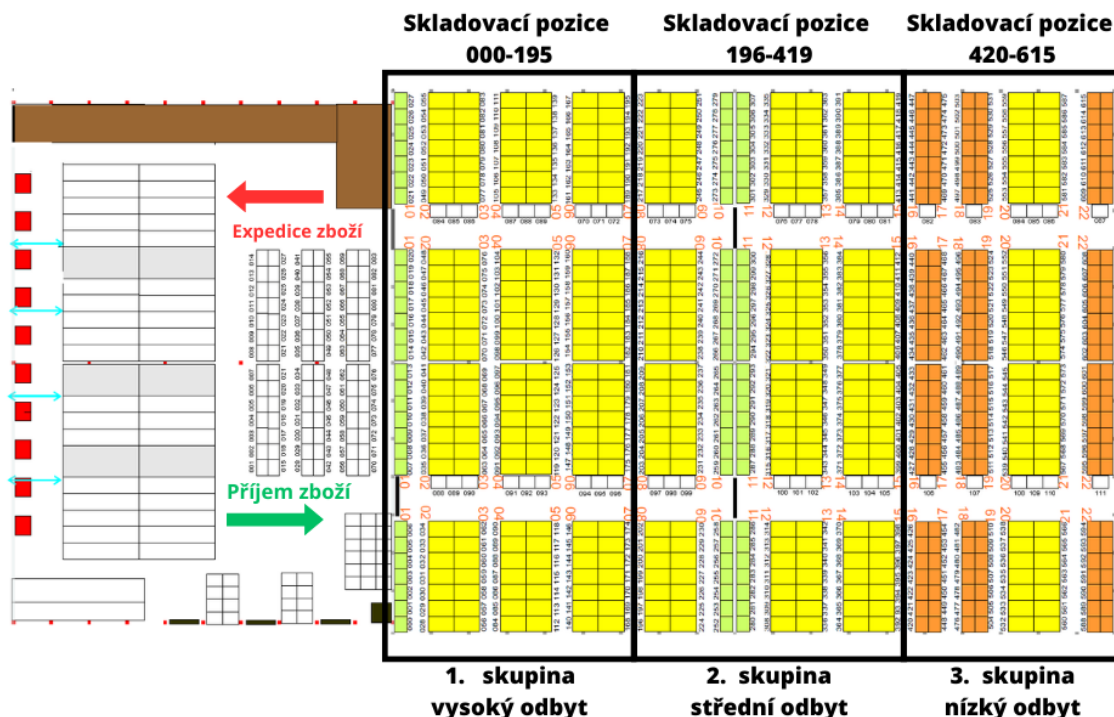
Tab. 3 Odbytové skupiny [autor]

Skupina	Odbyt	Skladovací pozice
1	vysoký	000–195
2	střední	196–419
3	nízký	420–615

Informace o přiřazení pneumatiky do příslušné odbytové skupiny byly zaneseny do tabulky t_{odbyt} , nacházející se v simulačním modelu. Metoda, která vytváří zavážku do skladovacích pozic, na základě typu přijaté pneumatiky vybere z tabulky příslušící odbytovou skupinu a použije tuto informaci při rozhodování, kam paletu se zbožím uložit.

Samotná zavázeční funkce byla v simulačním modelu vytvořena v programovacím jazyku SimTalk a spouštěna prvkem Method *m_new_import*. Základ této funkce je postaven na řídicí struktuře *switch*, která nám rozhoduje o primárním zařazení příchozí palety na skladovací pozici. Pokud je příchozí paleta přiřazena skupině 1, je primárně vyhledána vhodná pozice pro uložení v sekci příslušné této skupině. Analogicky funkce postupuje u zbylých dvou odbytových skupin. V případě, že není nalezena vhodná skladovací pozice v příslušné sekci, pokračuje hledání vhodné skladovací pozice v sekci nejbližší.

Vývojový diagram nově vytvořené zavázeční funkce je uveden v příloze P7.



Obr. 40 Rozdělení layoutu dle odbytu [autor]

Změnou zavázečního systému je předpokládán pozitivní vliv na materiálový tok ve skladu. Zboží s nízkým odbytem, které je expedováno v malém množství, bude uskladněno v zadní části skladu. Naopak zboží s vysokým odbytem a velkým množstvím expedovaných kusů bude uloženo v přední části, tudíž nejbliže k příjmovým a expedičním rampám. Tato teorie bude ověřena v následující části práce pomocí simulace provozu na modelu.

6 SIMULAČNÍ EXPERIMENTY

Poslední kapitola této práce se bude zabývat provedením simulačních experimentů na vytvořeném modelu. Dle navržených změn pro optimalizaci systému bude vytvořena matice experimentů, která zahrnuje rozdílné vstupní parametry pro simulaci a výsledky těchto simulací. Závěrem kapitoly budou shrnuty výsledky jednotlivých experimentů a celkové vyhodnocení experimentů s porovnáním se stávajícím stavem.

6.1 MATICE EXPERIMENTŮ

Pro otestování navržených změn ve skladovacím systému byl vytvořen soubor několika variant experimentů. Ty byly shrnuty pro přehlednost do vytvořené matice experimentů, kterou můžeme nalézt v příloze **P8**. Celkově bylo vytvořeno 8 simulačních experimentů s různými vstupními parametry, které jsou uvedeny v levé části matice. Pravá část matice poté shrnuje výsledky jednotlivých experimentů.

Za vstupní parametry, které se v každém experimentu lišily, byly zvoleny navržené optimalizační změny, které jsou popsány výše v kapitole 5. Na Obr. 41 můžeme vidět část vytvořené matice experimentů, ve které jsou uvedeny jednotlivé změny vstupních parametrů. Pro vyhodnocení experimentů byla zvolena jednotná délka simulace. Ta byla stanovena v rozmezí 365 dnů. Tato doba trvání simulace byla zvolena z důvodu chodu simulace podložené reálnými daty za jeden kalendářní rok. Pro eliminaci negativního vlivu náběhu systému do výsledků simulace, byl náběh systému zvolen v délce jednoho týdne, kdy byl sklad zavezen počáteční zásobou zboží. Tato doba se nepočítá do získaných výsledných statistických hodnot.

Číslo simulačního experimentu	Vstupní parametry simulace		
	Příjem/expedice	Layout	Zavážečcí funkce
1	Původní	Původní	Původní
2	Nová	Původní	Původní
3	Původní	Nový	Původní
4	Nová	Nový	Původní
5	Původní	Původní	Nová
6	Nová	Původní	Nová
7	Původní	Nový	Nová
8	Nová	Nový	Nová

Obr. 41 Vstupní parametry matice experimentů [autor]

První simulační experiment pod označením čísla 1, byl vytvořen se vstupními parametry, které odpovídají aktuálnímu systému skladu. Byl použit původní sled událostí příjmu a expedice zboží. Rozvržení layoutu zůstalo taktéž stejné, jak bylo popsáno výše při analýze současného stavu skladu. Použitá zavážečcí funkce skladu je v původní verzi, kdy se jedná o zavážení dle první volné pozice ve skladu. Výsledky tohoto experimentu nám umožní porovnat vliv nově navržených změn s aktuálním konceptem skladovacího systému.

