



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

ANALÝZA VYBRANÝCH MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ

ANALYSIS OF SELECTED HANDLING DEVICES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB ROUSEK

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ HLOSKA, Ph.D.

BRNO 2020

Abstrakt

Obsahem této bakalářské práce je rešeršní rozbor vybraných vnitropodnikových manipulačních zařízení používaných v elektronickém průmyslu. Rešerše zahrnuje popis jednotlivých typů, jejich konstrukce a technické a provozní parametry. V praktické části práce je vytvořen simulační model zavážení výrobních linek pro vybrané manipulační zařízení. Simulační model je vytvořen v programu Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software. Pomocí simulačního modelu byla provedena série experimentů, analýza jednotlivých variant a jejich zhodnocení.

Summary

The content of this bachelor thesis is a search analysis of selected intra-company manipulation devices used in electronic industry. The analysis includes description of each type, their construction and technical parameters. Practical part of thesis is focused on simulation model of production lines supply chain with selected manipulation device. The simulation model is created by Plant Simulation software from Siemens PLM Software. With help of this simulation model were performed series of experiments. Each variant of simulation model was analyzed and conclusions were deduced.

Klíčová slova

Manipulace s materiálem, AGV, simulace, Plant Simulation

Keywords

Material handling, AGV, simulation, Plant Simulation

ROUSEK, JAKUB. *Analýza vybraných manipulačních zařízení*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124639>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 40 s. Vedoucí Ing. Jiří Hloska, Ph.D.

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Hloska, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

Jakub Rousek

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Jiřímu Hloskovi, PH.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.

Jakub Rousek

Obsah

1	Úvod	2
2	Manipulační zařízení v rámci výroby elektroniky	3
2.1	Požadavky na manipulační zařízení	3
2.2	Průmyslové vozíky	4
2.2.1	Bezmotorové vozíky	4
2.2.2	Motorizované vozíky	7
2.2.3	Automatizované vozíky	11
2.2.4	Zhodnocení	15
3	Simulace	16
3.1	Základní pojmy	16
3.2	Simulační programy	17
3.2.1	Porovnání vybraných simulačních programů	17
4	Simulační model	19
4.1	Popis pracoviště	20
4.2	Parametry	21
4.3	Matice experimentů	22
4.4	Varianty simulací	22
4.4.1	Varianta 1	22
4.4.2	Varianta 2	24
4.4.3	Varianta 3	25
4.4.4	Varianta 4	26
4.4.5	Varianta 5	27
4.4.6	Varianta 6	28
4.4.7	Varianta 7	29
4.5	Vyhodnocení experimentů	30
5	Závěr	31
6	Seznam použitých zkratk a symbolů	35
7	Seznam příloh	36
.1	Simulační programy - oblast použití [32]	37
.2	Simulační programy - vytváření modelů [32]	38
.3	Simulační programy - cenové porovnání [32]	39
.4	Layout simulačního modelu [zdroj: vlastní]	40

1. Úvod

Nedílnou součástí každého průmyslového podniku je manipulace a přenášení břemen. Přenášení břemen v rukou bývá náročné a neefektivní, proto se již od pradávna vymýšlí způsoby, jak tuto činnost ulehčit a minimalizovat. Manipulační zařízení prošla velkým pokrokem od prvních jednoduchých vozíků až po moderní automatizované přepravní systémy.

I v současnosti se manipulační zařízení neustále vyvíjí, roste zde především tlak na moderní metody, zejména na koncept chytrých továren. Princip chytrých továren znamená především vzájemné propojení všech strojů a zařízení účastníci se procesu. Na zlepšování nebo vyvažování těchto procesů je potřeba sbírat a analyzovat data od těchto zařízení. Moderní manipulační zařízení jsou schopná tyto data sama zaznamenávat a odesílat v reálném čase. V první části práci provedeme analýzu vybraných manipulačních zařízení, která jsou vhodná pro prostředí výroby a montáže elektroniky.

Simulace je důležitý nástroj pro moderní výrobní podniky a nachází uplatnění téměř v každém výrobním procesu. V simulačním modelu reálného systému je možné testovat změny ve výrobě a analyzovat jejich dopad na celkový proces. V simulacích je možné provést změny a experimenty, které v reálné výrobě nejsou možné nebo by byly finančně náročné. Pomocí simulačního programu je také možné vytvořit vizuální model vhodný pro trénink a pochopení všech částí procesu.

V praktické části vytvoříme simulačnímu model výrobního podniku na montáž elektroniky a navrhne matici simulačních experimentů pro zavážení materiálu na výrobní linky v programu Plant Simulation. Data získaná z provedených experimentů porovnáme a navrhne vhodné řešení.

2. Manipulační zařízení v rámci výroby elektroniky

Manipulace s materiálem je nedílnou součástí každého výrobního procesu. Výběr správného manipulačního zařízení se odvíjí od požadavků konkrétního materiálu, potřebné kapacity a nákladů na pořízení. Segment výroby elektroniky je specifický především manipulací s citlivými komponenty a je zde kladen velký důraz na zabránění poškození. Příklad takové výroby vidíme na obr. 2.1. Jako příklad těchto komponent můžeme uvést základní desky, procesory nebo paměťové karty.



Obrázek 2.1: Ukázka automatizované výroby [1]

2.1. Požadavky na manipulační zařízení

Požadavky kladené na manipulační zařízení v rámci výroby elektroniky popisují standardy organizace IPC (The Institute of Printed Circuit).

Organizace IPC je americká firma, která se již od poloviny 20. století zabývá vytvářením standardů a směrnic pro elektronický průmysl. Standardy IPC pokrývají problematiku výroby elektroniky od návrhu až po finální produkt. [2]

Používání norem a standardů IPC není pro firmy povinné, ale často bývají mezi požadavky zákazníka. Standardy IPC jsou osvědčené v praxi a jejich dodržení zaručuje vysokou úroveň kvality. Výhodou těchto standardů je globální platnost. [2]

Norma IPC-A-610E v originále nazvaná Acceptability of Electronic Assemblies je norma pro hodnocení kvality montáže elektronických sestav.

Norma IPC-1601 v originále nazvaná Printed Board Handling and Storage Guidelines se zabývá manipulací, zacházením a skladováním DPS.

Tyto dvě normy se zabývají manipulací s komponenty, kontaminací a prostředím. Specifikují správné zacházení s elektronickými komponenty, jaká pravidla je potřeba dodržet

2.2. PRŮMYSLOVÉ VOZÍKY

a parametry okolního prostředí. Pro výběr správného manipulačního zařízení je důležité znát především požadavky na okolní prostředí.

Aby bylo možné dodržet standardy IPC, velmi často se v prostoru výroby a montáže zavádí čistá zóna. Ta fyzicky odděluje prostory, kde se vyskytují citlivé komponenty bez obalu a kde by mohlo dojít ke kontaminaci.

Účel čisté zóny je oddělit prostor, kde je vysoké riziko kontaminace elektronických komponent. V oblasti výroby elektroniky se systémy čisté zóny specializují především na prachové znečištění, teplotu a vlhkost. Nejvýznamnějším nástrojem zajišťujícím čistou zónu je HVAC. HVAC je zkratka pro „heating, ventilation, air-condition“. Tento systém zajišťuje ventilaci vzduchu a udržuje stálé hodnoty teploty a vlhkosti. Řídí se normou ČSN EN ISO 14644-1. [3]

2.2. Průmyslové vozíky

Nejpoužívanější manipulační zařízení pro přepravu materiálu je vozík. Je základem každé vnitropodnikové dopravy ve většině průmyslových závodech. Používá se především na systém přímého zavážení, kde dochází k zásobování přímo na místo určení. Pro zvýšení efektivity se vždy volí nejkratší možná cesta.

Nejčastěji užívané rozdělení manipulačních vozíků je dle pohonu.

- Bezmotorové vozíky bez vlastní pohybové energie.
- Motorizované vozíky poháněné pomocí spalovacího motoru nebo elektromotoru.

Speciální kategorií motorizovaných vozíků jsou automatizované. Tyto vozíky jsou schopny manipulovat bez lidské obsluhy. [4]

2.2.1. Bezmotorové vozíky

Používají se pouze na krátké vzdálenosti a menší hmotnosti. Pohybují se pomocí tlačení nebo tažení.

Hygienické limity pro tlačné a tažné síly při manipulaci s břemenem pomocí bezmotorového prostředku v tab. 2.1 jsou dána nařízením vlády č. 361/2007 sb. § 29 odst. 10

	tlačné	tažné
muži	310 N	280 N
ženy	250 N	220 N

Tabulka 2.1: Přípustné síly pro tah a tlak [5]

Bezmotorové vozíky bez zdvihu lze jednoduše rozdělit dle počtu kol [6]

- Jednokolové vozíky jako je například kolečko.

2. MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ V RÁMCI VÝROBY ELEKTRONIKY

- Dvoukolové vozíky, jinek též označované rudly.
- Vícekolové vozíky - plošinové, policové a jiné.

Ruční plošinové a policové vozíky

Tyto vozíky bez vlastní pohybové energie slouží převážně pro vnitropodnikovou dopravu. Obvykle se používají pouze na krátké vzdálenosti cca. do 50 m. Je možné jimi přepravovat náklad s hmotností až 1000 kg za ideálních podmínek. Obvykle to bývá podstatně méně v souvislosti s pracovními předpisy na zátěž. [7]

Klasická konstrukce se skládá z rámu, tří až čtyř kol a držadla, pomocí kterého je vozík tažen nebo tlačěn. Jsou vyráběny v mnoha provedeních a variantách v závislosti na přepravovaném materiálu. Nejčastěji používané jsou plošinové a policové vozíky, které vidíme na obr. 2.2. Pozornost zde musíme věnovat rozložení břemene na plošině.



