

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2021

Bc. Roman Mravec



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

NÁVRH MEZIOPERAČNÍ DOPRAVY VE VÝROBNÍM PODNIKU PODLE PRINCIPŮ PRŮMYSLU 4.0

DESIGN OF INTER-OPERATIONAL TRANSPORT IN A MANUFACTURING COMPANY ACCORDING TO THE
INDUSTRY 4.0 CONCEPT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Roman Mravec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Robert Bayer

BRNO 2021

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektrotechnická výroba a management**

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Roman Mravec

ID: 146064

Ročník: 2

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Návrh mezioperační dopravy ve výrobním podniku podle principů Průmyslu 4.0

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Zpracujte problematiku Průmyslu 4.0 pro potřeby výrobního závodu firmy Hilti spol. s r.o. a vyhodnoťte aktuální stav mezioperační dopravy u vybrané výrobní linky. Na základě analýzy navrhněte řešení automatizované mezioperační dopravy podle principů Průmyslu 4.0 na konkrétním úseku výroby. Výsledný návrh zpracujte s ohledem na finanční a bezpečnostní aspekty.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 1.8.2021

Vedoucí práce: Ing. Robert Bayer

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa na základe opisu a definície technológií a procesov spadajúcich do vízie štvrtej priemyselnej revolúcie s cieľom vzniku inteligentných tovární venuje alikácii princípov konceptu Priemyslu 4.0 vo výrobnom závode spoločnosti Hilti so zameraním na transport a zásobovanie výrobných zariadení. Cieľom práce je vytvorenie komplexného návrhu, ktorý zohľadňuje všetky nevyhnutné aspekty spojené s povýšením existujúceho stavu medzioperačnej dopravy v konkrétnej výrobnéj linke na plne automatizovanú, flexibilnú a autonómne riadenú prepravu materiálu a produktov v kontexte Priemyslu 4.0. Predpokladom k vytvoreniu návrhu je zapojenie automaticky navádzaných vozidiel (AGV) obsluhujúcich jednotlivé prepravné objednávky. Výber vozidla prebehol s prihliadnutím na bezpečnosť pri pohybe, spôsob nabíjania, systémovú a sieťovú integritu existujúcich a navrhovaných technológií a komponentov. Zámerom nie je iba automatizácia medzioperačnej obsluhy, ale na základe vytvoreného automatizačného konceptu aj schopnosť autonómneho obstarávania toku materiálu a produktov. Matematický výpočet kapacitného plánovania vo výrobnéj linke pomohol určiť celkové zaťaženie a počet potrebných vozidiel pre nepretržité obstarávanie transportných požiadaviek. Výsledkom návrhovej časti je aj návrh konkrétnych prepravných trás a prepravné podmienky, ktoré musia vozidlá AGV dodržiavať pre zachovanie vysokej úrovne bezpečnosti. Transparenťnosť a neustály prehľad o prepravovaných produktoch poskytuje predstavená schéma identifikácie výrobných šarží, systém Auto-ID. Finančná efektivita celého projektu spracovaného v diplomovej práci je vyhodnotená ako návratná po 4 rokoch od implementácie návrhu v dôsledku vysokých mzdových nákladov.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Priemysel 4.0, inteligentá továreň, internet vecí, veľké dáta, cloudový výpočet, digitálne dvojča, rozšírená realita, virtuálna realita, umelá inteligencia, kyberneticko-fyzikálne systémy, MES, ERP, komunikácia stroj-stroj, medzioperačná doprava, výrobná linka, AGV, automaticky navádzané vozidlá, transport a zásobovanie, automatizačný koncept, kapacitné plánovanie, transportné trasy, transportné pravidlá, identifikácia výrobkov

ABSTRACT

Based on the description and definition of technology and processes falling within the vision of the fourth industrial revolution with the aim of creating intelligent factories, this diploma thesis deals with the principles of the Industry 4.0 concept in Hilti's production plant with a focus on transport and supply of production equipment. The aim of the work is to create a comprehensive proposal that takes into account all the necessary aspects associated with upgrading the existing state of inter-operational transport in a particular production line to fully automated, flexible and autonomous transport of materials and products in the context of Industry 4.0. A prerequisite for creating a design is the connection of automatically guided vehicles (AGVs) serving individual transport orders. The selection of the vehicle was made taking into account the safety of movement, the method of charging, the system and network integrity of existing and proposed technologies and components. The intention is not only to automate the inter-operational service, but also on the basis of the created automation concept, the ability to autonomously procure the flow of material and products. The mathematical calculation of capacity planning in the production line helped to determine the total load and the number of vehicles needed for continuous procurement of transport requirements. The result of the design part is also the design of specific transport routes and transport conditions that AGV vehicles must comply with in order to maintain a high level of safety. Transparency and a constant overview of transported products is provided by the presented scheme for identification of production batches, Auto-ID system. The financial efficiency of the whole project elaborated in the diploma thesis is evaluated as payable after 4 years from the implementation of the proposal.

KEYWORDS

Industry 4.0, smart factory, internet of things, big data, cloud computing, digital twin, augmented reality, virtual reality, artificial intelligence, cyber-physical systems, MES, ERP, machine-to-machine communication, inter-operational transport, production line, AGV, automatic guided vehicles, transport and supply, automation concept, capacity planning, transport routes, transport rules, product identification

MRAVEC, Roman. *Návrh mezioperační dopravy ve výrobním podniku podle principů Průmyslu 4.0*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, 2021, 122 s. Diplomová práce. Vedúci práce: Ing. Robert Bayer

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Bc. Roman Mravec
VUT ID autora: 146064
Typ práce: Diplomová práca
Akademický rok: 2020/21
Téma záverečnej práce: Návrh mezioperační dopravy ve výrobním podniku podle principů Průmyslu 4.0

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Rád by som srdečne poďakoval spoločnosti Hilti za možnosť podieľať sa na tomto projekte formou diplomovej práce a svojim kolegom za prejavenu podporu. Vedúcemu diplomovej práce, pánovi Ing. Robertovi Bayerovi ďakujem za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	14
1 Priemysel 4.0	15
1.1 Inteligentná továreň	16
1.1.1 Požiadavky na inteligentnú továreň	18
1.2 Internet of Things	19
1.3 Big Data	22
1.4 Kyberneticko-fyzikálne systémy	24
1.4.1 Machine-to-Machine komunikácia	26
1.4.2 Umelá inteligencia	27
1.5 Digitálne dvojča	28
1.5.1 Simulačný softvér	30
1.6 Virtuálna a rozšírená realita	30
1.7 Cloud computing	34
1.8 ERP/MES	35
1.9 Technologické procesy v koncepte Priemyslu 4.0	37
1.9.1 Transparentnosť a správa dát	38
1.9.2 Integrácia a konektivita systémov	39
1.9.3 Vzdialená kontrola stavu a prediktívna údržba	39
1.9.4 Flexibilita výroby	40
1.9.5 Sledovanie výrobku	40
1.9.6 Kybernetická bezpečnosť	41
2 Automatizácia transportu prostredníctvom AGV	43
2.1 Technológia navádzania AGV	43
2.2 Varianty AGV využívané vo výrobnom priemysle	46
2.3 Pohyb AGV	47
2.4 Nabíjanie AGV	48
2.5 Bezpečnosť AGV	50
2.6 Výhody nasadenia AGV	52
2.7 AGV v Priemysle 4.0	53
3 Analýza súčasného stavu	55
3.1 Profil spoločnosti Hilti	55
3.2 Výrobná továreň P1	57
3.2.1 Linka P1ES	58
3.3 Výrobný proces	60