U následujících simulačních experimentů s označením čísli 2 až 7 byly změněny vstupní parametry simulace na základě navržených optimalizací. Postupně je zjišťován vliv jednotlivých změn na vytvořeném simulačním modelu skladu. Prvním parametrem je použití nového návrhu časových posloupností pracovních úkonů při příjmu a expedici. Dalším optimalizačním parametrem, jež byl využit, je změna rozložení layoutu, která se oproti původní verzi liší v číslování skladovacích pozic ve skladu. Třetí parametr, u kterého je očekáván největší vliv na optimalizaci systému, je nově navržená zavázeční funkce. Vliv změny každého vstupního parametru je odzkoušen nejprve samostatně na původním modelu. Následně jsou vytvořeny experimenty v různých kombinacích vstupních parametrů, které můžeme vidět v matici experimentů na Obr. 41.

Simulační experiment pod označením čísla 8 aplikuje všechny navržené optimalizace zároveň. Vstupními parametry vytvořené simulace jsou tak nový návrh časových posloupností pracovních úkonů, nový návrh rozložení layoutu a vytvořená zavázeční funkce na základě měsíčního odbytu jednotlivých pneumatik.

Sledované výstupní hodnoty experimentů jsou následovné:

- ujetá vzdálenost zavázečního vozíku – udává celkovou vzdálenost, která byla ujeta vysokozdvížným vozíkem při zavážení palet do skladu;
- ujetá vzdálenost expedičního vozíku – udává celkovou vzdálenost, která byla ujeta vysokozdvížným vozíkem při expedici palet;
- celková ujetá vzdálenost zavázečního a expedičního vozíku

6.2 VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

Výsledky získané z provedených experimentů na simulačním modelu můžeme nalézt v příloze **P8**. Nacházejí se v pravé straně matice experimentů. Ve třetím sloupci zprava se nachází počet ujetých kilometrů zavázečního vozíku. V předposledním sloupci je uveden počet ujetých kilometrů expedičního vozíku a poslední sloupec udává celkový počet najetých kilometrů obou vozíků během simulace. Zvýrazněn je poté experiment, který dosáhl nejvyšší optimalizace na základě změny vstupních parametrů oproti stávajícímu stavu.

Následující tabulka Tab. 4 udává vytíženost zavázečního a expedičního vozíku. Je to procento času, které vozík strávil přesunem materiálu z celkového času simulace.

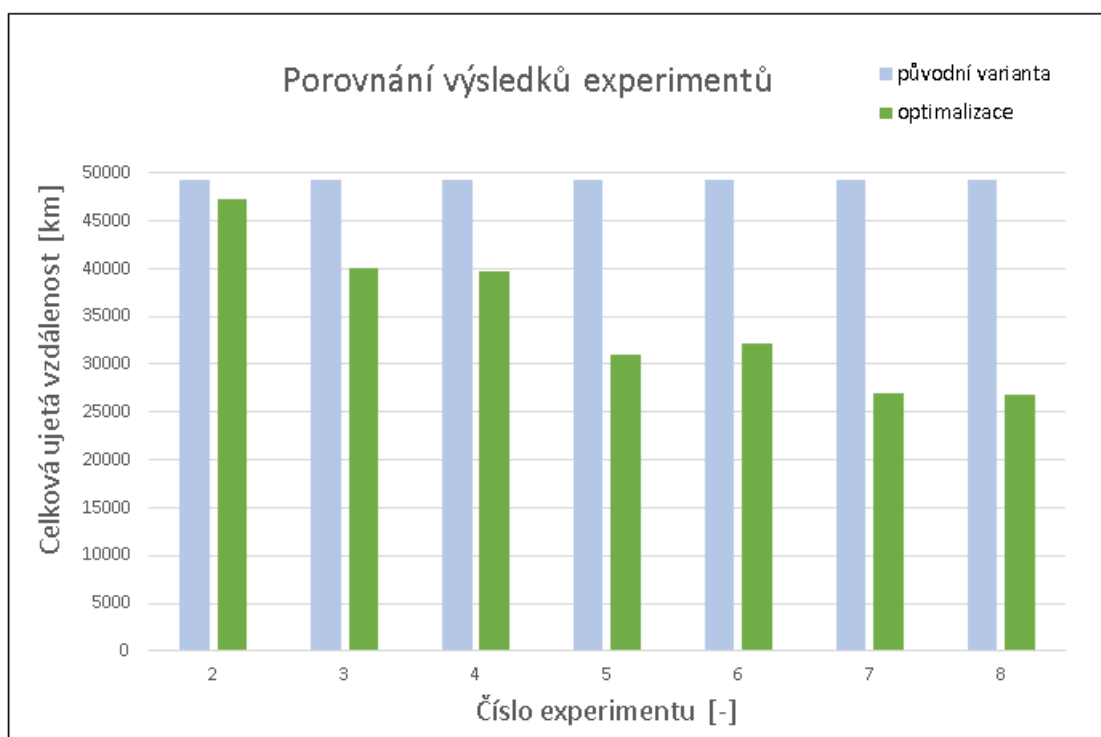
Tab. 4 Vytíženost zavázečního a expedičního vozíku [autor]

Číslo experimentu	1	2	3	4	5	6	7	8
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Vytíženost zavázečního vozíku	21,31	20,81	20,54	20,23	13,54	13,68	13,37	13,42
Vytíženost expedičního vozíku	5,15	4,12	3,72	2,82	3,4	2,73	2,59	1,93

6.3 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ

Výsledek prvního experimentu nám reflektuje současný stav fungování ve skladu. Díky získaným hodnotám ujetých kilometrů budeme schopni porovnat následující experimenty a vliv navržených optimalizací. V původní variantě experimentu zavážející vozík ujel 23 524 km a expediční vozík ujel 25 701 km. Celková ujetá vzdálenost obou vozíků činila 49 225 km.

Na Obr. 42 můžeme vidět výsledky provedených experimentů s optimalizačními změnami v porovnání s výsledkem experimentu na původním modelu. Modře je označena celková ujetá vzdálenost obou vozíků získaná z prvního experimentu, zeleně je poté označena celková ujetá vzdálenost vozíků jednotlivých optimalizovaných experimentů.



Obr. 42 Porovnání výsledků experimentů [autor]

Druhý provedený experiment, při kterém byl změněn postup práce při příjmu a expedici za zachování původního layoutu a zavážecí funkce, dosáhl velmi malé optimalizace v počtu ujetých kilometrů. Celková ujetá vzdálenost zavážejícího a expedičního vozíku byla 47 174 km. To je dáno tím, že navržená optimalizace se zabývá pouze časovou posloupností pracovních úkonů a jednotlivé funkce zavážení či rozmístění materiálu ve skladu zůstávají stejné.