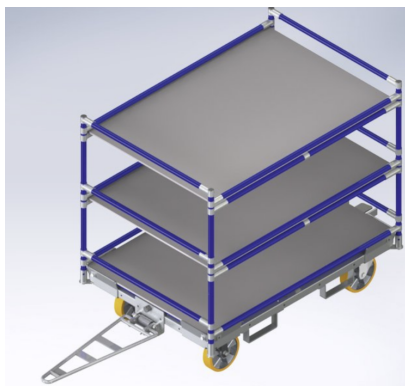
Obrázek 2.2: Plošinový a policový vozík [8]

Stavebnicové systémy

Populárním typem manipulačních zařízení jsou vozíky sestavené pomocí tzv. stavebnicových systémů. Základním prvkem je trubka z oceli nebo hliníkový profil. Spojovací části jsou provedené pomocí šroubového spoje, který zajišťuje trvalou a vysokou pevnost. Mezi hlavní výhody patří flexibilita dané konstrukce, snadná montáž a optimalizace neboli sestavení na míru pro daný materiál. Při změně lze konstrukci snadno upravit nebo rozebrat. Příklady těchto konstrukcí můžeme vidět na obr. 2.3 a obr. 2.4. [9]

Za zmínku také stojí software na design a návrh konstrukcí. Kromě vizualizace je zde možné spočítat množství materiálu, cenu nebo zatížení. Tyto systémy mají široké uplatnění, kromě již zmíněných vozíků také pracovní stoly, regály nebo celé výrobní linky.

2.2. PRŮMYSLOVÉ VOZÍKY



Obrázek 2.3: Přívěsný vozík-stavebnicový systém [10]



Obrázek 2.4: Policový vozík-stavebnicový systém [11]

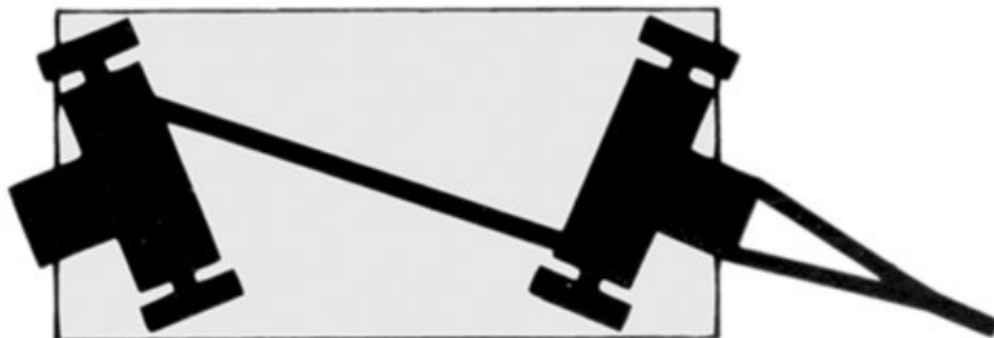
Přívěsné vozíky

Čtyřkolové vozíky určené k zapřažení za do vleku taženého motorizovaným vozíkem jako je například tahač nebo AGV (Automated Guided Vehicle) . Z konstrukčního hlediska jsou podobné ručně ovládaným plošinovým nebo policovým vozíkům. [7]



Obrázek 2.5: Přívěsný vozík [12]

Dvě řízená kolečka v kombinaci se dvěma pevnými (nahore). Pro lepší ovladatelnost v zatáčkách bývají spřažená dvě nebo všechna čtyři kola. Na obr. 2.6 je zobrazeno zajištění pomocí pákového mechanismu se spřáhlem. [6]



Obrázek 2.6: Náprava přívěsného vozíku [13]

2.2.2. Motorizované vozíky

Jsou vozíky kde pohonná síla je zajišťována pomocí motoru. Lze je dělit podle několika kritérií, zejména podle velikosti, pracovního účelu a druhu energie.

V literatuře se nejčastěji objevuje rozdělení dle ČSN ISO 5053 dle druhu energie.

1. Vozík se spalovacím motorem.
 - (a) Zážehový motor.
 - (b) Vznětový motor.
 - (c) Motor na zkapalněný uhlovodíkový plyn (LPG).
 - (d) Kombinovaný motor (LPG+Benzin).
2. Vozík s elektromotorem.
 - (a) Akumulátorový.
 - (b) Vnější druh energie (např. vysokofrekvenční kabel).
 - (c) Motorgenerátor.

Obecně platí, že při stejné hmotnosti mají vozíky se spalovacími motory větší výkon než vozíky poháněné elektromotorem. Jejich hlavní nevýhodou jsou výfukové plyny, které zabraňují použití v uzavřených prostorech nebo v prostorech s kontrolovaným prostředím jako je například clean room.

Jako příklad pro akumulátorový vozík můžeme uvést tahače. Dle pozice obsluhy můžeme tahače dělit na tahače se stanovištěm pro obsluhu a bez. Pokud vozík není opatřen

2.2. PRŮMYSLOVÉ VOZÍKY

stanovištěm pro obsluhu, jde o takzvaný ručně vedený motorizovaný vozík, kde obsluha kráčí před nebo za vozíkem. Speciální skupina motorizovaných vozíků bez obsluhy jsou automatizované vozíky, kterým se věnuje v zvlášť kapitole 2.2.3. [7]

Přídavná pohonná jednotka

Pohonný systém je snadné a relativně levné řešení pro přepravu větších nákladů na krátké vzdálenosti. Je snadno integrovatelný k plošinovému nebo policovému vozíku viz. obr. 2.7. Nejčastěji se používá pro zlepšení efektivity a zdraví zaměstnanců. Celý systém se skládá z pohonné jednotky, řídicího modulu, ruční kontrolní jednotky a baterie. [14]

Pohonná jednotka je elektromotor nabíjen z lithiové baterie. Pohonná jednotka je opatřena zvedacím motorem. Při pohotovostním režimu nedochází ke kontaktu s podlahou. Díky řídicí jednotce se dá celý systém nastavit dle potřeby. [14]



Obrázek 2.7: E-drive od Tente [15]

Výrobce	Tente
Označení	E-drive
Pohon	24 V DC
Baterie*	4.5 Ah olovo-gel
Max rychlost**	4 km/h
Nominální výkon	73.1 W
Maximální zatížení	400 kg
cena	50 000 CZK

*Baterie poskytované v základní výbavě, lze změnit

**Maximální rychlost je u zařízení nastavitelná

Tabulka 2.2: E-drive - parametry [15]

Ručně vedený tahač

Ručně vedený tahač je efektivní řešení všude, kde je potřeba přesun těžkých břemen. Hlavní výhodou tohoto tahače je univerzálnost. Může být používán k tahání rozličných vozíků Pohonná jednotka tahače je elektromotor poháněný lithiovou baterií. Tahače lze vybavit širokou škálou doplňků a příslušenství – například oky a háky různých velikostí. Na obr. 2.8 je ukázán ručně vedený tahač T1000 od firmy Movexx.



Obrázek 2.8: Ručně vedený tahač [16]

Výrobce	Movexx
Označení	T1000
Pohon	24 V DC
Baterie*	36Ah lithium
Max rychlost**	5 km/h
Nominální výkon	300 W
Maximální zatížení	<u>1000kg</u>
Cena	150 000 CZK

*Baterie poskytované v základní výbavě, lze změnit

**Maximální rychlost je u zařízení nastavitelná

Tabulka 2.3: Movexx T1000 - parametry [16]

2.2. PRŮMYSLOVÉ VOZÍKY

Tahač s obsluhou

Tahač s obsluhou nebo také logistický vláček je manipulační zařízení složené z tahače a jednoho nebo více přívěsných vozíků. Tento typ zařízení je vhodné použít především tam, kde probíhá přesun materiálu mezi jednotlivými operacemi. Tahače nemají ložnou plochu, ale mají prostor pro sezení nebo stání obsluhy. Velká výhodou je možnost převozu různorodého materiálu. Jednotlivé přívěsné vozíky mohou být různých velikostí a libovolně se rozpojovat. Velmi často se využívají v systému řízení logistiky, tzv. milk run. [17]

Milk run je logistický systém, který zabezpečuje dodávky materiálu. Zvyšuje efektivitu přepravy a vychystávání materiálu. Hlavním principem systému milk run je přesný harmonogram dodávek na určitá stanoviště, kde proběhne vyložení potřebného materiálu a naložení prázdných obalů. [18]



Obrázek 2.9: Tahač s obsluhou [19]

Výrobce	STILL
Označení	LTX 20
Maximální zatížení	2000 kg
Max. rychlost	8 km/h
Výkon motoru	1.5kW
Baterie	24V/200Ah
Spotřeba energie dle VDI	1.21kWh/h
Flexibilita	vysoká
Náročnost na obsluhu	1 operátor
Cena	190 000 CZK

Tabulka 2.4: Still LTX 20 - parametry [19]

Velký důraz se ve firmách klade na využití prostoru, proto je důležité přizpůsobovat i manipulační zařízení danému prostoru, kde se bude pohybovat. Jako příklad jsem vybral

tahač s obsluhou od firmy STILL zobrazený na obr. 2.9. Tento tahač je schopen uvést náklad o hmotnosti až dvě tuny. Jeho šířka 600 mm zajišťuje dobrou ovladatelnost i na menších prostorech. [19]

2.2.3. Automatizované vozíky

AGV (Automatic guided vehicle) jsou automatické transportní vozíky pro přepravu materiálu a komponent. Jsou bezobslužné, zvyšují efektivitu a flexibilitu vnitropodnikové logistiky. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady, které se kompenzují zanedbatelnými náklady na údržbu a chod. Lze s nimi snadno dosáhnout metod řízení logistiky just-in-time. [20]

Jsou poháněné pomocí elektromotorů, obvykle jeden elektromotor pro pohyb a druhý pro určování směru. Při poklesu napětí baterie na nastavenou hodnotu, AGV automaticky odjíždí do automatické nabíjecí stanice.