3.4	Tok materiálu a produktov	61
3.5	Transport a zásobovanie	63
3.5.1	Prepravné kontajnery	64
3.5.2	Environmentálne podmienky	66
3.5.3	Miera využitia transportu	66
3.6	ERP/MES systém	67
3.7	Výsledok analýzy	67
4	Návrh automatizovaného transportu systémom AGV	69
4.1	Výber vozidla AGV	70
4.1.1	Bezpečnostné prvky	72
4.1.2	Nabíjanie AGV v P1ES	73
4.2	Automatizačný koncept	75
4.3	Systémová architektúra	76
4.3.1	Systém riadenia podniku	77
4.3.2	Riadiaci systém AGV	78
4.3.3	Ovládací systém AGV	79
4.3.4	Transportný systém	80
4.4	Sieťová architektúra	80
4.5	Základy výpočtu kapacitného plánovania	82
4.5.1	Teoretický výpočet plánovania prepravnej kapacity	83
4.6	Výsledky výpočtu plánovania kapacity transportu systémom AGV	86
4.7	Návrh transportných trás	88
4.8	Transportné pravidlá	89
4.9	Auto-ID	93
4.9.1	Identifikácia kontajnera	94
4.9.2	Skenovanie identifikátorov	95
4.10	Eliminácia existujúcich prekážok	97
5	Finančná analýza	102
5.1	Náklady	102
5.2	Úspory	104
5.3	Vyhodnotenie	105
	Záver	106
	Literatúra	109
	Zoznam symbolov a skratiek	114
	Zoznam príloh	115

A	Rozmery a tvar prepravného kontajnera	116
B	Fotografie z výroby linky P1ES	117
	B.1 Nakladacie a vykladacie body	117
	B.2 Rozmery rámp	120
C	Obsah elektronickej prílohy	122

Zoznam obrázkov

1.1	Prehľad priemyselných revolúcií a prelomových objavov	15
1.2	Technológie, systémy a procesy tvoriace koncept inteligentnej továrne	17
1.3	Štruktúra komunikačnej siete Internet of Things	20
1.4	IoT v rámci inteligentnej továrne	21
1.5	Graf 8V	23
1.6	Štruktúra veľkých dát kyberneticko-fyzikálnych systémov v Priemysle 4.0	24
1.7	Machine-to-Machine komunikácia v inteligentnej továrni	26
1.8	Digitálne dvojča produktu	29
1.9	Využitie virtuálnej reality v Priemysle 4.0	31
1.10	Využitie rozšírenej reality v Priemysle 4.0	33
1.11	Architektúra cloud computing	35
1.12	Štandardný model distribuovaného riadenia	37
2.1	Typy navádzania AGV podľa použitej technológie	44
2.2	Schéma blokovania vozidiel AGV pri prechode trajektóriou v rovna- kom smere	47
2.3	Schéma blokovania vozidiel AGV pri prejazde križovatkou v rovnakom čase	48
2.4	Manuálna výmena batérie v AGV	49
2.5	Automatizovaná technológia nabíjania AGV (vpravo) pomocou ko- lektora a základovej dosky (vľavo)	50
2.6	Kolízna zóna sledovaná laserovým skenerom v smere pohybu AGV . .	51
2.7	Konštrukcia bezpečnostného nárazníka AGV s antikolíznu funkciou .	52
2.8	SWOT analýza nasadenia systému AGV v medzioperačnej výrobe . .	53
3.1	Logo spoločnosti Hilti	56
3.2	Snímka výrobného závodu P1 spoločnosti Hilti v Lichtenštajnsku . .	56
3.3	Produkty vyrábané v továrni P1 spoločnosti Hilti	57
3.4	Rozdelenie výrobných tovární P1	58
3.5	Pôdorys výroby haly P1E	59
3.6	Linka P1ES	60
3.7	Časť výrobného procesu vo výrobných hálach P1E s označením konkrét- nych výrobných krokov obstarávaných linkou P1ES	60
3.8	Diagram znázorňujúci transport medzi prepravnými bodmi v P1ES .	62
3.9	Transportná matica zobrazujúca počet transportov medzi preprav- nými bodmi v P1ES za mesiac	63
3.10	Ručný paletový vozík pre presun kontajnerov	63
3.11	Transporty prichádzajúce z iných výrobných liniek	64

4.1	Model vysokozdvížného AGV – FLV 2021/NL od spoločnosti Dematic	70
4.2	Detekcia vzdialenosti medzi vysokozdvížnou konštrukciou a objektom	72
4.3	Umiestnenie nabíjacej stanice	73
4.4	Nabíjacia stanica AGV	74
4.5	Prepravný vozík určený k manuálnemu transportu a výmene akumulátora	75
4.6	Systémová architektúra	77
4.7	Funkčné komponenty riadiaceho systému AGV	78
4.8	Návrh sieťovej architektúry	81
4.9	Schéma prepojenia systému manažmentu dopravy s vozidlom AGV	82
4.10	Postupnosť dopravného procesu pri výpočte plánovania kapacity	82
4.11	Výsledná kalkulácia kapacitného plánovania pre kontajnerový transport vo výrobnnej linke P1ES	87
4.12	Návrh prepravných trás vozidiel AGV	89
4.13	Výmena vozidiel s nabitým a vybitým akumulátorom	90
4.14	Parkovacia zóna pre aktuálne neaktívne vozidlo AGV	92
4.15	Schéma AutoID	93
4.16	Označenie prepravného kontajnera čiarovým kódom	95
4.17	Číselný identifikátor s čiarovým kódom	96
4.18	Skener čiarových kódov	96
4.19	Poklop umiestnený v podlahe v tesnej blízkosti nakladacej rampy F3	98
4.20	Poklop pre zakrytie šachty z kompozitného materiálu	99
4.21	Odtokový žlab s nerezovým mriežkovým chráničom	99
4.22	Polymérbetónový žlab s mostíkovým roštom z liatiny	100
4.23	Výrez v podlahe	100
4.24	Nedostatočná bezpečnostná vzdialenosť	101
5.1	Finančné náklady spojé s nákupom AGV	103
5.2	Mzdové úspory	104
5.3	Grafické zobrazenie doby návratu investície	105

Zoznam tabuliek

3.1	Základné údaje o spoločnosti Hilti	56
3.2	Výrobné postupy v továrni P1	58
3.3	Kontajnerové okruhy v P1ES	62
3.4	Parametre transportného kontajnera	65
3.5	Environmentálne podmienky	66
3.6	Prehľad výrobnéj a transportnej prevádzkovej doby	66
4.1	Technické údaje zvoleného modelu AGV	71
4.2	Elektrické požiadavky pre nabíjaciu stanicu akumulátorov AGV	74

Úvod

Súčasný trendy v oblasti priemyselnej automatizácie ukazujú, že ak chcú výrobné podniky fungovať efektívne a zachovať si konkurenčný potenciál, musia byť v rámci svojej produkcie maximálne flexibilné a schopné reflektovať aktuálne požiadavky svojich zákazníkov. Priemysel 4.0 už dávno nie je pojem, ktorý vyvoláva otázky. V uplynulých rokoch sa množstvo podnikov a odborníkov zameriavalo hlavne na definíciu a objasňovanie realistických očakávaní, čo má nová priemyselná zmena vlastne priniesť a ako ovplyvní nielen priemyselný sektor, ale aj s tým výrazne spojený trh práce. Po rokoch hľadania správnych odpovedí a ucelených koncepcií sa konečne priemysel posunul od diskusie k samotnej aplikácii a pretavenia tohto konceptu do praxe.