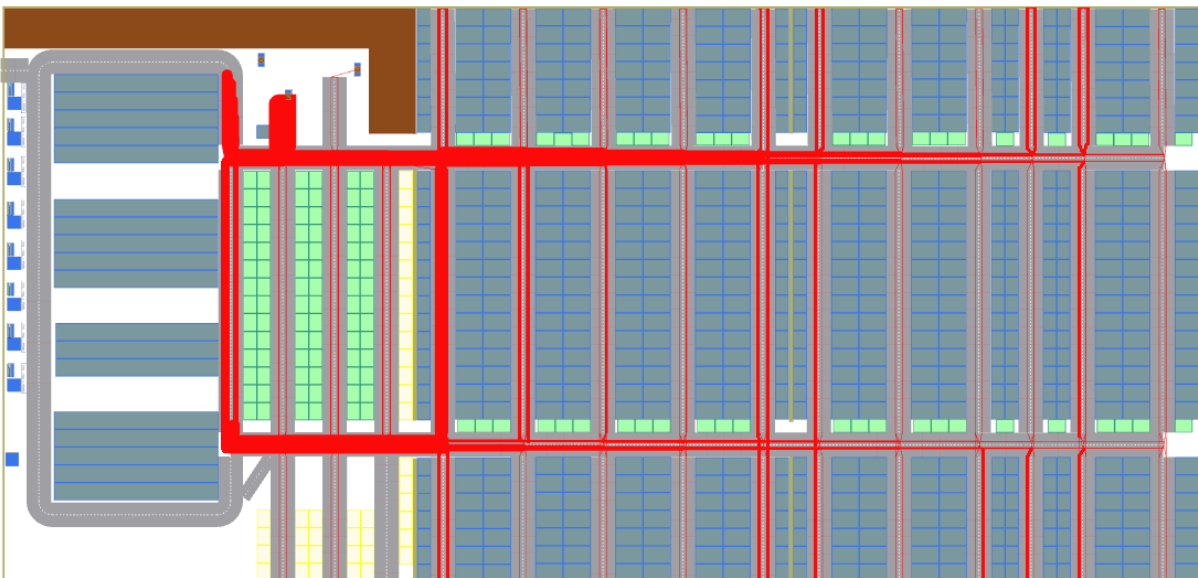
Experiment pod označením čísla 3 využívá nového rozmístění layoutu. Zde můžeme vidět velký vliv této změny na počtu ujetých kilometrů i vytíženosti vozíků. Novým rozvržením layoutu bylo dosaženo rovnoměrnější zavážky skladovacích pozic materiálem. Zavážecí vozík ujel vzdálenost 22 671 km a expediční vozík ujel vzdálenost 17 366 km. Celková ujetá vzdálenost obou vozíků byla 40 037 km.

Následující čtvrtý experiment využívá kombinaci dvou předchozích optimalizací. Tím je nový návrh časových posloupností prací a návrh rozvržení layoutu. Jak tomu bylo v předchozích variantách, došlo zde k významné optimalizaci v počtu ujetých kilometrů oproti původní variantě, avšak nijak zvlášť oproti variantě předchozí. Celková ujetá vzdálenost obou vozíků činila 39 742 km.

Pátý experiment, jež byl proveden na simulačním modelu, má původní rozvržení layoutu i časovou posloupnost pracovních úkonů. Změna zde nastala v nově navržené zavážecí funkci. Rozdělením skladovaného zboží do tří kategorií a přiřazením jednotlivým pozicím ve skladu, se podařilo snížit počet ujetých kilometrů u zavážecího vozíku na 14 945 km a u expedičního vozíku na 15 990 km. Dohromady poté oba vozíky ujeli vzdálenost 30 935 km. Jak bylo očekáváno, tato navržená optimalizace má největší vliv na výsledek experimentu.

Provedené experimenty 6, 7, a 8 jsou již kombinací výše zmíněných optimalizací. U šesté varianty došlo k mírnému nárůstu ujetých kilometrů oproti předchozí variantě. Nejlepšího výsledku ze všech navržených simulačních experimentů dosáhl poslední experiment pod označením čísla 8. Zde byl celkový počet ujetých kilometrů zavážecího a expedičního vozíku 26 837 km. Kombinací všech navržených optimalizačních změn bylo dosaženo nejvyšší optimalizace jak v počtu ujetých kilometrů, tak v procentu vytíženosti jednotlivých vozíků.

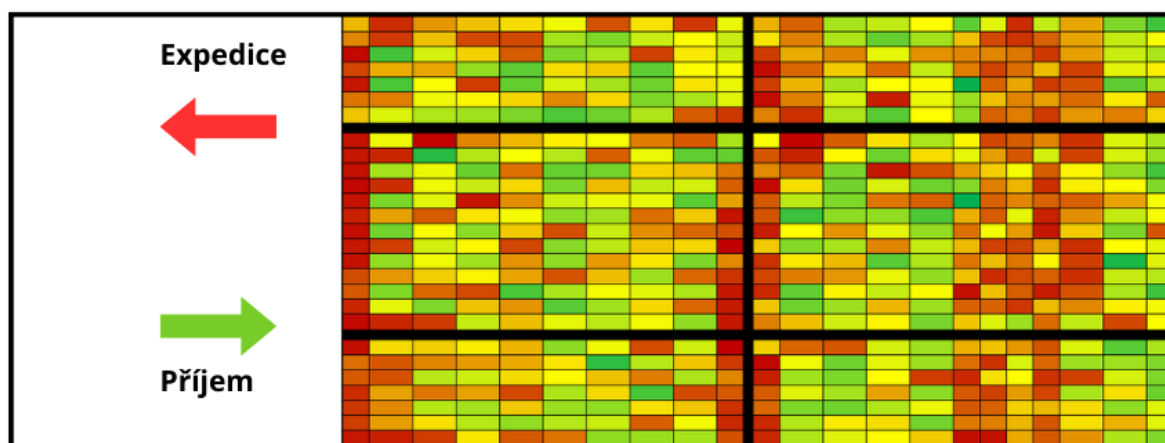
Pro grafické znázornění materiálového toku ve skladu byl vytvořen Sankeyův diagram. Pomocí něho můžeme sledovat intenzitu materiálového toku ve vytvořeném modelu. Tloušťka čáry diagramu nám vyjadřuje objem manipulovaného materiálu a orientace čáry směr, ve kterém byl materiál přemístěn. Sankeyův diagram je vygenerován softwarem Plant Simulation automaticky na konci simulace.



Obr. 43 Sankeyův diagram – původní varianta [autor]

Na Obr. 43 je vytvořený Sankeyův diagram pro původní variantu simulačního modelu. Materiálový tok je zde vyznačen pomocí červených čar. Z grafického hlediska můžeme usoudit, že tok materiálu je nejvíce soustředěn okolo příjmových a expedičních prostorů. Ve skladovacím prostoru skladu je materiálový tok víceméně rovnoměrně rozložen po celé ploše skladu.