Možnosti navihace

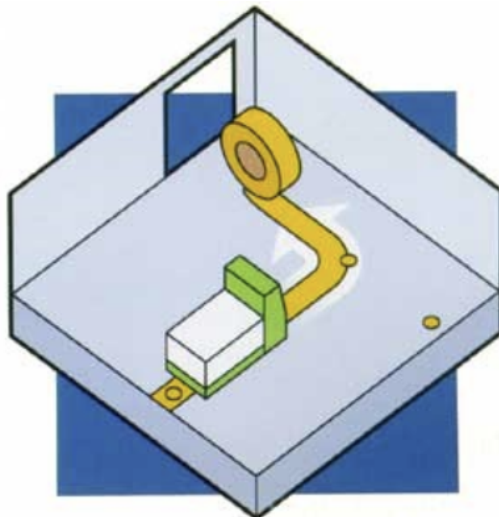
Způsoby navigace je možné rozdělit na: [21]

1. S řídicími prvky na podlaze.
 - (a) Optická.
 - (b) Indukční - pasivní.
2. S řídicími prvky umístěnými v podlaze.
 - (a) Indukční - aktivní.
 - (b) Magnetická navigace.
3. Laserová navigace.

2.2. PRŮMYSLOVÉ VOZÍKY

Optická

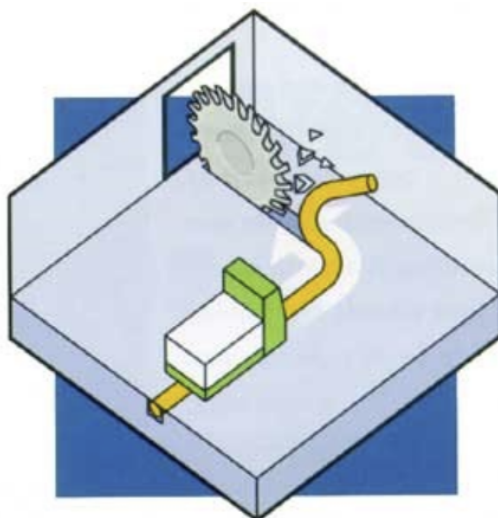
Nejstarší metoda navádění. Na vozíku je umístěná kamera, která snímá kontrast mezi nalepenou páskou a podlahou. Je to nejlevnější a nejjednodušší typ navigace. Je snadno viditelná pro zaměstnance, ale hrozí zde riziko znečištění nebo poškození pásky. Pro větší životnost je možné vodící linku na podlahu namalovat a poté přelakovat bezbarvým lakem, to ovšem ovlivní flexibilitu trasy. Princip optické navigace je znázorněn na obr. 2.10. [22]



Obrázek 2.10: Optická navigace [23]

Indukční

Princip indukční navigace spočívá v detekování magnetického pole vodiče. Vodič se umístí do podlahy a připojí se na zdroj střídavého proudu. Na vozíku jsou umístěny dvě cívky, které měří odchylku v generovaném proudu. Oproti optické navigaci u tohoto systému nehrozí poškození nebo zašpinění, ale je obtížnější změnit trasu. Princip tohoto systému je znázorněn na obr. 2.11. [24]



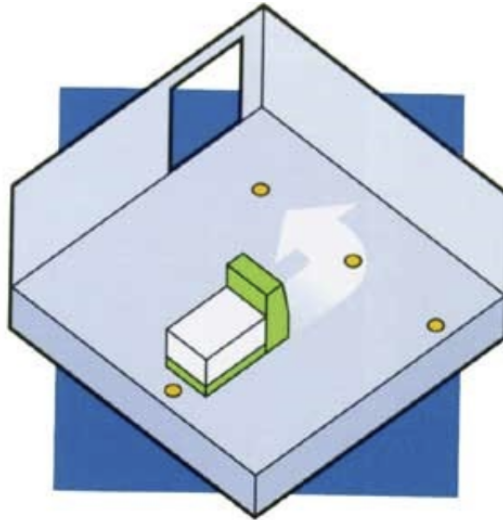
Obrázek 2.11: Indukční navigace [23]

2. MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ V RÁMCI VÝROBY ELEKTRONIKY

Pasivní indukční navigace je realizována pomocí kovového pásu připevněného na podlaze. Na vozíku jsou umístěny snímače, které reagují na změnu pole v blízkosti pásu.

Magnetická

Zde jsou vodícím prvkem magnetické kotouče zasazené do podlahy. Senzory magnetického pole jsou umístěné přímo na vozíku. Magnetické kotouče je možné usadit v mřížce a tím zajistit lehkou změnu trasy. Pokud bychom vytvořily pouze aktuálně potřebnou trasu, všechny změny, který bychom chtěli v budoucnu provádět by byli spojené s náklady na usazení magnetických kotoučů. [23]



Obrázek 2.12: Magnetická navigace [23]

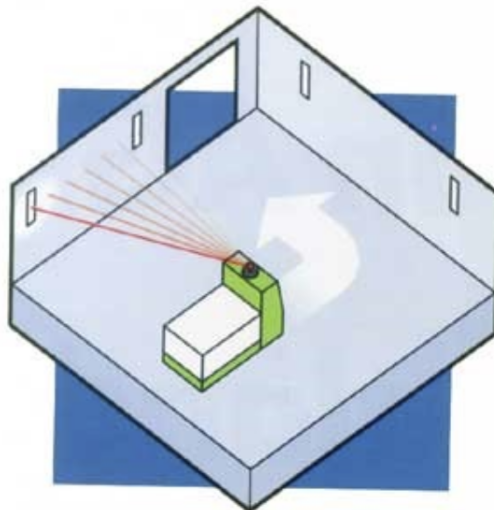
Konturová navigace laserem

Je představitelem takzvané volné navigace. Tento systém není závislý na žádném fyzickém příslušenství jako páska, drát nebo magnetické kotouče. Za pohybu vozík skenuje okolí pomocí infra-červených paprsků a získává informace o vzdálenosti. Porovnáním dat ze senzoru s mapou daného objektu software dokáže určit přesnou polohu vozíku. [25]

2.2. PRŮMYSLOVÉ VOZÍKY

Laser

Je to předchůdce konturového navádění. Na obr. 2.13 jsou na stěnách umístěny odrazky a senzor, který získává data o úhlu a vzdálenosti je umístěn na vozíku. Tyto data poté softwarově zpracuje a určí polohu. [25]



Obrázek 2.13: Laserová navigace [23]

Porovnání vybraných automatizovaných zařízení

Výrobce	Beewatec	MIR	Indeva
Označení	BU_05	MiR500	Tugger 750 kg
Nosnost	500 kg	500kg	750 kg
Max. rychlost jízdy s nákladem/bez nákladu	1/1 m/s	2/2 m/s	0.85 m/s
Výkon motoru	2x 0,192 kw	-	2 x 0,1kW
Baterie	2x24V/40Ah	48V/40 Ah	24V/40Ah
Čas vybití	-	8h	6h
Typ navigace	Optická/magnetická páska	Laser	Magnetická páska
Flexibilita	střední	vysoká	střední
Náročnost na obsluhu	bez obsluhy	bez obsluhy	bez obsluhy

Tabulka 2.5: Porovnání vybraných automatizovaných zařízení [26] [27] [28]

2.2.4. Zhodnocení

Bezmotorové vozíky jsou vozíky bez vlastní pohybové energie. Používají se především při menších rozsahů manipulace. Ovládají se pomocí tažení nebo tlačení. Na obě operace se vztahují stejné normy a limity jako na ruční manipulaci s břemeny, které udávají velikost břemene a množství opakování za směnu.[29]

Automatizace je dobrou volbou všude, kde dochází k jednoduchým a opakujícím se úkonům jako je například přeprava materiálu nebo manipulace.

Díky moderní výpočetní a senzorické technice jsou automatizované vozíky přední volbou pro mnohé moderní elektronické závody. Při správném nastavení zajistíme efektivní, spolehlivý a flexibilní způsob přepravy. Možnost programování těchto vozíků zajišťuje jednoduché přizpůsobení na jakoukoli změnu v procesu. Hlavní záporem jsou počáteční ekonomické náklady, které tyto vozíky kompenzují nízkými náklady na provoz a údržbu.

Abychom zabránily kontaminaci komponent, nebudeme v prostoru montáže manipulovat s paletami a kartonovými obaly. Komponenty se vychystají ze skladu do nakládacího prostoru, odkud budou dle potřeby převáženy do prostoru montáže. Komponenty budou umístěny do standardizovaného boxu nebo do speciálního obalu.

V praktické části této práce budu pomocí simulace navrhovat a optimalizovat použití automatického vozíku na modelu konkrétní výrobní haly. Pro specifikaci parametrů tohoto vozíku jsem si vybral model BU-05 od firmy Beewatec.