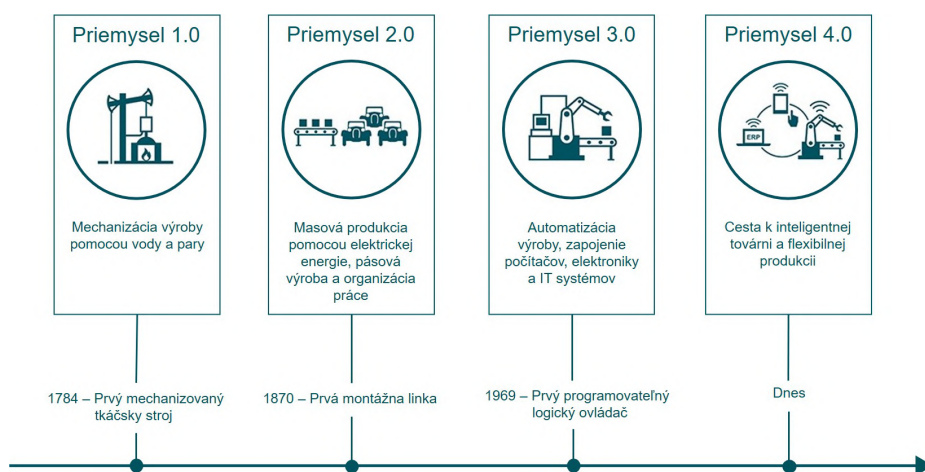
V dôsledku rastúceho tlaku na mzdové náklady spôsobeného globalizáciou sú spoločnosti dnes pod neustálym tlakom na racionalizáciu a automatizáciu. To sa týka najmä spoločností ako je Hilti, ktorá vyrába svoje produkty v krajinách s vysokými mzdami ako Lichtenštajnsko, Nemecko a Rakúsko. Samotné výrobné procesy v Hilti sú vysoko automatizované, zatiaľ čo vedľajšie činnosti, ako je preprava materiálov a polotovarov medzi výrobnými procesmi a skladmi, sú výlučne manuálne. Okrem vysokého zaťaženia mzdovými nákladmi to tiež vytvára silnú závislosť od pracovnej sily, čo môže spôsobiť prekážky v dodávkach, ako to ukázala napr. situácia spojená s globálnou pandémiou vírusu Covid-19.

Cieľom tejto práce je zistiť, akým spôsobom je možné medzioperačnú dopravu konkrétnej výrobnéj linky spoločnosti Hilti automatizovať v priebehu nasledujúcich rokov pomocou automaticky navádzaných vozidiel AGV. Na dosiahnutie tohto cieľa sa bude analyzovať súčasný stav infraštruktúry a materiálových tokov obstarávaných manuálnou činnosťou operátorov výroby, ktorú môže systém AGV prevziať. Následne bude predstavený návrh automatizovaného zásobovania výrobnéj linky, pomocou ktorého je možné AGV implementovať do produkčného prostredia po hardvérovej aj softvérovej stránke.

Výsledkom diplomovej práce bude výpočet potrebného množstva vozidiel AGV pre efektívnu a plne autonómnu obsluhu prepravných objednávok v súlade s konceptom Priemyslu 4.0 spolu s jasne definovanými transportnými pravidlami, ktorými sa vozidlá musia počas prepravy riadiť. Na základe navrhnutého riešenia bude po komunikácii s vybraným dodávateľom systému AGV vypracovaný cenový návrh a výpočet doby návratu investície, ktorý bude predstavený manažmentu spoločnosti Hilti k rozhodnutiu o uvoľnení finančných prostriedkov na realizácii pilotného projektu na vybranej výrobnéj linke.

1 Priemysel 4.0

Pred samotnou definíciou tohto pojmu je potrebné najprv interpretovať jeho názov. Anglické, a v praxi najpoužívanejšie znenie je *Industry 4.0*, do slovenského jazyka sa prekladá priamo ako Priemysel 4.0 a do českého jazyka ako Průmysl 4.0. Pôvodný názov však vychádza z nemeckého *Industrie 4.0*, prvýkrát bol totiž tento pojem predstavený v rámci vízie pozdvihnutia nemeckého výrobného sektoru a zmenou štruktúry pracovného trhu na priemyselnom veľtrhu Hannover Fair v roku 2011. Táto, v tej dobe stále iba myšlienka, získala okamžité podporu zo strany priemyslu, ale hlavne nemeckej vlády. V roku 2014 bol na rovnakom veľtrhu predstavený ucelený koncept zahŕňajúci v podstate všetky dostupné najmodernejšie technológie integrované do jedného celku s jasným cieľom - plne automatizovať, digitalizovať a virtualizovať priemyselnú výrobu a tým priniesť **štvrtú priemyselnú revolúciu**.



Obr. 1.1: Prehľad priemyselných revolúcií a prelomových objavov

Priemysel 4.0 teda predstavuje označenie štvrtej éry v kontexte zásadných a prelomových technológií, ktoré zmenili nie len smer ďalšieho technologického rozvoja, ale aj celej spoločnosti. Každá priemyselná revolúcia vyvolala novú sociálnu a hospodársku situáciu spolu so zmenou pracovného trhu. Historicky už prebehli 3 prevratné zmeny organizácie práce spojené so zavedením novej technológie priemyselnej výroby (obr. 1.1). Prvá priemyselná revolúcia odštartovala mechanizácia práce pomocou pohonu vodou a parou, druhú reprezentovalo využitie elektrickej energie pre pásovú výrobu a tretiu masová automatizácia výroby použitím PLC spolu s IT systémami. V prípade štvrtej priemyselnej revolúcie sa stále vedú diskusie o koncepte a podobe novej éry priemyslu a preto nie je presne definovaná prelomová technológia, ktorá definitívne znamená presun do novej epochy priemyslu. Všeobecne sa

hovorí o vzájomnom prepojení technologických riešení a systémov, ktoré budú bližšie predstavené v ďalšej časti tejto kapitoly.

Diskusia na tému ďalšej priemyselnej revolúcie naprieč krajinami a vládami nakoniec vyústila do stretnutia Svetového ekonomického fóra vo švajčiarskom Davose v roku 2016 s cieľom – „Zvládnutie štvrtej priemyselnej revolúcie“.[1] Iniciatívu štvrtej priemyselnej revolúcie zobrali za svoje aj ostatné krajiny, ktoré si rýchlo uvedomili potrebu prispôsobenia sa technologickému pokroku v priemyselnej sfére, ktorý je priamo spojený s hospodárskym rastom, zamestnanosťou a investičnou atraktivitou v konkurenčnom boji naprieč krajinami.

Priemysel 4.0 je predovšetkým koncept ako využiť všetky moderné technológie, ktoré sú k dispozícii k tomu, aby v priemysle vznikli integrované riešenia. V súčasnosti sa za takéto riešenie považuje továreň, ktorá je schopná nie len vyrábať produkty bez nevyhnutného zásahu ľudského faktora, ale dokáže sama optimalizovať svoju prevádzku a učiť sa z vlastnej skúsenosti. V rámci najnovších trendov sa tento koncept neopiera už iba o digitalizáciu, ale predovšetkým o virtuálizáciu fyzických objektov vo výrobnom prostredí– virtuálni reprezentanti výrobných strojov komunikujú medzi sebou a každý výrobok (dokonca aj ten nedokončený) má takisto svojho virtuálneho dvojníka. Ten sa zapája do komunikácie medzi virtuálnymi dvojníkmi strojov, čo predstavuje veľmi zaujímavý a efektívny nástroj pre optimalizáciu výroby.

Celý koncept sa v praktickej podobe preniesol do modelu tzv. **inteligentnej továrne**, ktorá integruje a zastrešuje všetky dostupné technológie, systémy a procesy na platforme Priemyslu 4.0.