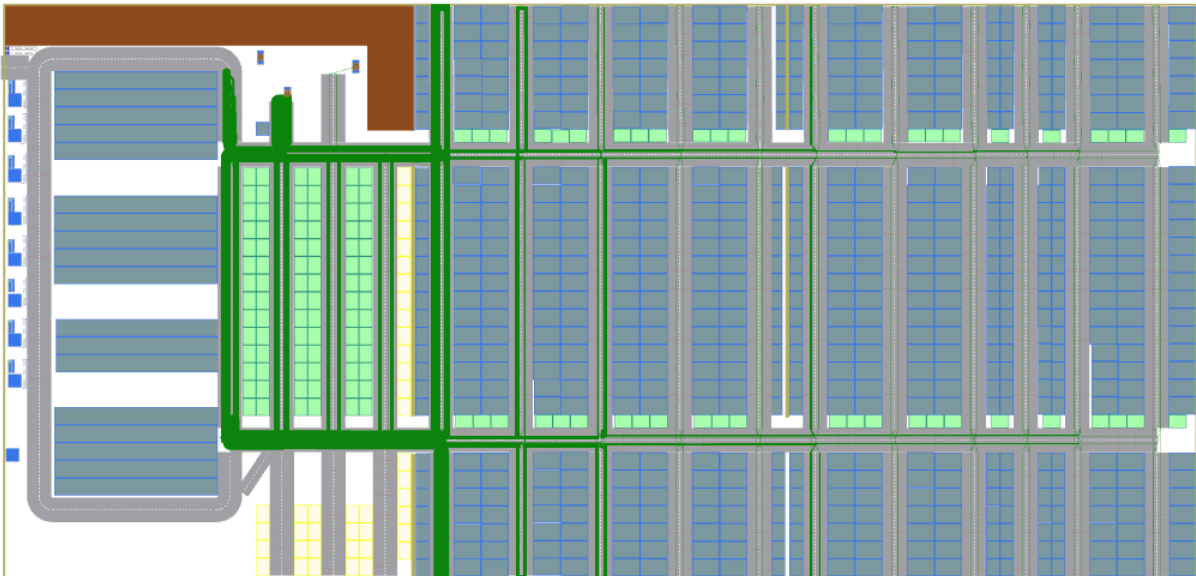
Pro přesnější znázornění toku materiálu ve skladu bylo vytvořeno schéma, které znázorňuje vytíženost jednotlivých skladovacích pozic. Pomocí barevného škálování jsou na Obr. 44 rozděleny jednotlivé skladovací pozice, přičemž zelená políčka představují skladovací pozice s nejnižší vytížeností (materiál zde byl uložen po dlouhou dobu) a červená políčka znázorňují skladovací pozice s nejvyšší vytížeností (častá obměna materiálu).



Obr. 44 Vytíženost skladovacích pozic – původní varianta [autor]

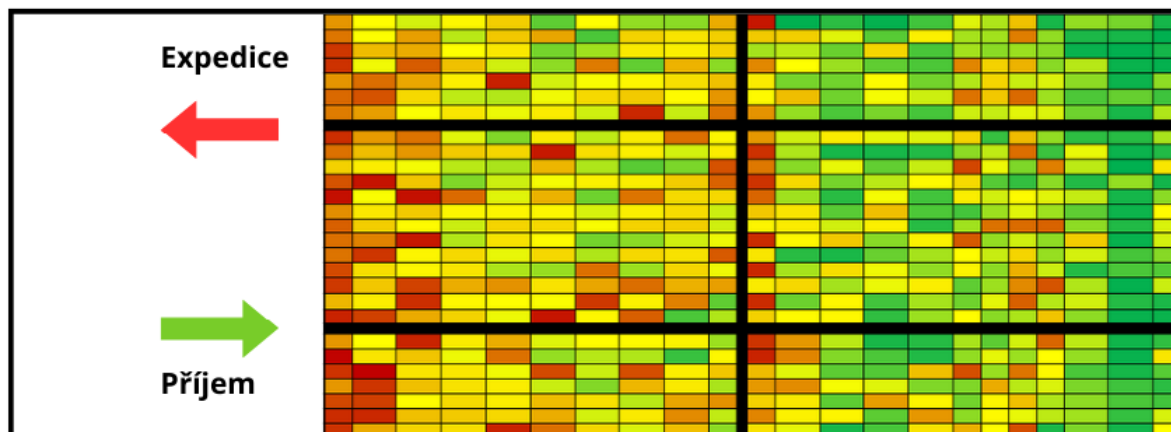
V porovnání se Sankeovým diagramem můžeme vidět shodu velikosti materiálového toku s mírou vytíženosti jednotlivých skladovacích pozic. V přední části skladu se nachází skladovací pozice, ve kterých je zbytečně dlouhodobě uskladněn materiál, který by mohl zaujmout místo v zadní části skladu. Naopak v zadní části skladu se nachází pozice, ve kterých je materiál často obměňován, a tudíž se prodlužuje vzdálenost, kterou ujedou vozíky pro jeho zaskladnění a vyskladnění.

Nejlepší optimalizace v počtu ujetých kilometrů a vytíženosti jednotlivých vozíků dosáhl experiment pod označením čísla 8. Pro tento experiment byl vytvořen také Sankeyův diagram, který můžeme nalézt na Obr. 45 s vyznačeným materiálovým tokem zelenou barvou. Opět můžeme vidět největší materiálový tok soustředěný okolo příjmových a expedičních ploch. Oproti původnímu stavu, kdy byl materiálový tok rozložen po celé ploše skladu, je po aplikaci optimalizačních návrhů ve variantě 8 docíleno přesunutí materiálového toku do přední části skladu, jak lze vidět na Obr. 45. Bylo také docíleno častější obsluhy zlomkových pozic, které jsou umístěny blíže expedičním rampám, čímž se nám zmenšil materiálový tok v prostoru skladovacích pozic.



Obr. 45 Sankeyův diagram - 8. experiment [autor]

Znázornění vytíženosti jednotlivých skladovacích pozic 8. varianty experimentu je uvedeno na Obr. 46. Také zde můžeme vidět, že materiálový tok v Sankeyově diagramu se shoduje s vytížeností skladovacích pozic. Oproti původní variantě byl materiál v předních skladovacích pozicích častěji obměňován. Dlouhodobě uskladněný materiál se přesunul do zadní části skladu a uvolnil místo v části přední. Tím došlo k očekávanému snížení počtu ujetých kilometrů vozíků, a tudíž k optimalizaci skladovacího zařízení.



Obr. 46 Vytíženost skladovacích pozic - 8. experiment [autor]

6.4 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH ZMĚN

Navržené změny, které byly vytvořeny a aplikovány na simulačním modelu, vykazují zlepšení toku materiálu oproti původní stávající variantě, a to i ve všech jejich kombinacích. První navržená varianta nedosahuje oproti zbylým variantám nijak zvlášť uspokojivou optimalizaci, ovšem v kombinaci s ostatními navrženými změnami přináší pozitivní výsledky. Druhý návrh optimalizace layoutu přináší již velmi pozitivní výsledky na celkovou optimalizaci skladu. Poslední navržená úprava zavázeční funkce vykazuje nejlepší výsledek optimalizace oproti předchozím dvou variantám. Z vyhodnocení experimentů lze stanovit, že nejlepší aplikovanou variantou je varianta navržených změn číslo 8, která kombinuje všechny navržené optimalizace dohromady.