3. Simulace

Simulace je systém, který reprezentuje funkce a operace reálných systémů. Je to důležitý nástroj pro plánování, experimentování a řešení problémů. Se správným simulačním softwarem můžeme simulaci využít na vizualizaci, trénink zaměstnanců nebo ověření analytických řešení. [30]

Jedno z možných dělení simulací je dle času, na diskrétní a spojitě. [30]

- Diskrétní – Proměnné nabývají hodnot z množiny celých čísel.
- Spojité systémy – Proměnné jsou spojitě a nabývají reálných hodnot.

Hlavní výhodou simulací je možnost vyzkoušení nových konceptů a změn v procesu bez narušení stávajících operací. V simulaci můžeme vyzkoušet nové zařízení před jeho nákupem a zjistit jeho vliv na efektivitu nebo návratnost investice. Je to ideální nástroj pro pochopení daného systému a zjištění jeho úzkých míst. [30] K vytvoření simulačního modelu a jeho interpretaci je nutné rozumět simulačnímu programu a vytvářenému modelu. Tento proces je však často časově náročný a finančně nákladný. Před vytvářením simulace je nutné zhodnotit, zda je pro daný problém vhodná a pomůže nám ho vyřešit.

3.1. Základní pojmy

Simulační model

Simulační model je definován jako skupina objektů, které jsou vzájemně propojeny a probíhá mezi nimi pravidelná interakce. V modelu se zpravidla zabýváme pouze objekty, které jsou nezbytné a ovlivňují zkoumaný problém. K návrhu simulačního modelu je důležité rozumět principu daného systému. Simulační modely můžeme rozdělit na statické a dynamické. Statické zachycují daný systém pouze v daném čase. Dynamické simulační modely se v čase mění. [30]

Verifikace

Pojem verifikace představuje ověření správného fungování simulačního modelu. Pokud je simulační model verifikován, znamená to, že logická struktura a vstupní parametry jsou nastaveny správně a odpovídají představovanému reálnému systému. Simulační modely bývají vybaveny nástrojem debugger, který pomáhá vyhledávat chyby v modelu. [30]

Validace

Při validaci simulačního modelu porovnáváme jeho přesnost s chováním reálného systému, který simulujeme. Na základě zjištěných rozdílů model upravíme a opět porovnáme s reálným systémem. Tento proces opakujeme, dokud nedosáhneme požadované přesnosti. Tyto úpravy a porovnávání nazýváme kalibrace. [30]

Materiálový tok

Materiálový tok je organizovaný pohyb materiálu nebo výrobků ve výrobní procesu. Zde můžeme rozlišit logistiku vnitropodnikovou a mezipodnikovou. Materiálový tok v našem kontextu vztahujeme na území firmy, kde začíná vykládkou materiálu a končí expedicí výrobků nebo odpadu z území firmy.

Je tvořen aktivními a pasivními prvky. Mezi aktivní prvky se řadí dopravně-manipulační a skladovací zařízení. Pasivní prvky jsou polotovary, suroviny, materiál a výrobek. U materiálového toku můžeme sledovat veličiny jako intenzita, frekvence, délka, výkon, charakter nebo použitá dopravní a manipulační technika. [31]

3.2. Simulační programy

Simulační programy jsou nástroje, které umožňují prozkoumat, spočítat a optimalizovat nové systémy. Možností aplikací je celá řada, nejčastěji se tento nástroj používá ve výrobním průmyslu, v logistických systémech nebo zdravotnictví.

Základem simulačních softwarů je simulační jazyk, dle tohoto parametru je můžeme rozdělit do tří skupin : [30]

1. Obecný programovací jazyk jako je Java nebo C++. Méně používané pro diskrétní simulace.
2. Programovací jazyky vyvinuté pro potřeby simulace. První takový jazyk byl GPSS (General Purpose Simulation System) od firmy IBM (International Business Machines).
3. Vizualně interaktivní systémy.

Moderní simulační software jsou kombinací druhé a třetí skupiny. Více se zaměřují na vizualně interaktivní modelové systémy, které usnadňují aplikace nástrojů pro vytváření a analýzu simulací.

3.2.1. Porovnání vybraných simulačních programů

V současnosti existuje velké množství programů, které se zaměřují na diskrétní simulace. Pro potřeby tohoto porovnání jsem vybral nejpoužívanější programy používané pro všeobecné diskrétní simulace. Porovnání vychází z průzkumu provedeného magazínem OR/MS Today v roce 2017.

Výběr simulačního programu je subjektivní a záleží na mnoho faktorech. Musíme zvolit program, který jde aplikovat na konkrétní reálný systém, má potřebné nástroje pro daný účel a je kompatibilní již s používanými programy. Další hlediska, které musíme vzít v úvahu, je kvalifikovaná obsluha, hardwarové požadavky a celková ekonomičnost.

Základní představení porovnávaných programů je znázorněno v Příloze 1. Nástroje na vytváření modelů jsou uvedeny v Příloze 2. Animace u všech porovnávaných programů je možné vytvářet ve 3D a sledovat v reálném čase. Tyto animace je možné exportovat do

3.2. *SIMULAČNÍ PROGRAMY*

jiných formátů pro lepší vizualizaci. Užitečná funkce pro vytváření simulačních modelů je importování půdorysů nebo plánu ve formátech cad. Příloha 3 se zabývá simulačními programy z ekonomického hlediska. Pro potřeby vzdělávání jsou často dávány k dispozici studentské verze programů.

4. Simulační model

Úkolem praktické části je návrh konceptu pro zásobování výrobních linek se zvoleným manipulačním zařízením. Simulační model je vytvořen v programu Plant Simulatin od firmy Siemens. Tento program obsahuje rozsáhlé analytické nástroje na vyhodnocení experimentů a umožňuje vizualizaci prostředí ve 2D a 3D.

Pro určení optimálních technických parametrů navrhujeme matici experimentů, která nám pomůže najít ideální řešení. Dle této budeme provádět simulační experimenty se zvolenými parametry.

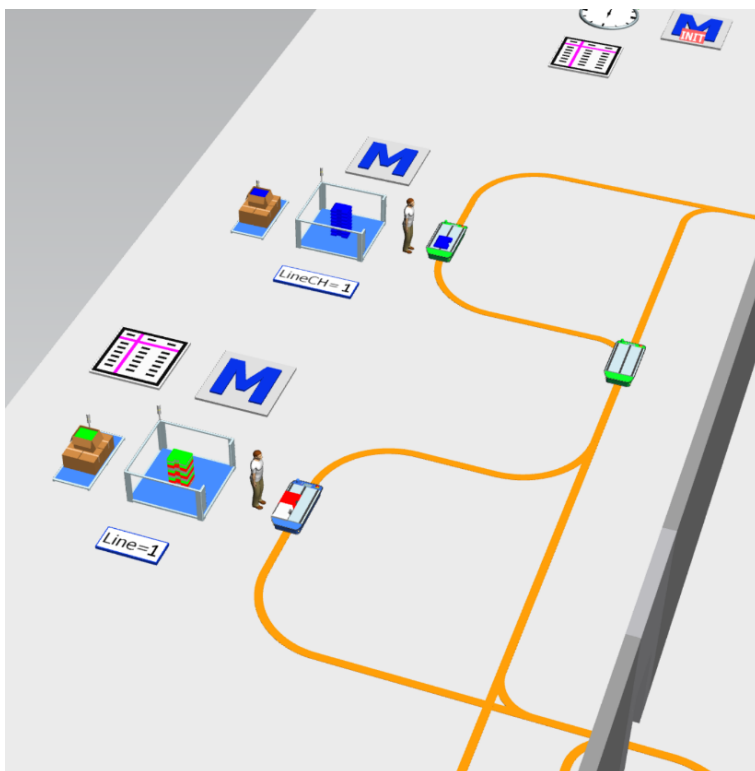
U jednotlivých variant budeme sledovat parametry výrobních linek, transportních vozíků a počet vyrobených výrobků. Zajímat nás budou časy, kdy stanice nebo vozíky čekaly na materiál. U vozíků budeme také sledovat celkovou ujetou vzdálenost za odpracovanou směnu.

Vybraný systém AGV využívá navigační metodu pomocí magnetický pásek. Všechny cesty, po kterých AGV, jezdí jsou tedy jednosměrné a není možnost předjíždění. Trasa je zde pevně stanovená a je neměnná.

4.1. Popis pracoviště

System, který budeme simulovat představuje sestavování a montáž elektronických zařízení jako jsou například stolní počítače, notebooky nebo servery. Náš hotový výrobek se bude skládat ze šasi, do kterého zasadíme základní komponenty. Pojmem šasi představuje kostru a obal našeho hotového výrobku. Základní komponenty v tomto modelu budou zdroje napětí, chladiče a základní desky. Layout v Příloze 4 je pohled na simulační model za pomoci nástroje planning view.