1.1 Inteligentná továreň

Inteligentná továreň¹ je označenie výrobného priemyselného podniku, ktorý je z technologického hľadiska plne automatizovaný a využíva technológie, systémy a procesy korešpondujúce s víziou Priemyslu 4.0 (obr. 1.2). Tak ako sa zvyšujú nároky zákazníkov na produkty, ktoré nakupujú, rovnako sa zvyšujú nároky na technológiu výroby, organizáciu práce a procesov počas produkcie. Dnešný trend sa ubera cestou masovej individualizácie² a to prináša obrovskú výzvu v podobe flexibility výroby.

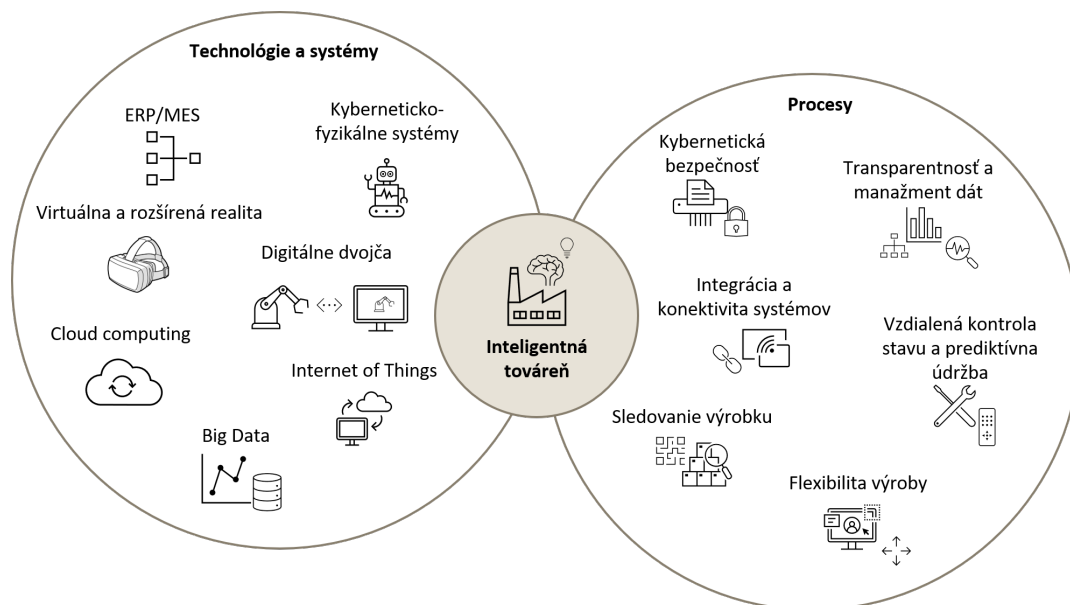
Inteligentná továreň predstavuje výrobné riešenie poskytujúce také flexibilné a adaptívne výrobné procesy, ktoré sú schopné riešiť problémy vznikajúce vo výrobnom zariadení s dynamickými a rýchlo sa meniacimi podmienkami s čoraz väčšou

¹Často sa v praxi a odbornej literatúre používa aj pojem v anglickom jazyku *Smart Factory*

²Príkladom typického priemyselného odvetvia s požiadavkou zákazníkov na vlastnú individualizáciu produktu je automobilový sektor.

zložitostou. Správne nastavené výrobné procesy, logistika, efektívny tok a dostupnosť materiálov vo výrobe sú základné podmienky pre individualizáciu finálneho produktu. Charakteristické črty inteligentnej továrne sú reprezentované týmito procesmi a nastaveniami:

- vzájomné prepojenie technológií, zariadení a systémov,
- maximálne optimalizované výrobné procesy,
- transparentné postupy a prehľad o výrobkoch počas celého výrobného cyklu,
- virtuálizácia výroby,
- vzdialená a prediktívna diagnostika,
- flexibilná a agilná výroba podľa požiadaviek zákazníka.



Obr. 1.2: Technológie, systémy a procesy tvoriace koncept inteligentnej továrne

Transformácia výrobného podniku v súlade s konceptom Priemyslu 4.0 umožňuje vzájomné prepojenie viacerých jeho inteligentných tovární, bez ohľadu na ich geografickú polohu v reálnom čase. To prináša možnosť globálnej komunikácie jednotlivých výrobných strojov a zariadení, čo vedie k efektívnej výrobe a agilnejšej reakcii podniku na aktuálne potreby konkrétneho trhu. Medzi ďalšie hlavné benefity prechodu na inteligentnú továreň patria:

- individualizácia produktov na mieru,
- vyššia produktivita a kvalita produktov,
- diaľková diagnostika,
- menej odstávok a prestojov vo výrobe,
- globálna komunikácia medzi inteligentnými továrňami podniku v reálnom čase,
- nižšie výrobné náklady.

Pri diskusiách na tému inteligentných tovární sa často vedú polemiky o tom, či v nej má človek ešte svoje miesto. V tomto prípade je potrebné uviesť, že človek je kľúčovým článkom v nastavovaní procesov a stratégií, ktoré technológie iba nasledujú. Inteligentné továrne umožňujú kooperáciu všetkých strojov, zariadení a systémov potrebných pre príslušný výrobný proces. Výsledkom je potom autonómne plnenie vopred definovaných úloh. Celý systém objektov v inteligentnej továrni sa organizuje, ako aj cielene konfiguruje, a je monitorovaný vyššou entitou – hlavným softvérovým modelom, človekom alebo ich kombináciou a riadi sa pokynmi sofistikovaného počítačového programu.[2]

1.1.1 Požiadavky na inteligentnú továreň

Pri návrhu inteligentnej továrne je potrebné najprv definovať a identifikovať požiadavky, ktoré by malo takéto výrobné prostredie s využitím existujúcich technológií a v súlade s konceptom Priemyslu 4.0 spĺňať:

Modularita – schopnosť jednotlivých komponentov systému ľahkého a rýchleho oddelenia alebo zlúčenia. Rôzne komponenty systému sú voľne spojené a dajú sa prekonfigurovať na princípe *plug-and-play*³ (napríklad môžu byť do výrobnéj linky včas pridané, preskupené alebo premiestnené). Inteligentná továreň by mala mať vysokú modularitu umožňujúcu rýchlu integráciu modulov, ktoré môžu byť dodávané viacerými dodávateľmi. Modularita umožňuje schopnosť v reálnom čase umožniť systému reagovať na meniace sa požiadavky zákazníkov a prekonávať vnútorné poruchy systému.

Interoperabilita – Tento pojem predstavuje schopnosť zdieľať technické informácie v rámci systémov a ich komponentov. Vďaka umožneniu vzájomného prístupu k dátam môžu jednotlivé systémy, zariadenia a väčšie celky ako inteligentné továrne navzájom spolupracovať a komunikovať. Interoperabilitu je možné dosiahnuť vďaka kyberneticko-fyzikálnym systémom, technológiám Internet of Things, cloud computing a moderným riadiacím prvkom či PLC.

Decentralizácia – Niektoré prvky systému rozhodujú o svojej činnosti samé bez potreby podriadenia riadiacej jednotke. Rozhodnutie sa prijíma autonómne v reálnom čase bez ovplyvnenia organizačného cieľa a výrobného plánu. Kyberneticko-fyzikálne systémy interagujú s prostredím pomocou vstavaných senzorov a samé vyhodnocujú aktuálnu situáciu.