Mezi benefity, které tato optimalizace přináší, patří signifikantní úspora ujeté vzdálenosti zavážecího a expedičního vozíku a také snížení celkové vytíženosti obou vozíků. Úsporou najetých kilometrů lze značně ušetřit na nákladech, které jsou vynaloženy pro provoz vozíků, především paliva. Čím méně vozíky ujedou kilometrů, tím více se ušetří na nákladech za spotřebované palivo. Celková míra úspory najetých kilometrů v simulaci byla necelých 46 %. Dále se dosáhlo snížení vytíženosti manipulačních vozíků, čímž byl snížen průměrný čas potřebný pro zavážku a expedici zboží. Díky navrženým optimalizacím není potřeba razantně zasahovat do současného stavu skladu.

ZÁVĚR

První část diplomové práce se zabývala teoretickými pojmy v logistice. Byly zde uvedeny přesné definice odborných výrazů dodavatelského systému a dodavatelského řetězce. Následovalo vytvoření přehledu ve skladovacích systémech a skladovacích technologiích, který dopomohl k lepšímu pochopení a orientaci v dalších částech této práce. Zvláštní pozornost byla věnována technologii skladování pneumatik.

V navazující části práce byla nejprve představena společnost, s níž probíhala spolupráce na vypracování. Díky získaným současným i historickým údajům z firmy mohla být vytvořena analýza shrnující chod skladu, materiálový a informační tok a také použití manipulační techniky a prostředků využívaných ve skladu. Byly popsány veškeré prvky a procesy, které mají vliv na průchod materiálu skladem a definovány hranice systému. Na základě této analýzy s ohledem na vytvořené hranice systému byl vytvořen simulační model v softwaru Plant Simulation. Simulační model se svojí strukturou blížil co nejvíce reálnému řešenému skladovacímu systému. Díky historickým údajům z firmy, které byly použity pro chod simulace v modelu, mohl být vytvořený model verifikován a validován. Jednotlivé stěžejní funkce řídicí materiálový tok v modelu byly graficky znázorněny ve vývojových diagramech, které lze najít v příloze.

Cílem práce bylo navržení optimalizačních změn pro daný skladovací systém. První navrženou optimalizační změnou na základě systémové analýzy byl nový návrh časové posloupnosti pracovních úkonů prováděných při manipulaci s materiálem. Druhá navržená optimalizace zasahovala do rozložení skladovacích pozic v prostoru skladu. Třetí poslední návrh na optimalizaci, spočíval v nové zavážecí funkci. Skladovaný materiál byl rozdělen do tří skupin podle průměrného odbytu. Zboží, které bylo často expedováno, zaujalo primárně místo v přední části skladu. Naopak zboží, které mělo malý odbyt, bylo uloženo v zadní části skladu. Pro zjištění vlivu jednotlivých navržených optimalizací na původním modelu, byla vytvořena matice experimentů. Ta kombinuje jednotlivé optimalizace s původním simulačním modelem. Pro každý návrh byl proveden simulační experiment, jehož výsledek byl zanesen do matice experimentů.

Z výsledků simulačních experimentů můžeme vidět, že došlo k optimalizaci u všech navržených variant. Největší optimalizace dosáhnul poslední experiment kombinující všechny navržené změny dohromady. Zde došlo ke snížení celkové ujeté vzdálenosti obsluhujících vozíků z původních 49 225 km na 26 837 km. Díky navrženým optimalizacím mohou být ušetřeny značné náklady, které jsou vynaloženy pro uskladnění materiálu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] PERNICA, Petr. *Logistický management: teorie a podniková praxe*. Praha: Radix, 1998. ISBN 80-860-3113-6.
- [2] GROS, Ivan. *Velká kniha logistiky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-952-5.
- [3] VITASEK, Kate. *CSCMP Glossary* [online]. Lombard: CSCMP, 2013 [cit. 2023-01-17].
Dostupné z: https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921
- [4] *12. SKLADOVACÍ SYSTÉMY* [online]. In: . Brno: Masarykova univerzita, 2019, s. 19 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1441/jaro2019/UPV_3004/um/D03_ON2_J2019_Skladovaci_systemy.pdf
- [5] KLABUSAYOVÁ, Naděžda. *Logistika* [online]. In: . Praha: ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická Katedra telekomunikační techniky, 2019 [cit. 2023-03-16]. ISBN 978-80-88418-15-3. Dostupné z: <https://www.vovcr.cz/odz/ekon/409/page00.html>
- [6] Sklad. In: *Česká logistika* [online]. [cit. 2023-03-09].
Dostupné z: <https://www.ceskalogistika.cz/sklad/>
- [7] *Česká logistika* [online]. Praha: Balíkobot, 2022 [cit. 2023-04-27].
Dostupné z: www.ceskalogistika.cz
- [8] Pneu Procházka. In: *Pneu Procházka* [online]. Praha: PNEU PROCHÁZKA, 2021 [cit. 2023-04-11].
Dostupné z: <https://www.pneuprochazka.cz/sortiment-pneuservisu/uskladneni-pneumatik>
- [9] Co je SAP?. In: *SAP* [online]. Walldorf: SAP SE, 2023 [cit. 2023-04-29].
Dostupné z: <https://www.sap.com/cz/about/company/what-is-sap.html>
- [10] BANGSOW, Steffen. *Tecnomatix Plant Simulation*. Cham: Springer International Publishing AG, 2020. ISBN 9783030415433.
- [11] [překladiště]. In: *Systémy logistiky* [online]. Praha: ATOZ Logistics, 2013 [cit. 2023-03-16].
Dostupné z: <https://www.systemylogistiky.cz/2013/03/19/kombinovana-doprava-verejna-prekladiste-v-soukromych-rukou/>
- [12] SILO NA OBILÍ NBIN101WU. In: *Pawlica-eshop* [online]. Praha: PAWLICA, 2023 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.pawlica-eshop.cz/nbin101wu/>