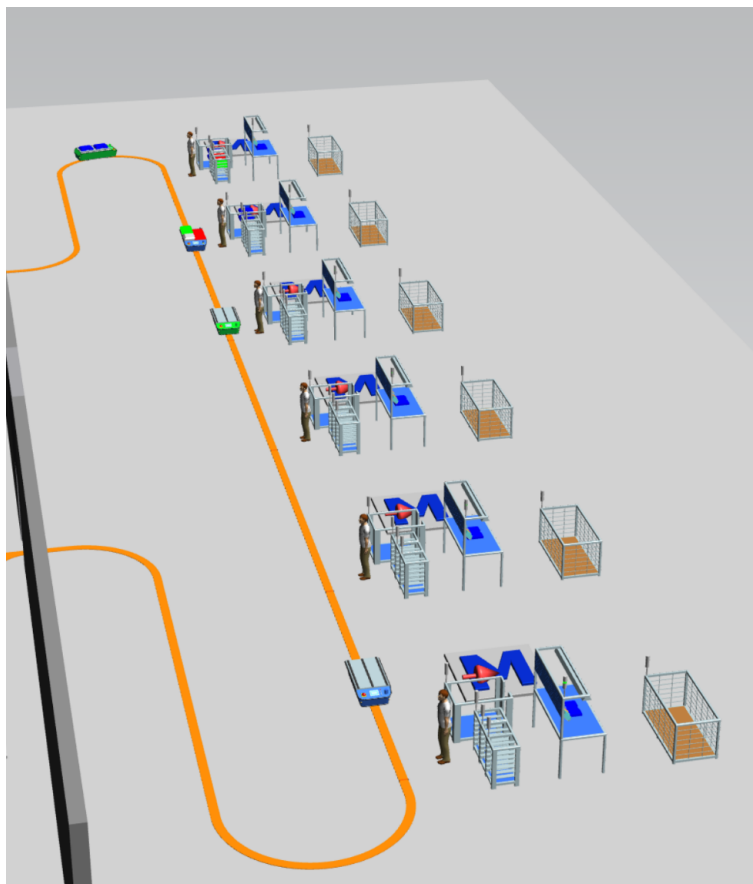
Na obr. 4.1 jsou umístěné dvě pracoviště pro přípravu a nakládání materiálu. Pracoviště umístěné nahoře připravuje a nakládá pouze šasi, které by bylo obtížné připravovat s ostatními komponenty.



Obrázek 4.1: Nakládka [zdroj: vlastní]

Oblast skladu a výroby je oddělena, zdí ve které se nachází dvě automatické dveře. Vrchní dveře slouží pro přivezení materiálu k výrobní linkám a spodními dveřmi se prázdné vozíky vrací na pracoviště nakládky. V Příloze 4 u spodních dveří v oblasti skladu je znázorněna smyčka trasy, která slouží pro parkování a nabíjení vozíků.

Jak je naznačeno na obr. 4.2, výroba se skládá z 6 samostatných pracovišť, které reprezentují výrobní linky. Jsou označeny čísly od 1 do 6, linka číslo 1 se nachází na obrázku nejvýše. Každá linka má pouze jedno stanoviště pro vykládání materiálu a vykládka na ní probíhá pouze na jednom vozíku najednou. Materiál je vykládán na pracoviště supermarket, kde je vytřízen na jednotlivé druhy a poté montován na výrobní lince.



Obrázek 4.2: Výroba [zdroj: vlastní]

4.2. Parametry

Před nakládkou materiálu na vozík je materiál vyskládněn na zásobník. Naložení vozíku zajišťuje nástroj TransferStation ze záložky Tools. Nakládka může začít v okamžiku, kdy je v bufferu nachystáno potřebné množství materiálu. Šasi je na vozík nakládáno 30 sekund, základní desky, chladiče a zdroje 10 sekund.

Na každém pracovišti dochází k naložení pouze jedno AGV vozíku najednou. Dle parametrů vybraných manipulačních vozíku jsme určili kapacitu na dvě při převozu šasi a na převoz zdrojů, chladičů a základních desek šest. U vozíků AGV je potřeba vyřešit problém oblastí, kde se vozíky napojují při odjezdu z oblasti nakládání. To je vyřešeno pomocí senzorů před křižovatkou. Systém je zvolen metodou FIFO (First In, First Out), který v praxi znamená, že ten, kdo přijede na křižovátku první z ní také odjede první. Rychlost vozíků je nastavena na 1m/s dle technických parametrů vybraného zařízení.

Destinaci vozík obdrží na pracovišti nakládky po naložení materiálu. Po vyložení materiálu je destinace změněna zpět na pracoviště nakládky.

Vykládání materiálu je provedeno podobně jako nakládání. Pomocí transfer stanice, který vykládají AGV vozíky. Takt pro výrobní linku jsou 3 minuty a kapacita zásobníku je určená na tři hotové výrobky.

Požadavky pro zásobovací systém jsou kontinuálnost výrobních linek a dosažení počtu vyrobených kusů za hodinu. Jedna výrobní linka musí vyrobit dvacet kusů za hodinu.

4.3. MATICE EXPERIMENTŮ

Všechny experimenty v simulaci začínají s předpřipraveným materiálem v supermarketu na dva hotové výrobky, z důvody předpřípravy. Experimenty budeme vztahovat na jednu osmihodinovou pracovní směnu.

4.3. Matice experimentů

Pro matice experimentů tab. 4.1 jsem zvolil tři proměnné parametry, pomocí kterých se budeme snažit optimalizovat zásobování výrobních linek. Cílem bylo snížit počet AGV vozíků na potřebné minimum. Parametry, které budeme měnit budou obsazenost pracoviště nakládky a vykládky.

	Počet AGV	Obsazení stanoviště nakládky	Obsazení stanoviště vykládky
Varianta 1	12	1	1
Varianta 2	10	1	1
Varianta 3	10	2	1
Varianta 4	8	2	1
Varianta 5	10	1	2
Varianta 6	6	2	2
Varianta 7	4	2	2

Tabulka 4.1: Matice experimentů [zdroj: vlastní]

4.4. Varianty simulací

4.4.1. Varianta 1

U první varianty počet AGV vozíků stanoven na 12. Každá výrobní linka je zásobena jedním vozíkem, který převáží šasi, a jedním vozíkem, který zajišťuje zásobování linek zdroje napětí, chladiči a základními deskami.

Tabulka vytíženosti výrobních linek tab. 4.3 nám zobrazuje procentuální rozložení časů, kdy výrobní linka vyráběla (sloupec Working) a časů kdy čekala (sloupec Waiting) na materiál.

Z provedené simulace je zřejmé, že zde bylo dosaženo kontinuální výroby. U linek čtyři, pět a šest byla naměřena malá odchylka v řádu desetin procenta, tato odchylka byla způsobena čekací dobou při prvním závozu materiálem. Odchylka byla odstraněna pomocí upravení času simulace.

Následuje tabulka vytíženosti AGV vozíků tab. 4.4. Reálná doba, kterou vozík stráví převozem materiálu, je procentuálně vyjádřena ve sloupci working, čekací doba je vyjádřena je sloupci waiting.

Vidíme zde, že pouze 30 procent celkového času je stráveno jízdou, ale musíme brát v úvahu, že do čekacího času se započítává také čas strávený nakládáním a vykládáním

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/ down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
AssemblyLine1	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine2	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine3	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine4	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine5	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine6	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Obrázek 4.3: Vytíženost výroby - varianta 1 [zdroj: vlastní]

materiálu. V tabulce napravo vidíme ujetou vzdálenost jednotlivými vozíky za jednu osmi-hodinovou pracovní směnu. Z ujetých vzdáleností vidíme, že využití vozíků je vyrovnané.

Object	Transport						Traveled Distance
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	
.MUs.chas:3	31.48%	0.00%	68.52%	0.00%	0.00%	0.00%	9040 m
.MUs.Transporter:2	31.71%	0.00%	68.29%	0.00%	0.00%	0.00%	9114 m
.MUs.Transporter:1	31.71%	0.00%	68.29%	0.00%	0.00%	0.00%	9125 m
.MUs.Transporter:6	31.53%	0.00%	68.47%	0.00%	0.00%	0.00%	9010 m
.MUs.Transporter:5	31.49%	0.00%	68.51%	0.00%	0.00%	0.00%	9011 m
.MUs.chas:2	31.58%	0.00%	68.42%	0.00%	0.00%	0.00%	9082 m
.MUs.chas:6	31.35%	0.00%	68.65%	0.00%	0.00%	0.00%	8967 m
.MUs.chas:1	31.55%	0.00%	68.45%	0.00%	0.00%	0.00%	9085 m
.MUs.chas:5	31.35%	0.00%	68.65%	0.00%	0.00%	0.00%	8980 m
.MUs.Transporter:4	31.63%	0.00%	68.37%	0.00%	0.00%	0.00%	9066 m
.MUs.chas:4	31.43%	0.00%	68.57%	0.00%	0.00%	0.00%	9015 m
.MUs.Transporter:3	31.60%	0.00%	68.40%	0.00%	0.00%	0.00%	9069 m

Obrázek 4.4: Vytíženost vozíků - varianta 1 [zdroj: vlastní]

Počet hotových výrobků za směnu nám ukazuje tab. 4.5. Celkový počet výrobků za směnu je ukázán ve sloupci Throughput. Zkratka TPH značí průměrný počet vyrobených kusů za hodinu. Varianta číslo jedna splňuje požadavek na počet kusů za hodinu a na kontinuálnost výroby.

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH
FinishGoodsL1	Chassis	23:23.4756	159	20
FinishGoodsL2	Chassis	22:30.5823	159	20
FinishGoodsL3	Chassis	21:19.5584	159	20
FinishGoodsL6	Chassis	22:21.8710	158	20
FinishGoodsL4	Chassis	21:02.9625	159	20
FinishGoodsL5	Chassis	21:33.6473	159	20

Obrázek 4.5: Počet kusů za směnu - varianta 1 [zdroj: vlastní]

4.4. VARIANTY SIMULACÍ

4.4.2. Varianta 2

V první variantě jsme dosáhli kontinuální výroby, proto u druhé varianty snížíme celkový počet vozíků na deset. Parametry a časy pro nakládku a vykládku materiálu zůstávají stejné.