Virtuálizácia – Digitalizáciou továrenského prostredia s kyberneticko-fyzikálnymi

³Technológia umožňujúca rýchle rozpoznávanie a konfiguráciu hardvéru. Umožňuje operačným systémom správne identifikovať, aký hardvér bol pripojený, a na základe toho automaticky k tomuto hardvéru nainštalovať či spustiť príslušné ovládače a nastaviť príslušné parametre.

systemami a výrobnými strojmi dochádza jednak k možnosti monitorovania a simulácie fyzikálnych procesov v týchto systémoch a zariadeniach, ale aj transparentnosti prenášaných informácií pomocou agregácie dát zo senzorov. Virtuálny systém sa používa na monitorovanie a kontrolu fyzickej kópie v reálnom čase. Virtuálizácia umožňuje implementáciu návrhov a vytvára digitálne prototypy, ktoré sú veľmi podobné skutočným. Dizajn je možné skontrolovať, upraviť a otestovať pred implementáciou do fyzického systému. Virtuálny systém je navyše užitočný pri ďalších aspektoch, ako je školenie pracovníkov, diagnostike a predpovedaní porúch, usmerňovaní pracovnej sily pri vykonávaní manuálnych procesov a údržby pri odstraňovaní porúch.

Orientácia na služby – Výrobné odvetvia sa stávajú poskytovateľmi nielen fyzických výrobkov, ale aj služieb. Inteligentné továrne okrem výrobných činností svojich produktov poskytujú *outsourcing*⁴ niektorých svojich výrobných procesov na základe aktuálne voľnej kapacity – predaj služby inému podniku, ktorý hľadá napríklad dodatočné výrobné kapacity mimo svoje továrne.

Responzivita – Predstavuje schopnosť systému včas reagovať na nové situácie, ako sú zmeny v požiadavkách zákazníka alebo stav interného výrobného systému (napr. poruchy a zlyhania zdrojov). S cieľom reagovať na požiadavky zákazníkov by sa malo pristupovať k informáciám a analyzovať ich v reálnom čase tak, aby bola reakcia prakticky okamžitá. Zároveň musí systém dosahovať dostatočný stupeň modularity na vykonanie prípadnej okamžitej rekonfigurácie. Súčasťou responzívneho správania inteligentnej továrne je aj pohotová reakcia na poruchy a rýchleho zotavenia systému.

[3]

Nasledujúce podkapitoly popisujú technológie, systémy a procesy, ktoré tvoria kos-tru inteligentnej továrne.

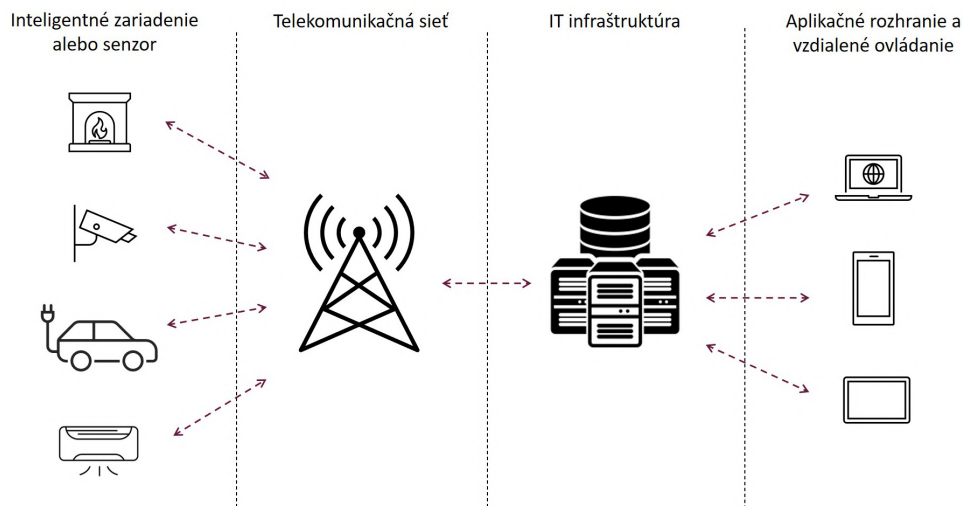
1.2 Internet of Things

Internet of Things (v doslovnom preklade internet vecí) predstavuje technológiu prepojenia fyzických objektov komunikujúcich medzi sebou a poskytujúcich informácie o parametroch a činnostiach, ktoré merajú, sledujú alebo ovládajú v prostredí, v ktorom fungujú. Takéto zariadenia sa zvyknú označovať ako inteligentné⁵. Pre Internet of Things sa v technologickej praxi ustálil akronym **IoT**. Táto technológia

⁴Anglický výraz označujúci využívanie externých zdrojov.

⁵Príkladom v priemyselnom sektore môže byť inteligentná výrobná linka, ktorá dokáže sama včas upozorniť na nedostatok materiálu pre výrobu konkrétneho komponentu, autonómne komunikovať so skladoom a koordinovať transport potrebných dodávok tak, aby nenastal prestoj v produkcii.

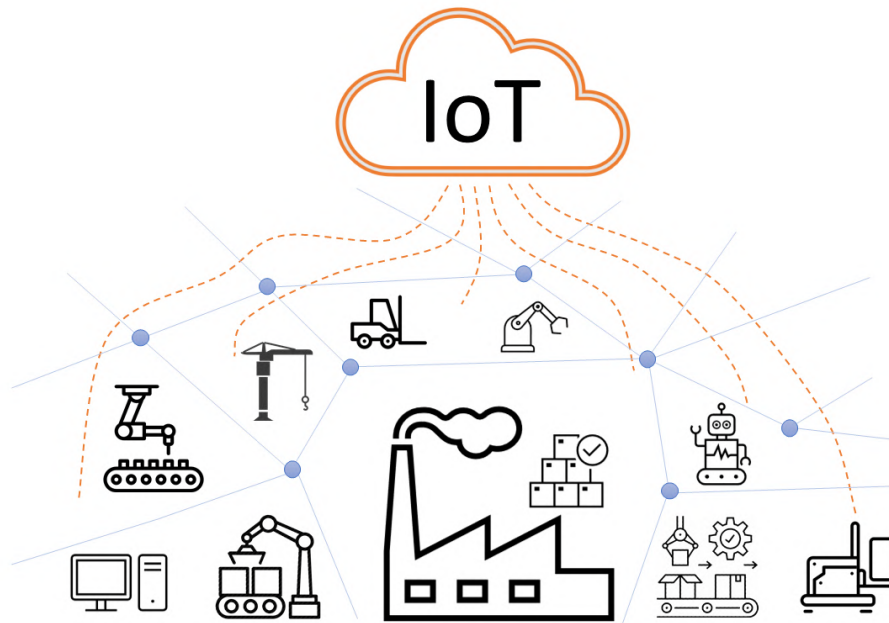
vychádza paradoxne z princípu ľudskej interakcie – ľudia sa postupne vďaka internetu a technologickému pokroku evolučne do veľkej miery presunuli z osobnej komunikácie na komunikáciu prostredníctvom internetu, kde môžu nepretržite komunikovať bez obmedzenia vzdialenosti. Z podobnej myšlienky vychádzal aj Kevin Ashton v roku 1999, ktorý ako prvý definoval pojem Internet of Things s dodatkom, že všetky dáta na internete vytvárajú ľudia. Princíp medziludskej interakcie v internetovom priestore sa aplikuje aj pri internete vecí – zariadenia, ktoré sú pripojené do IoT a komunikujúce cez internet a existujúcu IT infraštruktúru, tak možno ovládať a spravovať cez aplikácie vo svojich inteligentných telefónoch, tabletoch či počítačoch (obr.1.3). Hlavným prínosom internetu vecí však nie je iba komunikácia ako taká, ale jej pokročilé využitie pre autonómne ovládanie a použitie zariadení bez nevyhnutného zásahu človeka. Vo výrobnjej sfére to prináša časové úspory zamestnancom obsluhujúcich výrobné stroje, optimalizáciu procesu výroby a znížené prestoje v produkcii, a tým celkovú efektivitu výroby.