- [13] [policový regál]. In: *Figrema* [online]. Křelov: Figrema, c2004-2019 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.figrema.cz/policove-regaly/>
- [14] [paletový regál]. In: *Jungheinrich* [online]. Jungheinrich AG, 2023 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/produkty/regaly/paletove-regaly>
- [15] [vjezdový regál]. In: *Jungheinrich* [online]. Jungheinrich AG, 2023 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/produkty/regaly/paletove-regaly>
- [16] [spádový (gravitační) regál]. In: *Jungheinrich* [online]. Jungheinrich AG, 2023 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/produkty/regaly/paletove-regaly>
- [17] [pojezdové (podvozkové) paletové regály]. In: *Jungheinrich* [online]. Jungheinrich AG, 2023 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/produkty/regaly/paletove-regaly>
- [18] Rotační vertikální skladovací systém. In: *Automatizace-skladu* [online]. Slavkov: KREDIT, 2011 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <http://www.automatizace-skladu.cz/produkty/mala-automatizace/rotacni-skladovaci-system-eurot/>
- [19] [vychystávací vozík]. In: *Technika a trh* [online]. Brno: CBB, 2012 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/manipulacni-technika/ekx-410-novy-elektricky-vysokozdvizny-zakladaci-a-vychystavaci-vozik-stavebni-rady-4>
- [20] [vysokozdvížený vozík]. In: *BSP* [online]. Praha: BPS Průmyslové služby, 2022 [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.bps-vzv.cz/prectete-si/poradenstvi/premyslite-o-prechodu-na-elektricke-vysokozdvizne-voziky-tady-jsou-duvody-proc-prejit>
- [21] Uskladnění pneumatik. In: *Euro Tyres* [online]. Praha: EUROTYPRES, 2023 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://eurotyres.cz/aktuality/35/obecne/jak-sprave-skladovat-pneumatiky-v-obdobi-mezi-vymenou>
- [22] [uskladněné pneumatiky]. In: *Autorevue* [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2023 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/spravne-uskladneni-pneumatik>
- [23] [pojízdný policový regál]. In: *Kredit* [online]. Horní Němčí: Kredit, 2022 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.kredit.cz/vyrobky/sklady/skladovani-pneu/>
- [24] Trelleborg AB. In: *Wikipedie* [online]. Wikipedie, 2022 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Trelleborg_AB

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

M_{p_1}	[-]	Manipulant příjmu 1
M_{p_2}	[-]	Manipulant příjmu 2
\bar{x}	[ks]	Průměrný měsíční odbyt
n	[-]	Počet analyzovaných měsíců
y	[ks]	Počet expedovaných kusů v měsíci
m	[-]	Počet dní v měsíci
a	[ks]	Počet expedovaných kusů za den

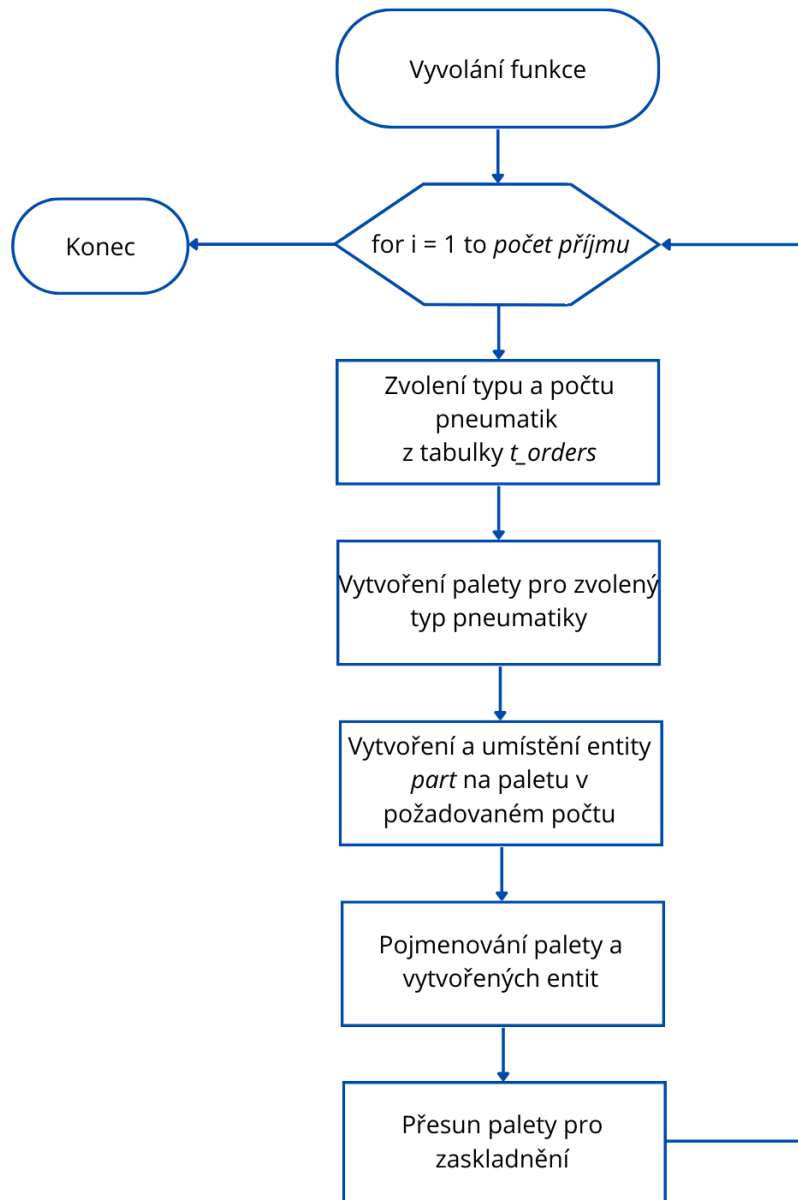
SEZNAM PŘÍLOH

- P1 – Rozměry a označení klecí
- P2 – Vývojový diagram vstupu MU do systému
- P3 – Vývojový diagram zaskladňování přijatých palet
- P4 – Vývojový diagram vyskladňování dle objednávek
- P5 – Vývojový diagram přípravy materiálu
- P6 – Návrh nového layoutu
- P7 – Vývojový diagram nově navržené zavážecí funkce
- P8 – Matice experimentů