Dle tabulky tab. 4.6 výroba neprobíhá kontinuálně a procentuální hodnota čekacích časů dosahuje až osmi procent, z toho poznáme, že pro zadané parametry a nastavení modelu není počet vozíků dostačující.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
AssemblyLine6	92.08%	0.00%	7.92%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine5	92.40%	0.00%	7.60%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine4	92.68%	0.00%	7.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine3	93.00%	0.00%	7.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine2	93.31%	0.00%	6.69%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine1	93.63%	0.00%	6.37%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Obrázek 4.6: Vytíženost výroby - varianta 2 [zdroj: vlastní]

Vytíženost a ujeté vzdálenosti vozíků se v této variantě mírně zvýšila oproti variantě s 12 vozíky.

Object	Transport						Traveled Distance
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	
.MUs.Transporter:1	36.17%	0.00%	63.83%	0.00%	0.00%	0.00%	10411 m
.MUs.Transporter:2	36.13%	0.00%	63.87%	0.00%	0.00%	0.00%	10385 m
.MUs.Transporter:5	35.97%	0.00%	64.03%	0.00%	0.00%	0.00%	10295 m
.MUs.chas:2	36.03%	0.00%	63.97%	0.00%	0.00%	0.00%	10361 m
.MUs.chas:1	35.98%	0.00%	64.02%	0.00%	0.00%	0.00%	10363 m
.MUs.chas:5	35.89%	0.00%	64.11%	0.00%	0.00%	0.00%	10279 m
.MUs.Transporter:4	36.11%	0.00%	63.89%	0.00%	0.00%	0.00%	10349 m
.MUs.chas:4	35.94%	0.00%	64.06%	0.00%	0.00%	0.00%	10307 m
.MUs.Transporter:3	36.13%	0.00%	63.87%	0.00%	0.00%	0.00%	10369 m
.MUs.chas:3	35.90%	0.00%	64.10%	0.00%	0.00%	0.00%	10311 m

Obrázek 4.7: Vytíženost vozíků - varianta 2 [zdroj: vlastní]

Z tabulky tab. 4.8 je patrné, že průměrný počet výrobků za hodinu nedosahuje požadované hodnoty.

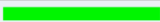
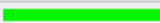
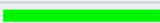
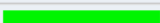
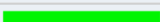
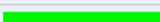
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH
FinishGoodsL1	Chassis	12:12.4143	149	19
FinishGoodsL2	Chassis	12:31.7710	149	19
FinishGoodsL3	Chassis	12:50.4613	148	19
FinishGoodsL6	Chassis	14:13.0320	147	18
FinishGoodsL4	Chassis	13:14.8485	148	19
FinishGoodsL5	Chassis	13:43.7794	147	18

Obrázek 4.8: Počet kusů za směnu - varianta 2 [zdroj: vlastní]

4.4.3. Varianta 3

U třetí varianty jsme zachovali počet deset vozíků, který byly i v předchozí variantě, kde jsme kontinuální výroby nedosáhli. V této variantě zvýšíme parametr obsazenosti nakládacích pracovišť. Všechny časy pro nakládání materiálu budou dvakrát kratší. Dva pracovníci budou vždy pracovat na naložení jednoho vozíku.

V tabulce tab. 4.9 vidíme procentuální vytížení stejné jako tomu bylo u první varianty, kdy jsme používali 12 vozíků. Výroba zde probíhá kontinuálně.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/ down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
AssemblyLine1	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine2	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine3	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine4	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine5	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine6	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Obrázek 4.9: Vytíženost výroby - varianta 3 [zdroj: vlastní]

Vytíženost vozíků v tab. 4.10 dosahuje přibližně téměř 40 procent, což je 10procentní nárůst oproti variantě 2, kde vozíky tuto dobu čekaly na pracovišti nakládky. Celková ujetá vzdálenost je zde průměrně 11,3 km za osmihodinovou pracovní směnu. Vytížení vozíků vyrovnané.

Object	Transport						Traveled Distance
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	
.MUs.Transporter:2	39.39%	0.00%	60.61%	0.00%	0.00%	0.00%	11320 m
.MUs.Transporter:1	39.42%	0.00%	60.58%	0.00%	0.00%	0.00%	11344 m
.MUs.Transporter:5	39.24%	0.00%	60.76%	0.00%	0.00%	0.00%	11230 m
.MUs.chas:2	39.21%	0.00%	60.79%	0.00%	0.00%	0.00%	11277 m
.MUs.chas:1	39.17%	0.00%	60.83%	0.00%	0.00%	0.00%	11280 m
.MUs.chas:3	39.11%	0.00%	60.89%	0.00%	0.00%	0.00%	11233 m
.MUs.Transporter:3	39.33%	0.00%	60.67%	0.00%	0.00%	0.00%	11289 m
.MUs.chas:4	39.13%	0.00%	60.87%	0.00%	0.00%	0.00%	11222 m
.MUs.Transporter:4	39.37%	0.00%	60.63%	0.00%	0.00%	0.00%	11283 m
.MUs.chas:5	39.10%	0.00%	60.90%	0.00%	0.00%	0.00%	11197 m

Obrázek 4.10: Vytíženost vozíků - varianta 3 [zdroj: vlastní]

Průměrný počet vyrobených kusů za hodinu dle tab. 4.11 je u všech linek 20.

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH
FinishGoodsL1	Chassis	19:35.8286	159	20
FinishGoodsL2	Chassis	18:25.7192	159	20
FinishGoodsL3	Chassis	17:06.8168	159	20
FinishGoodsL6	Chassis	18:26.9183	158	20
FinishGoodsL4	Chassis	16:45.7551	159	20
FinishGoodsL5	Chassis	17:29.3875	159	20

Obrázek 4.11: Počet kusů za směnu - varianta 3 [zdroj: vlastní]

4.4. VARIANTY SIMULACÍ

4.4.4. Varianta 4

Ve čtvrté variantě budeme pokračovat se snižováním počtu zavážecích vozíků. V předchozí variantě jsme dosáhli splnění obou podmínek pomocí 10 vozíků. V této variantě snížíme počet vozíků na 8. Ostatní parametry zůstanou stejné jako v předchozím variantě. Z dat vytíženosti výrobních linek v tab. 4.12 vidíme, že pro tuto variantu je počet vozíků příliš nízký. Výroba zde není kontinuální a čekací čas výrobních linek je průměrně 3,5 procenta celkového času.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
AssemblyLine6	95.74%	0.00%	4.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine5	96.06%	0.00%	3.94%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine4	96.33%	0.00%	3.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine3	96.65%	0.00%	3.35%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine2	96.96%	0.00%	3.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine1	97.28%	0.00%	2.72%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Obrázek 4.12: Vytíženost výroby - varianta 4 [zdroj: vlastní]

Vytížení a ujetá vzdálenost dle tabulky je vyšší než ve variantě číslo 3 s vyšším počtem vozíků. Průměrný počet vyrobených kusů za hodinu v tab. 4.14 je 19.

Object	Transport						Traveled Distance
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	
.MUs.Transporter:4	46.76%	0.00%	53.24%	0.00%	0.00%	0.00%	13400 m
.MUs.chas:1	46.66%	0.00%	53.34%	0.00%	0.00%	0.00%	13438 m
.MUs.Transporter:1	46.96%	0.00%	53.04%	0.00%	0.00%	0.00%	13514 m
.MUs.Transporter:2	47.00%	0.00%	53.00%	0.00%	0.00%	0.00%	13507 m
.MUs.chas:2	46.71%	0.00%	53.29%	0.00%	0.00%	0.00%	13435 m
.MUs.chas:4	46.64%	0.00%	53.36%	0.00%	0.00%	0.00%	13378 m
.MUs.Transporter:3	46.86%	0.00%	53.14%	0.00%	0.00%	0.00%	13450 m
.MUs.chas:3	46.71%	0.00%	53.29%	0.00%	0.00%	0.00%	13415 m

Obrázek 4.13: Vytíženost vozíků - varianta 4 [zdroj: vlastní]

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH
FinishGoodsL1	Chassis	11:22.2816	155	19
FinishGoodsL2	Chassis	11:15.4452	155	19
FinishGoodsL3	Chassis	11:26.6265	154	19
FinishGoodsL6	Chassis	13:41.7440	153	19
FinishGoodsL4	Chassis	12:09.1678	154	19
FinishGoodsL5	Chassis	13:07.0026	153	19

Obrázek 4.14: Počet kusů za směnu - varianta 4 [zdroj: vlastní]

4.4.5. Varianta 5

V této variantě zvýšíme obsazenost pracoviště vykládky a snížíme obsazenost pracoviště nakládky na výchozí hodnotu. Celkový počet vozíků AGV stanovíme na 10.

Porovnáním této varianty a varianty 3, kde jsme za použití stejného počtu vozíků posílili pouze pracoviště nakládky zjistíme, že tato varianta nesplňuje požadavek na kontinuálnost výroby. A to přesto, že na posílení pracovišť vykládky je potřeba o 4 pracovníky více než na posílení pracovišť nakládky.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
AssemblyLine1	98.16%	0.00%	1.84%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine2	97.92%	0.00%	2.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine3	97.68%	0.00%	2.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine4	97.47%	0.00%	2.53%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine5	97.23%	0.00%	2.77%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine6	96.98%	0.00%	3.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Obrázek 4.15: Vytíženost výroby - varianta 5 [zdroj: vlastní]

V tab. 4.16 je průměrný čekací čas pro jeden vozík 62 procent z celkového času.