Obr. 1.3: Štruktúra komunikačnej siete Internet of Things

V súčasnosti sa odhaduje počet pripojených zariadení k internetu na 20 až 50 miliárd.[4] Nie všetky zariadenia a senzory však môžu byť nepretržite napájané z elektrickej siete. Objekty nachádzajúce sa mimo pokrytia elektrickou energiou vyžadujú napájanie z batériového systému počas celej svojej životnosti. To samozrejme kladie vysoké nároky na energetickú náročnosť a preto sa používajú nízkoenergetické siete, tzv. LPWAN, ktoré môžu pracovať v licencovanom i nelicencovanom spektre. Ďalšou významnou technológiou ovplyvňujúcou nasadenie IoT, je príchod piatej generácie mobilných sietí, označovanej ako 5G. Tá umožní významne zvýšiť prepojenie zariadení komunikujúcich v rámci IoT vďaka vyššej prenosovej rýchlosti dát a

väčšiemu počtu komunikačných uzlov v sieti. Klúčovou je aj omnoho väčšia bezpečnosť pri prenose dát. V blízkej budúcnosti bude teda IoT charakterizovať masové pripojenie zariadení, čo bude mať za následok potrebu vývoja a nasadenia nových komunikačných protokolov a príchod stále viac sofistikovanejších technologických zariadení.



Obr. 1.4: IoT v rámci inteligentnej továrne

V súčasnosti do IoT možno zapojiť širokú škálu zariadení a senzorov, ktoré spolu môžu vytvárať väčšie logické, navzájom kooperujúce celky ako napr. inteligentné domácnosti, inteligentné mestá alebo inteligentné továrne v priemysle (obr. 1.4). V Priemysle 4.0 sa zvykne aplikácia technológie IoT označovať aj IIoT (*Industrial Internet of Things*, v preklade priemyselný internet vecí). Odkazuje na priemyselné aplikácie vrátane vzájomne prepojených systémov, zariadení a senzorov pripojených do IT infraštruktúry spolu s počítačmi priemyselných aplikácií. Táto konektivita umožňuje zber, výmenu a analýzu dát, čo prináša zlepšovanie produktivity a efektivity výroby, ako aj ďalšie ekonomické výhody. Implementácia technológie IoT v inteligentnej továrni poskytuje vďaka nepretržitému sledovaniu stavu zariadení nasledovné prínosy:

- výrazné zníženie nákladov vďaka možnosti diaľkového riešenia problémov s odborníkmi,
- zabezpečené riadenie prístupov a kratšia reakčná doba vďaka znalosti situácie v reálnom čase,

- úspora nákladov na údržbu a predĺženie životnosti zariadenia vďaka prediktívnej údržbe,
- nižšie prevádzkové náklady a kratšia doba uvedenia do prevádzky vďaka automatizovanému zberu a analýze dát,
- optimalizované výrobné procesy na základe analýzy získaných dát,
- zníženie odstávok výroby a zvýšenie produktivity vďaka nadstavbovým nástrojom manažmentu, organizácie a plánovania výroby,
- zvýšenie kvality a presnosti výroby pomocou nepretržitého sledovania stavu výrobných zariadení.

IT infraštruktúra IoT (resp. *cloud*) je zodpovedná za ukladanie údajov, ich priame smerovanie a udržiavanie bezpečnosti v dátových blokoch, ktoré prijíma zo zariadení. Takáto topológia komunikačnej siete umožňuje obrovské množstvo neustále prijímaných informácií pochádzajúcich z rôznych zdrojov v reálnom čase. To kladie nároky na schopnosť spracovania dát. Akonáhle sú dáta uložené v cloude, môžu byť spracované a analyzované pomocou algoritmov určených pre konkrétne vyhľadávacie úlohy, vďaka čomu sú výsledné dáta viditeľné a zrozumiteľné. Túto problematiku zastrešujú tzv. *Big Data*.

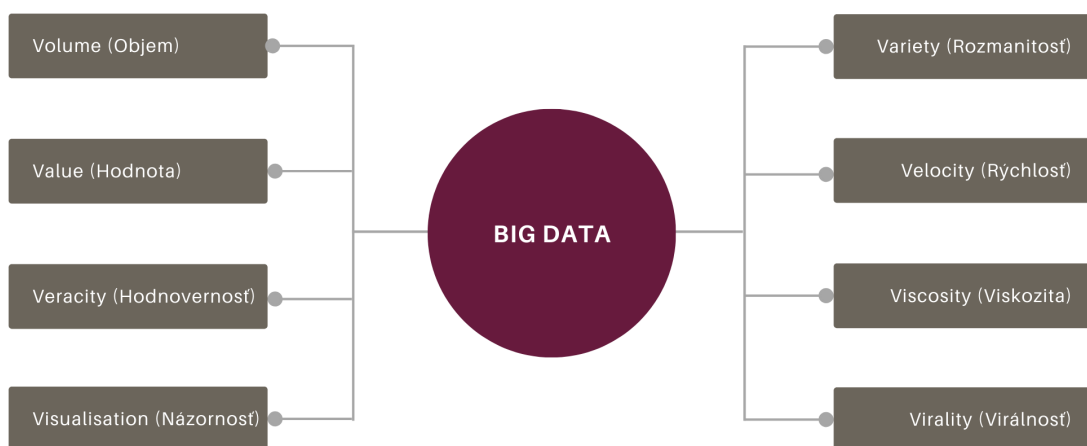
1.3 Big Data

Na rozdiel od tradičných dát sa pojem **Big Data** (doslovným prekladom veľké dáta) vzťahuje na rastúce súbory dát, ktoré zahŕňajú heterogénne formáty – štruktúrované, neštruktúrované a pološtruktúrované údaje. Big Data majú zložitú povahu, ktorá si vyžaduje pre ich správu výkonné technológie a pokročilé algoritmy. V tomto prípade už tradičné statické nástroje Business Intelligence⁶ nie sú v prípade veľkých dát dostatočne efektívne.[5]

Big Data sú významnou technológiou využívanou v koncepte Priemyslu 4.0, hlavne v prípade nasadenia už spomínaného Internet of Things a vzájomnej komunikácie medzi strojmi a kyberneticko-fyzikálnymi systémami. Práve IoT poskytuje nevyhnutne obrovské množstvo dát prúdiacich medzi senzormi, zariadeniami a ovládacími aplikačnými prvkami, ktoré je potrebné obslúžiť a spracovať v reálnom čase.

Veľké dáta najlepšie charakterizuje tzv. graf 8V (obr. 1.5). Jedná sa o mnemotechnickú pomôcku, ktorá vychádza zo začiatkových písmen ôsmich anglických slov, pričom každé slovo vyjadruje charakteristickú črtu veľkých dát.

⁶Označenie pre informačné technológie, aplikácie a metódy na zber, normalizáciu, analýzu, prezentáciu a interpretáciu obchodných dát.



Obr. 1.5: Graf 8V

Volume (objem) – veľké dáta znamenajú veľký objem dát. V súčasnosti sa prakticky jedná o veľkosť rádovo stoviek terabajtov až petabajty⁷.

Value (hodnota) – kľúčovou vlastnosťou získaných dát je ich obchodná hodnota. Spoločnosti, ktoré dané údaje využívajú vo svoj prospech z nich musia vyťažiť čo možno najväčší obchodný potenciál pre predaj a ďalší rozvoj svojich produktov a služieb.

Veracity (hodnovernosť) – Vychádzajúc z masívneho objemu spracovaných dát sa logicky naskytuje otázka, či sú všetky z nich prínosné a cenné. Z tohto pohľadu je potrebné získané údaje analyzovať, a až následne ukladať a ďalej spracovávať.

Visualisation (názornosť) – veľké dáta sú v podstate bezcenné, ak ich nie je možné správne interpretovať. Práve analýza, následné spracovanie a reprezentácia dát je dôležitým aspektom pri ich využití. Veľké dáta sa preto musia vizualizovať pomocou vhodných nástrojov, aby pomohli analytikom získané dáta lepšie pochopiť.