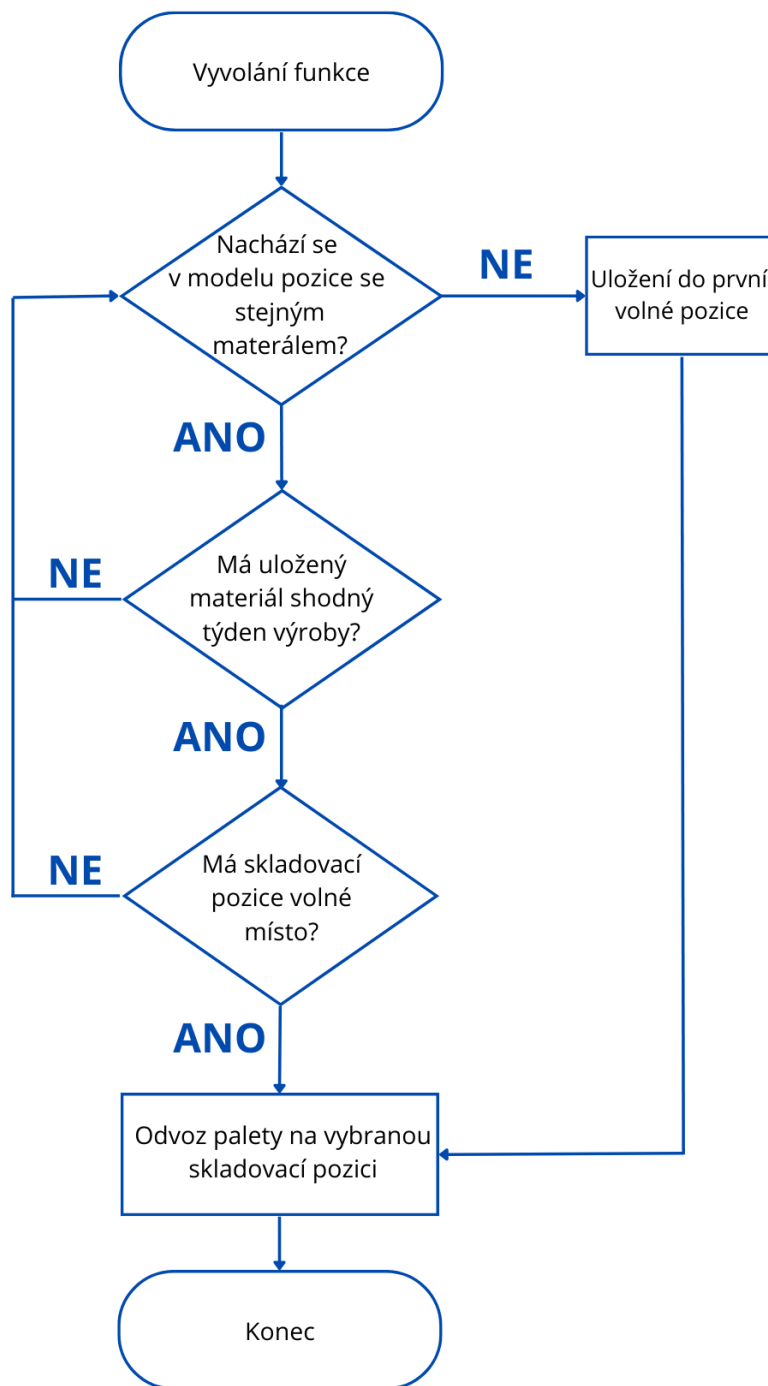
P1: Rozměry a označení klecí [autor]

typy palet	vnější rozměr (vč. nožek) [mm]			vnitřní rozměr [mm]			váha palety [kg]	max. výška pláště v paletě [mm]	nosnost [kg]	stohovatelnost - prázdné		stohovatelnost - plně	
	délka	šířka	výška	délka	šířka	výška				ks	ks	ks	ks
M15	2 408	1 203	1 502	2 178	972	1 350	150	1 300	850	20	20	6	6
M16	2 408	1 203	1 602	2 178	972	1 440	160	1 400	850	20	20	6	6
M18	2 408	1 203	1 800	2 178	972	1 645	133	1520-1700	1 250	20	20	5	5
M20	2 408	1 203	2 150	2 178	972	1 985	175	2 050	1 200	20	20	4	4

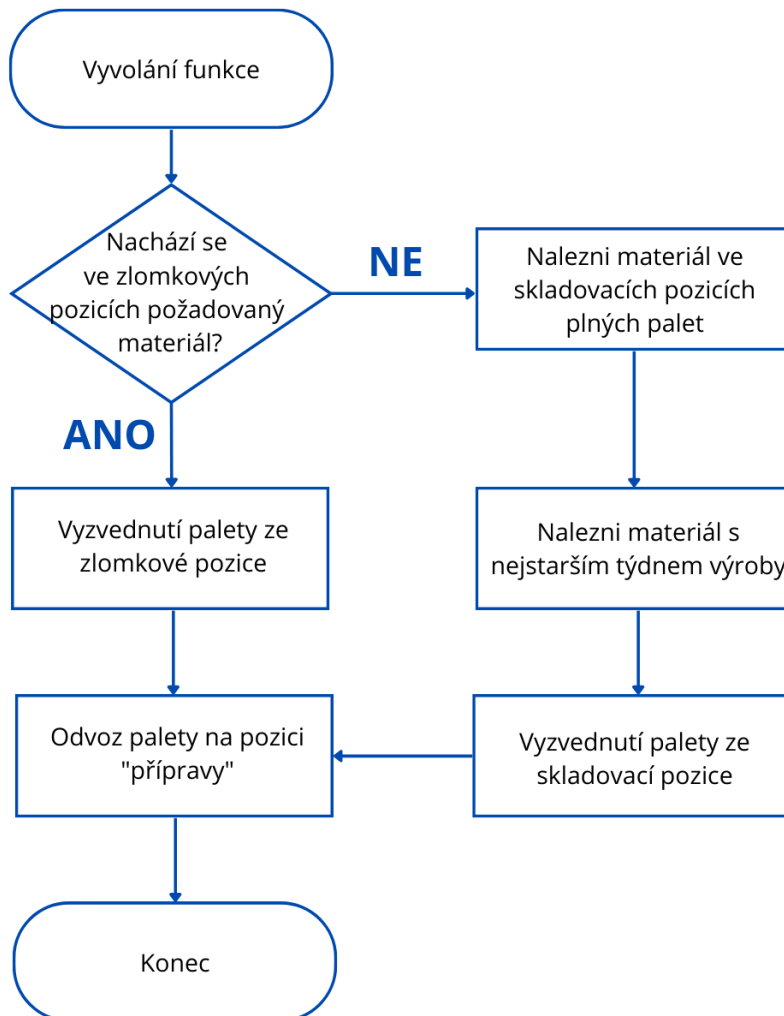
P2: Vývojový diagram vstupu MU do systému [autor]