Object	Transport					
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused
.MUs.Transporter:5	37.94%	0.00%	62.06%	0.00%	0.00%	0.00%
.MUs.chas:1	37.81%	0.00%	62.19%	0.00%	0.00%	0.00%
.MUs.Transporter:1	38.02%	0.00%	61.98%	0.00%	0.00%	0.00%
.MUs.Transporter:4	37.95%	0.00%	62.05%	0.00%	0.00%	0.00%
.MUs.Transporter:3	37.91%	0.00%	62.09%	0.00%	0.00%	0.00%
.MUs.Transporter:2	37.86%	0.00%	62.14%	0.00%	0.00%	0.00%
.MUs.chas:5	37.79%	0.00%	62.21%	0.00%	0.00%	0.00%
.MUs.chas:4	37.75%	0.00%	62.25%	0.00%	0.00%	0.00%
.MUs.chas:3	37.70%	0.00%	62.30%	0.00%	0.00%	0.00%
.MUs.chas:2	37.69%	0.00%	62.31%	0.00%	0.00%	0.00%

	Traveled Distance
.MUs.Transporter:5	10857 m
.MUs.chas:1	10890 m
.MUs.Transporter:1	10943 m
.MUs.Transporter:4	10878 m
.MUs.Transporter:3	10879 m
.MUs.Transporter:2	10881 m
.MUs.chas:5	10824 m
.MUs.chas:4	10826 m
.MUs.chas:3	10828 m
.MUs.chas:2	10839 m

Obrázek 4.16: Vytíženost vozíků - varianta 5 [zdroj: vlastní]

Z tabulky tab. 4.17 vidíme, že linky čtyři, pět a šest nesplňují požadavek na počet kusů za hodinu.

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH
FinishGoodsL1	Chassis	11:21.5712	157	20
FinishGoodsL2	Chassis	11:14.2403	156	20
FinishGoodsL3	Chassis	11:12.7553	156	20
FinishGoodsL6	Chassis	11:33.7012	155	19
FinishGoodsL4	Chassis	11:17.2145	155	19
FinishGoodsL5	Chassis	11:25.7520	155	19

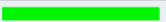

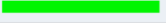

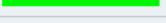

Obrázek 4.17: Počet kusů za směnu - varianta 5 [zdroj: vlastní]

4.4. VARIANTY SIMULACÍ

4.4.6. Varianta 6

Ve variantě 6 zvýšíme obsazenost u všech pracovišť nakládky a vykládky. Časy potřebné pro nakládání a vykládání se sníží na polovinu. Celkový počet pracovníků, o který se navýší obsluha pracovišť nakládky a vykládky bude 8. Díky tomu můžeme snížit počet vozíků v této variantě na 6. Každý vozík bude obsluhovat dvě výrobní linky.

Z tabulky vytíženosti výrobních linek tab. 4.18 je patrné, že byla splněna podmínka na kontinuálnost výroby.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/ down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
AssemblyLine1	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine2	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine3	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine4	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine5	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine6	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Obrázek 4.18: Vytíženost výroby - varianta 6 [zdroj: vlastní]

Využití vozíků dle tab. 4.19 dosahuje 65 procent a ujetá vzdálenost je podstatně větší než v předchozích variantách. Každá vozík ujel průměrně 18,8 kilometru za osmihodinovou pracovní směnu.

Object	Transport						Traveled Distance
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	
.MUs.Transporter:3	65.57%	0.00%	34.43%	0.00%	0.00%	0.00%	18820 m
.MUs.chas:1	65.33%	0.00%	34.67%	0.00%	0.00%	0.00%	18816 m
.MUs.Transporter:2	65.53%	0.00%	34.47%	0.00%	0.00%	0.00%	18833 m
.MUs.chas:3	65.21%	0.00%	34.79%	0.00%	0.00%	0.00%	18728 m
.MUs.chas:2	65.22%	0.00%	34.78%	0.00%	0.00%	0.00%	18757 m
.MUs.Transporter:1	65.59%	0.00%	34.41%	0.00%	0.00%	0.00%	18876 m

Obrázek 4.19: Vytíženost vozíků - varianta 6 [zdroj: vlastní]

V této variantě je dosaženo požadavku na počet kusů za hodinu u všech výrobních linek.

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH
FinishGoodsL1	Chassis	18:13.6466	159	20
FinishGoodsL2	Chassis	17:36.0831	159	20
FinishGoodsL3	Chassis	16:29.9999	159	20
FinishGoodsL6	Chassis	14:34.4999	159	20
FinishGoodsL4	Chassis	15:18.9246	159	20
FinishGoodsL5	Chassis	14:49.4304	159	20

Obrázek 4.20: Počet kusů za směnu - varianta 6 [zdroj: vlastní]

4.4.7. Varianta 7

V poslední variantě zachováme parametry pro nakládku a vykládku z varianty 6, kde jsme dosáhli splnění obou zadaných požadavků. Celkový počet vozíků bude snížen na 4. Z tabulky tab. 4.21 vidíme, že tento počet vozíků již nestačí pro zásobování šesti výrobních linek a podstatnou část směny čekají na materiál. Čekací doba pro výrobní linku je zhruba 30 procent, tento čas odpovídá zhruba 18 minutám každou hodinu.

Tato varianta tedy nesplňuje požadavek na kontinuálnost výroby ani na počet kusů za hodinu dle tabulky.

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up / down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
AssemblyLine1	68.85%	0.00%	31.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine2	68.75%	0.00%	31.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine3	68.75%	0.00%	31.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine4	68.60%	0.00%	31.40%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine5	68.11%	0.00%	31.89%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
AssemblyLine6	67.93%	0.00%	32.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Obrázek 4.21: Vytíženost výroby - varianta 7 [zdroj: vlastní]

Vytížení zavazecích vozíků a celková ujetá vzdálenost dle tab. 4.22 jsou téměř stejné jako v předešlé variantě. Podstatná část průměrného čekacího času 34 procent je tvořena nakládáním a vykládáním materiálu.

Object	Transport						Traveled Distance
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	
.MUs.Transporter:1	66.02%	0.00%	33.98%	0.00%	0.00%	0.00%	18987 m
.MUs.chas:2	65.66%	0.00%	34.34%	0.00%	0.00%	0.00%	18884 m
.MUs.Transporter:2	66.06%	0.00%	33.94%	0.00%	0.00%	0.00%	19000 m
.MUs.chas:1	65.94%	0.00%	34.06%	0.00%	0.00%	0.00%	18992 m

Obrázek 4.22: Vytíženost vozíků - varianta 7 [zdroj: vlastní]

Počet vyrobených kusů za hodinu je pouze 14 dle tab. 4.23. Tato varianta tedy nesplňuje ani požadavek na počet vyrobených kusů za hodinu.

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH
FinishGoodsL1	Chassis	13:48.1635	110	14
FinishGoodsL2	Chassis	13:11.4399	110	14
FinishGoodsL3	Chassis	13:58.1407	110	14
FinishGoodsL6	Chassis	13:40.3343	108	14
FinishGoodsL4	Chassis	13:21.9555	109	14
FinishGoodsL5	Chassis	14:15.9567	108	14

Obrázek 4.23: Počet kusů za směnu - varianta 7 [zdroj: vlastní]

4.5. Vyhodnocení experimentů

Z experimentů vyplynulo, že pouze varianty jedna, tři a šest splňují požadavky na kontinuálnost výroby a počet vyrobených kusů za hodinu. Dle tabulky tab. 4.2 vidíme závislost počtu AGV vozíků na počtu obsluhy pracovišť v jednotlivých variantách, které vyhovují požadavkům. Sloupec celkový počet obsluhy nám udává počet pracovníků, kteří pracující na stanovištích nakládky a vykládky materiálu. Tato tabulka může sloužit jako jeden z ukazatelů při rozhodování o aplikaci daného manipulačního zařízení. Při porovnání s aktuálním počtem zaměstnanců zajišťujících zásobování výrobních linek lze dopočítat ekonomické dopady a návratnost investic.

	Počet AGV	Celkový počet obsluhy
Varianta 1	12	8
Varianta 3	10	10
Varianta 6	6	16

Tabulka 4.2: Vyhodnocení experimentů [zdroj: vlastní]

5. Závěr

Teoretická část této práce se zabývala manipulačními zařízeními používaná v oblasti elektronického průmyslu. Průmysl zabývající se výrobou a montáží elektroniky je jeden z nejprogresivnějších odvětví dnes. Je charakteristický neustálým vývojem a pravidelným představováním nových produktů. Proto se zde klade velký důraz na efektivitu a flexibilitu výroby.

Rešerše manipulačních zařízení v tomto odvětví je věnována především rozdělením používaných zařízení a jejich představení. Moderní trendy leží ve využití motorizovaných a automatizovaných vozíků, které umožňují dodržet dnešní přísné hygienické limity na manipulaci s břemeny bez dopadu na efektivitu procesů. Pozornost je zde věnována především automatizovaným vozíkům, kde bylo provedeno srovnání možností navigace a vybraných typů těchto vozíků.

Simulační programy jsou dnes jedním z nejdůležitějších nástrojů při zavádění nových produktů nebo změn v procesu. Je důležité vybrat správný program dle parametrů, které potřebujeme pro analýzu daného podniku. Jedny z nejpoužívanějších druhů simulačních programů jsou simulační programy pro všeobecné diskrétní simulace, se kterými jsme se seznámili.