Variety (rozmanitosť) – prijaté dáta pochádzajú z rôznych zariadení a preto je potrebné kategorizovať prijaté údaje v závislosti, z akého zdroja prichádzajú.

Velocity (rýchlosť) – veľké dáta sa spracovávajú v reálnom čase obrovskou rýchlosťou. Zároveň sa jedná o základnú podmienku, všetci užívatelia musia byť obslužení v čo najkratšom možnom čase. Spoločnosti, ktoré operujú s veľkými dátami preto rozdeľujú údaje medzi viacero počítačov⁸. Každý z nich spracuje iba určité množstvo z nich, a následne sa tieto dáta zoskupia do dátových skladov tak, aby bolo masívne paralelné spracovávanie údajov maximálne rýchle a efektívne.

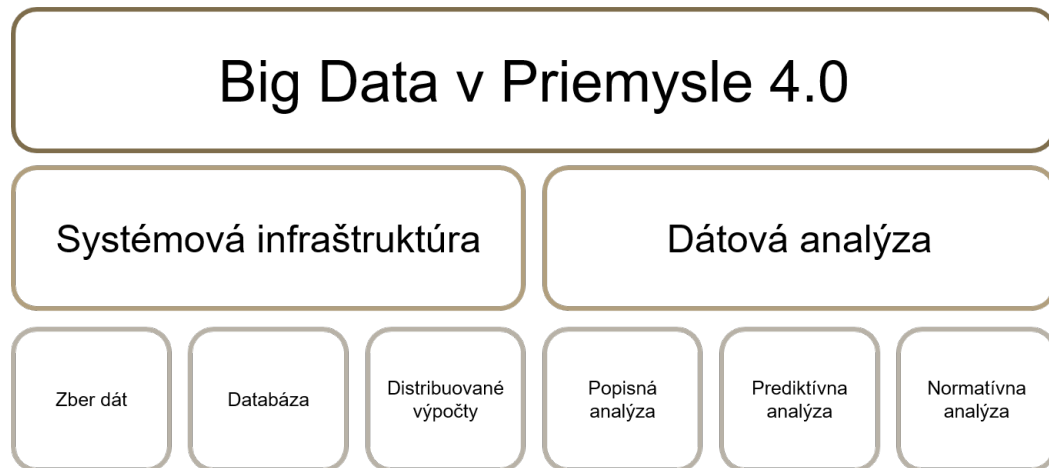
Viscosity (viskozita) – reprezentuje náročnosť (doslova odpor) využitia a integrácie získaných dát. Pospájanie zozbieraných údajov pochádzajúcich z množstva

⁷1 terabajt = 1 000 gigabajtov, 1 petabajt = 1 000 terabajtov.

⁸Tisíce až desaťtisíce spracovateľských počítačov.

rôznych zdrojov je často veľmi náročné a predstavuje zložitosť správneho výkladu získaných dát.

Virality (virálnosť) – popisuje rýchlosť šírenia informácie na internete. Čas rozptylu dát je jedinečným faktorom, ktorý pomáha analyzovať relevanciu a váhu získaných dát.



Obr. 1.6: Štruktúra veľkých dát kyberneticko-fyzikálnych systémov v Priemysle 4.0

Všeobecne existujú dva hlavné funkčné komponenty v štruktúre Big Data, ktoré sa uplatňujú v koncepte štvrtej priemyselnej revolúcie – systémová infraštruktúra a analýza dát, ktoré sa zaoberajú veľkými dátami kyberneticko-fyzikálnych systémov v Priemysle 4.0 (obr. 1.6). Systémové infraštruktúry dohliadajú na pripojenie, aby zabezpečili komunikáciu v reálnom čase medzi strojmi a počítačovými zariadeniami, zatiaľ čo analýza dát sa zameriava na zlepšenie personalizácie produktu a efektívnosti zdrojov v inteligentnej továrni. Okrem toho riešia tieto dva komponenty aj niekoľko dôležitých problematík kyberneticko-fyzikálnych systémov v Priemysle 4.0 ako sú adaptívne zabezpečenie, zabezpečenie a odolnosť, ktoré súvisia so systémovou infraštruktúrou aj s analýzou dát.[6]

1.4 Kyberneticko-fyzikálne systémy

Jednou z kľúčových výziev v Priemysle 4.0 je integrácia priemyselných systémov, technológií a strojov, a zabezpečenie ich vzájomnej spolupráce a interoperability v lokálnom, či dokonca globálnom meradle (vzájomná komunikácia viacerých inteligentných tovární v rámci výrobného podniku na celom svete). V tomto zmysle došlo v snahe o štvrtú priemyselnú revolúciu k definícii tzv. **kyberneticko-fyzikálnych**

systemov⁹, ktoré sa formulujú ako systémy komunikujúcich a spolupracujúcich prvkov v IT infraštruktúre. Tie sú navrhnuté na riadenie fyzických (mechanických a elektronických) objektov. Spojenie slov „kybernetický“ a „fyzikálny“ predstavuje spojenie dvoch systémov – kybernetika (z gréckeho *kybernetes*, v preklade kormidelník) sleduje riadiace a regulačné procesy a jednotlivé kybernetické zariadenia slúžia pre výpočet, komunikáciu a kontrolu informácii; výraz fyzikálny (z gréckeho *fysis*, v preklade príroda) označuje prírodné a človekom vyrobené systémy riadené fyzikálnymi zákonmi a prevádzkované v nepretržitom čase.[7]

Kyberneticko-fyzikálne systémy sa všeobecne skladajú z dvoch hlavných funkčných komponentov:

1. pokročilá konektivita, ktorá zaisťuje získavanie údajov v reálnom čase z fyzického sveta a spätnú väzbu informácií z kybernetického priestoru,
2. inteligentná správa údajov, výpočtová a analytická schopnosť, ktorá vytvára kybernetický priestor.

Technológie, ktoré sú úzko spojené s kyberneticko-fyzikálnymi systémami sú IoT, bezdrôtové senzorové siete¹⁰ a cloud computing (podkapitola 1.7). Na detekciu fyzických zmien v prostredí sa využívajú senzory a na odovzdávanie informácií do prostredia aktuátory. Typickým príkladom CPS systému vo výrobnom prostredí sú automatizovane navádzané vozidlá, tzv. AGV (akronym z anglického *automated guided vehicle*). Tie zabezpečujú intralogistiku v továrni – proces dodávky materiálu výrobnému stroju a následný transport hotového výrobku k výstupnej zóne z továrne. AGV sú robotické zariadenia schopné podľa aktuálnej potreby továrne zabezpečiť náklad a výklad tovaru či produktu, a pohybovať sa autonómne v priestore. Sledovaním stavu skladu, výrobného plánu a aktuálnej potreby produkcie podniku pomocou softvérového systémového rozhrania dochádza ku komplexnému, autonómnemu a plne automatizovanému manažmentu transportu.

Implementácia kyberneticko-fyzikálnych systémov v inteligentných továrňach ponúka niekoľko výhod. V kontexte výroby a automatizácie sa zúčastňujú rôznych výrobných procesov vrátane simulácie, návrhu, riadenia a overovania. Vo výrobe môžu zvýšiť kvalitu a produktivitu prostredníctvom inteligentnej predikcie a diagnostiky pomocou veľkých dát z rôznych strojov, sieťových senzorov a systémov. Dáta, ktoré sú generované počas výrobných procesov zariadeniami v inteligentnej továrni môžu byť využité pri plánovaní, modelovaní a predikcii výroby. Tieto zariadenia umožňujú pokroky v kognitívnych riadiacich systémoch a komunikácii medzi strojmi.