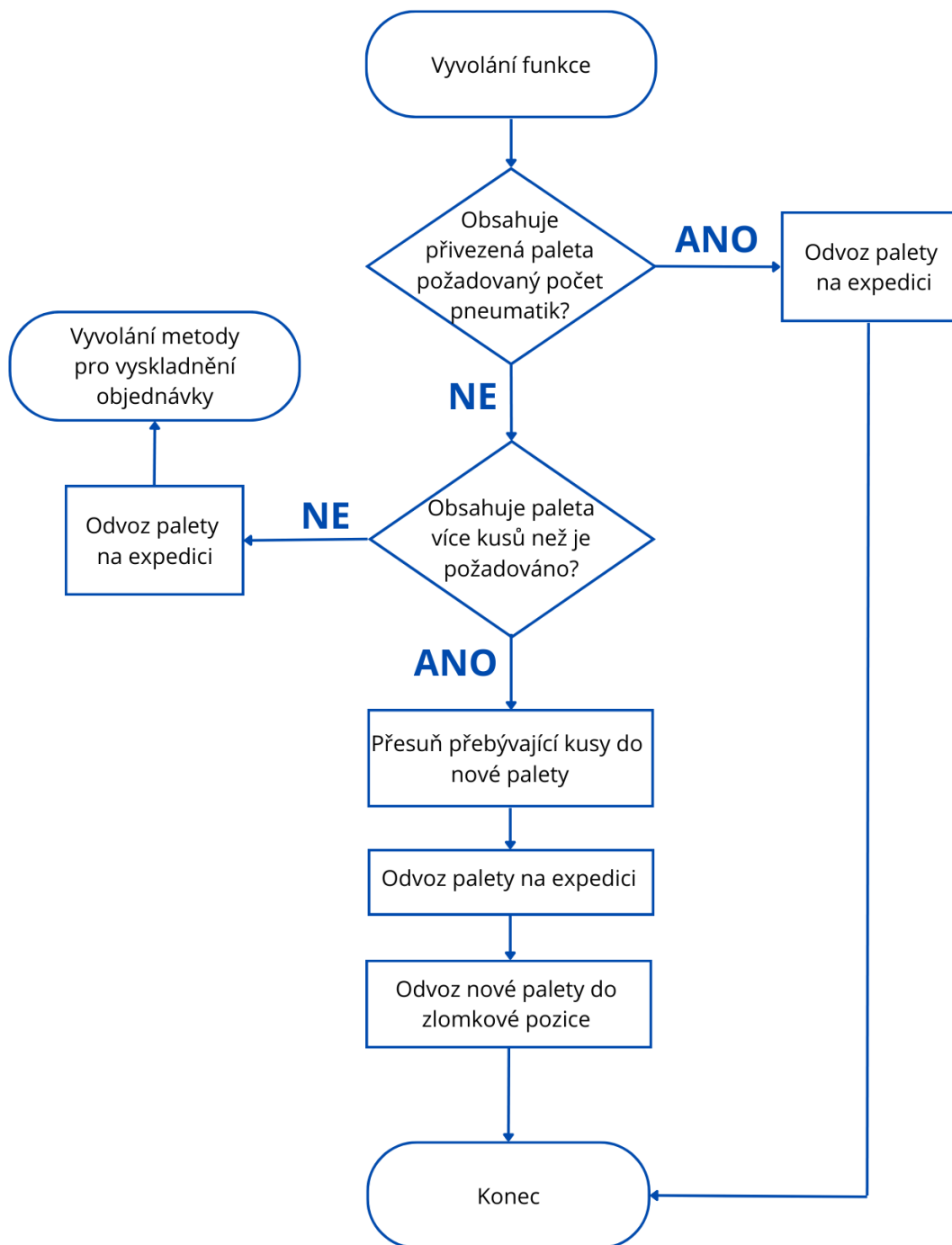
P3: Vývojový diagram zaskladňování přijatých palet [autor]



P4: Vývojový diagram vyskladňování dle objednávek [autor]



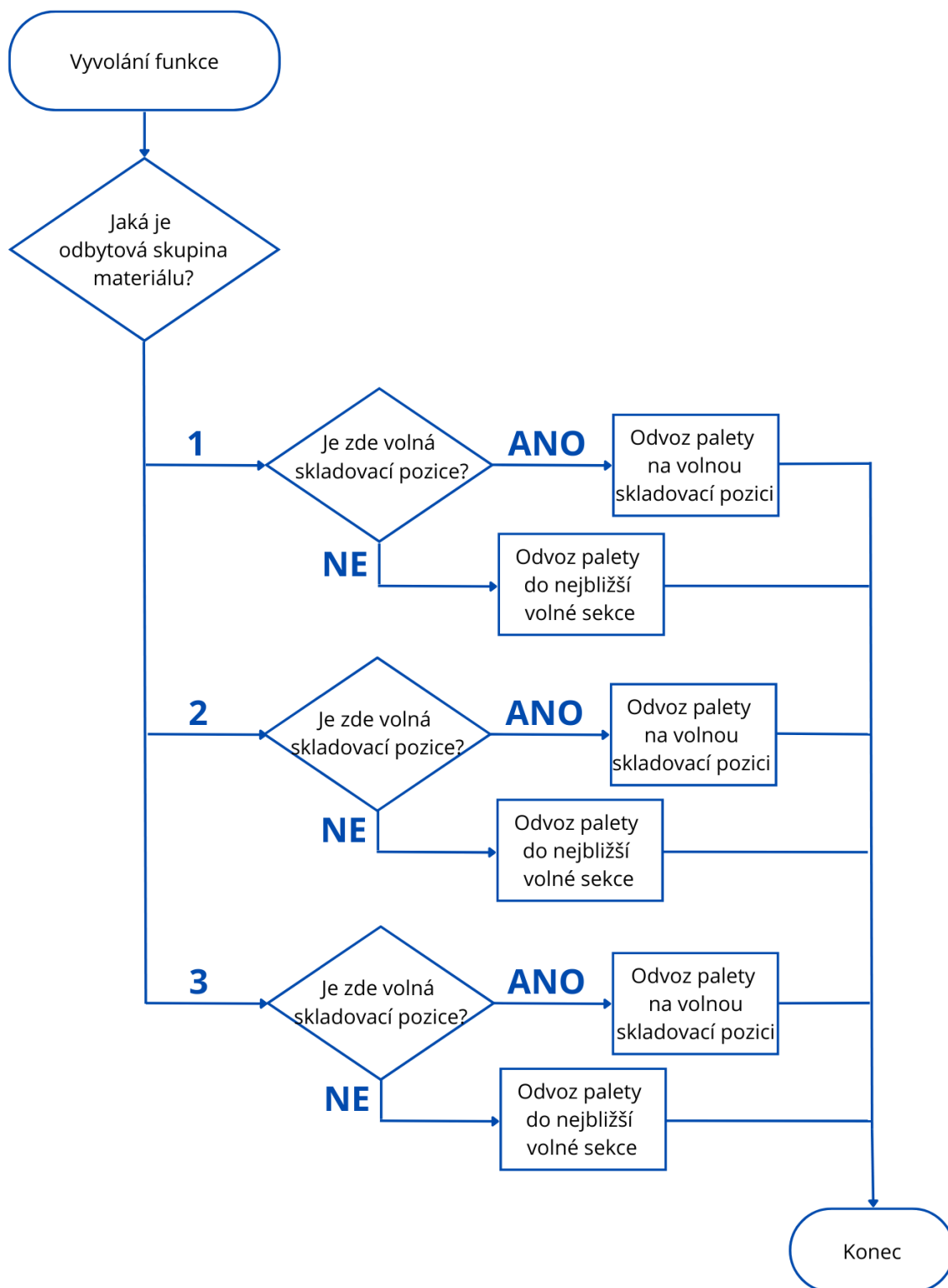
P5: Vývojový diagram přípravy materiálu [autor]



P6: Návrh nového layoutu [autor]



P7: Vývojový diagram nově navržené zavážecí funkce



P8: Matice experimentů [autor]

Číslo simulačního experimentu	Vstupní parametry simulace			Získané hodnoty ze simulace		
	Přijem/expedice	Layout	Zavázečí funkce	Ujetá vzdálenost zavázejícího vozíku	Ujetá vzdálenost expedičního vozíku	Celková ujetá vzdálenost vozíků
				[km]	[km]	[km]
1	Původní	Původní	Původní	23524	25701	49225
2	Nová	Původní	Původní	22974	24200	47174
3	Původní	Nový	Původní	22671	17366	40037
4	Nová	Nový	Původní	22325	17417	39742
5	Původní	Původní	Nová	14945	15990	30935
6	Nová	Původní	Nová	15098	17093	32191
7	Původní	Nový	Nová	14761	12123	26884
8	Nová	Nový	Nová	14810	12027	26837