Cílem praktické části bylo vytvoření simulačního modelu pro zavážení výrobních linek automatizovanými vozíky a porovnání jejich efektivitu. Na základě daných parametrů a požadavků jsme navrhli matici experimentů pro 7 variant simulace. Simulace byly zaměřeny na obsazenost pracovišť nakládání a vykládání materiálu a celkový počet potřebných vozíků. Využití této práce v budoucnu by mohlo spočívat v navázání na vytvořený simulační model a jeho další využití. Například rozšířením do oblasti skladu bychom mohli navrhnout optimální způsob vyskladňování materiálu. Simulační model se dá také využít při zavádění nových produktů s odlišnými parametry.

Literatura

- [1] Dlouhodobá spolupráce s firmou Foxconn je pro nás důležitá: PST CLC, A.S.. Ostrava, 2019 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.pst-clc.cz/dulezitym-stavebnim-kamenem-je-pro-nas-dlouhodobospoluprace-s-firmou-foxconn/>
- [2] KLAUZ, Milan. IPC standardy. DPS [online]. 2011(5) [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/zajimavosti/id:11440/ipc-standardy>
- [3] W., Whyte. Cleanroom technology: fundamentals of design, testing and operation. 1. Chichester, UK: Wiley, 2001. ISBN 0-471-86842-6.
- [4] KIC, Pavel. Dopravní a manipulační stroje. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 978-80-213-1723-9.
- [5] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.: Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361/zneni-20200301>
- [6] HLAVENKA, Bohumil. Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-214-3607-7.
- [7] KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 80-807-0174-1.
- [8] Manipulační vozíky. In: ENPRAG s.r.o. [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.kovovynabytek.cz/manipulacni-voziky/c-5582>
- [9] Trubkový systém: Trubkový regálový systém [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.beewatec.cz/katalog-produktu/trubkovy-system>
- [10] Přípojný vozíky do výroby: BeeEasy [online]. In: . [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.beewatec.cz/katalog-produktu/logistika/beeasy>
- [11] Vozíky z čtyřhranných profilů. In: Beewatec [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.beewatec.cz/katalog-produktu/logistika/voziky-z-ctyrhrannych-profilu>
- [12] Tažný systém STILL BaseRunner and RackRunner: BaseRunner. In: STILL ČR spol. s r.o. [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.still.cz/voziky/nove-voziky/tazne-soupravy/tazny-system-still-baserunner-rackrunner.html>
- [13] Schwerlast-Industrieanhänger mit. In: Trameo [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.trameo.de/schwerlastindustrieanhanger-mit-2-achs-drehschemellenkung.html>
- [14] E-DRIVE. Tente [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.tente.com/cs-cz/serie-produktu/intelligent-mobility-solutions/e-drive>
- [15] E-drive 1. In: Direct Industry [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://pdf.directindustry.com/pdf/tente/e-drive-1/6276-635997.html>

- [16] Movexx T1000. In: Movexx [online]. 2018 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://movexx.nl/wp-content/uploads/2018/12/ENG-T1000-2018.pdf>
- [17] Trend interní logistiky: logistické vláčky. In: Mmspektrum [online]. 2016 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trend-interni-logistiky-logistickevlacky.html>
- [18] Efektivní a štíhlá logistika. In: Mmspektrum [online]. 2016 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/efektivni-a-stihla-logistika.html>
- [19] ELEKTRICKÝ TAHAČ A PLOŠINOVÝ VOZÍK: LTX 20 / LTX-T 04. In: STILL ČR [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.still.cz/voziky/nove-voziky/plosinove-voziky-a-tahace/ltx-20-ltx-t-04.html>
- [20] AGV-AUTOMATED GUIDED VEHICLES [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.systemlogistics.com/eng/solutions-and-projects/agv-automated-guided-vehicle>
- [21] GÜNTER, Ulrich. Fahrerlose Transportsysteme. 2. Springer Vieweg, 2013. ISBN 978-3834825919.
- [22] Automaticky řízené (naváděné) vozíky: Beewatec [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.beewatec.cz/katalog-produktu/logistika/automaticky-rizene-voziky>
- [23] Types of AGV Navigation Technology. In: SCOTT [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.scottautomation.com/news/articles/types-of-agv-navigation-technology/>
- [24] Wire guidance sensor [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.philo-home.com/sensors/filoguide.htm>
- [25] NAVIGATION SYSTEM [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.quirepace.co.uk/products/automated-guided-vehicles/agvs-for-hospitals/navigation-system/>
- [26] Automatická přeprava zb: Beewatec [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.beewatec.cz/files/upload/file/Automaticky-rizene-voziky.pdf>
- [27] MiR500 [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir500/>
- [28] INDEVA® AGV: Automatic Guided Vehicles [online]. 2019 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.indevagroup.com/wp-content/uploads/2018/03/BR-16-pag-UK-17737-LOW-versione-SETTEMBRE-2019.pdf>
- [29] POHL, Rudolf. Úvod do dopravní a manipulační techniky I. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2292-7.
- [30] BANKS, Jerry. Discrete-event system simulation. 4th ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, c2005. ISBN 01-314-4679-7.

LITERATURA

- [31] Materiálový tok [online]. Techportal [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR-TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a-Rm-SdJyeR.JhvvhWt6GT3USXlrOIp4JcaglJsVckj-qcsReboz27aFII0BA>
- [32] Simulation Software Survey: Simulation: new and improved reality show. OR/MS Today [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.informs.org/ORMS-Today/Public-Articles/October-Volume-44-Number-5/Simulation-Software-Survey-Simulation-new-and-improved-reality-show>

6. Seznam použitých zkratek a symbolů

AGV	Automated Guided Vehicle
FIFO	First In, First Out
GPSS	General Purpose Simulation System
HVAC	Heating, ventilation, air-condition
IBM	International Business Machines
IPC	The Institute of Printed Cuircuit
LPG	Liquified Petroleum Gas
TPH	Throughput per hour

7. Seznam příloh

Příloha 1	Simulační programy - oblast použití
Příloha 2	Simulační programy - vytváření modelů
Příloha 3	Simulační programy - cenové porovnání
Příloha 4	Layout simulačního modelu

1. Simulační programy - oblast použití [32]

	Typical Applications of the software	Is software able to utilize other software to do specialized functions ? Which softwares ?	Can the software be controlled or run by an external program?	Can the software be customized by user using model primitives or programming languages?
AnyLogic	Multimethod general-purpose simulation tool. Discrete Event, Agent-Based, and System Dynamics modeling.	Excel, Access, any database, OptQuest, Stat::Fit, any Java / DLL library e.g. for bayesian or neural networks.	yes	yes
Process Simulator	Lean, SixSigma, value stream mapping, process mapping, flow chart simulation, continuous process improvement	Visio, Excel, MiniTab	yes	yes
Simio Enterprise Edition	Ideal product for professional modelers and researchers. Powerful OO modeling and integrated 3D animation for rapid model	Microsoft Azure, Wonderware, OptQuest, .Net Programs (over 60 languages supported), Excel, Access, SQL Server, MySQL	yes	yes
SIMUL8 Professional	Assembly Line, Line Balancing Strategic planning, Operations, Healthcare Systems, BPMN, Lean, Shared Services, Capacity Plan	Microsoft Excel, Stat::Fit, OptQuest, SQL Databases	yes	yes
Tecnomatix Plant Simulation	Discrete-event simulation, visualization, analysis and optimization of production throughput, material flow, and logistics	Matlab, C dlls, MS Excel, SAP, Simatic IT, Teamcenter, Autocad, Microstation	yes	yes
WITNESS	Fast, productive predictive simulation desktop software for professional modelling and application development.	Any	yes	yes

.2. SIMULAČNÍ PROGRAMY - VYTVÁŘENÍ MODELŮ [32]

.2. Simulační programy - vytváření modelů [32]

	Graphical model construction (icon or drag-and-drop)	Model building using programming/ access to programmed modules	Run time debug	Output Analysis Support	Batch run or experimental design	Optimization
AnyLogic	yes	yes	yes	Reports, model execution logs, charts, output to the built-in database or any external data storage (databases, spreadsheets, text files).	Flexible user interface to create the following experiments: Parameter Variation, Compare Runs, Monte Carlo, Sensitivity Analysis, Calibration, and custom.	OptQuest is included, plus users can employ any custom optimization algorithms.
Process Simulator	yes	yes	yes	Output Viewer, Minitab, Excel	Unlimited scenarios can be predefined to experiment on parameters	Via experiments and running simulation scenarios
Simio Enterprise Edition	yes	yes	yes	SMORE Plots for risk analysis, sensitivity analysis, custom dashboards, comprehensive data in pivot tables, export summary or details to external packages	Run manual scenarios with multiple replications. Concurrent full use of all processors. Built-in ranking and selection	OptQuest (option) takes full advantage of all processors. Featuring Multi-Objective and Pattern Frontier optimization
SIMUL8 Professional	yes	yes	yes		Multiple Replications and Scenario Management	OptQuest
Tecnomatix Plant Simulation	yes	yes	yes	Datafit, Charts, Sankey, Bottleneck analyzer, Energy Analyzer, Neural Networks	Experiment Manager supporting distributed simulation	Genetic Algorithm, Layout Optimizer, Neural networks, Hill Climbing, Dynamic Programming, Branch and
WITNESS	yes	yes	yes			

.3. Simulační programy - cenové porovnání [32]

	Standard	Student Version
AnyLogic	Contact us for details	Free AnyLogic Personal Learning Edition
Process Simulator	\$5 400	Free
Simio Enterprise Edition	Contact us for details	Free version, \$25 version, Full Academic Grants for lab software available
SIMUL8 Professional	\$4 995	\$1 995
Tecnomatix Plant Simulation	Various	Free student download version; additional academic options available
WITNESS	Contact for Details	Free