Priemysel 4.0 začleňuje do komunikácie nielen zariadenia a stroje, aj samotné

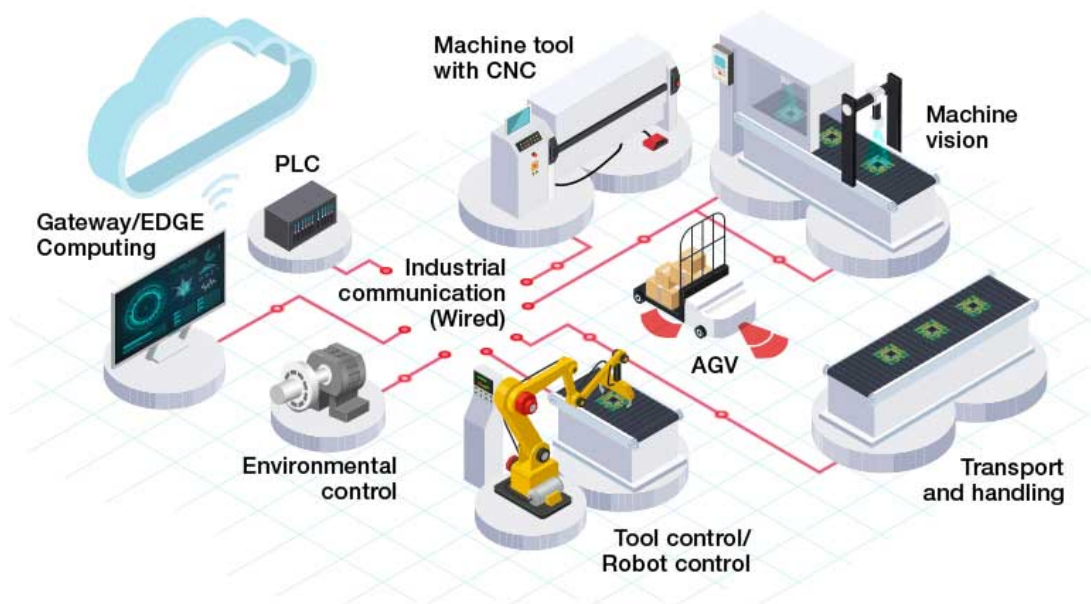
⁹V odborných článkoch sa zvykne často používať akronym CPS z anglického *cyber-physical systems*.

¹⁰Pozostávajú z množstva zariadení rozmiestnených v sledovanej oblasti za účelom vykonávania spoločnej úlohy.

výrobky, softvérové aplikácie a ľudské zdroje. Okrem dát o parametroch a stave technických zariadení v inteligentnej továrni sa musia zisťovať a komunikovať aj výrobné možnosti a stav produktov. Takéto logické chápanie výroby sa nazýva **Asset Administration Shell**. Už z prekladu tohto anglického slovného spojenia (administratívna schránka majetku) sa jedná o pomyselnú vrstvu, ktorou je prvok obalený. Tá môže popisovať nasledovné – komunikáciu prvku, jeho fyzické vlastnosti, 3D náčrt, fyzikálnu simuláciu, súvisiaci softvér alebo živé procesné dáta. To, čo obálka obsahuje záleží na danej konkrétnej aplikácii. Spoločne, fyzický objekt a obálka, tvoria v Priemysle 4.0 celý kyberneticko-fyzikálny systém.

1.4.1 Machine-to-Machine komunikácia

Komunikácia **Machine-to-Machine**¹¹ alebo skrátene **M2M** je názov pre interakciu medzi zariadeniami vo výrobnom procese alebo konkrétne pre technológiu výmeny informácií, ktorá umožňuje činnosť jedného zariadenia prostredníctvom príkazu iného zariadenia.[8] Výmena informácií medzi dvoma a viacerými zariadeniami v inteligentnej továrni je jedným zo základných pilierov štvrtej priemyselnej revolúcie. Vďaka integrácii Machine-to-Machine dokážu stroje vykonávať svoje činnosti autonómne a zároveň inštruovať iné stroje, čo značne zefektívňuje a urýchľuje výrobu.



Obr. 1.7: Machine-to-Machine komunikácia v inteligentnej továrni[9]

¹¹ *Machine* je anglické pomenovanie slova stroj, doslovne je toto slovné spojenie možno preložiť ako komunikácia stroja k stroju.

Jednotlivé kyberneticko-fyzikálne systémy, výrobné stroje či linky sa v prostredí inteligentnej továrne dokážu navzájom identifikovať a nadviazať spoločnú komunikáciu. Pre rýchlu a jedinečnú identifikáciu strojov sa v priemysle využívajú hlavne RFID značky a QR kódy. Komunikáciu medzi strojmi je potom možné realizovať prostredníctvom sieťovej infraštruktúry IoT. Stroj, ktorý prijal informácie od iného stroja, dokáže porozumieť požiadavke, vyhodnotiť ju, a na jej základe vykonať operáciu autonómne, bez nevyhnutného pokynu od ovládacieho prvku (obr. 1.7).

Najväčším problémom pri zabezpečení komunikácie medzi strojmi je vzájomná interoperabilita a s ňou súvisiaci spoločný komunikačný „jazyk“. Schopnosť prijímať a odosielať dáta medzi strojmi predstavuje len základnú požiadavku v M2M komunikácii, stroje musia byť schopné správu prečítať a na jej základe vykonať príslušnú operáciu. Pre dosiahnutie schopnosti vzájomného porozumenia medzi strojmi sa využívajú priemyselné Ethernetové protokoly a jazyk UML, ktorý ponúka súbor diagramov znázorňujúcich požiadavky ako sa má zariadenie alebo systém správať v konkrétnych situáciách.

1.4.2 Umelá inteligencia

Obsluha výrobných postupov, procesov a úloh kyberneticko-fyzikálnymi systémami v inteligentných továrňach poskytuje priestor pre nasadenie tzv. **umelej inteligencie**.¹² Roboty a robotické zariadenia sú s využitím umelej inteligencie schopné rozpoznať náhle zmeny, porozumieť novým situáciám a podmienkam, vyhodnotiť ich a prispôbiť sa im. Umelá inteligencia dokáže s využitím senzorov, detektorov a kamier rozpoznať tvary a vzory a automaticky spracovať získané informácie. Práve procesná náročnosť pri práci s veľkými dátami predurčuje umelú inteligenciu k aplikácii v Priemysle 4.0. Jej využitie je kľúčové hlavne pre dosiahnutie automatického a autonómneho ovládania a riadenia kyberneticko-fyzikálnych systémov podľa aktuálnej potreby inteligentnej továrne.

Snaha o čoraz intenzívnejšiu implementáciu umelej inteligencie nielen vo výrobných podnikoch vyvoláva v spoločnosti však aj rozporuplné, etické otázky. Superpočítače, teda pomyselné mozgy kyberneticko-fyzikálnych systémov využívajúcich umelú inteligenciu, budú už v blízkej budúcnosti dosahovať parametre (rýchlosť a kapacita) ľudských mozgov. Je len otázkou času, kedy ich svojou rýchlo rozvíjajúcou sa výpočtovou kapacitou predbehnú. Obavy sú spojené hlavne s kybernetickou bezpečnosťou a eventuálnou schopnosťou robotov prekročiť hranice svojich úloh, pre ktoré boli určené. Koncept inteligentnej továrne však nevyklučuje z výrobného procesu ľudský faktor, práve naopak. Umelá inteligencia by mala zastúpiť človeka všade tam, kde dochádza k nečakaným situáciám, aby mohlo dôjsť k dynamickým zmenám

¹²V praxi a v odbornej literatúre sa často používa skratka AI z anglického *artificial intelligence*.

postupov a priorít na základe aktuálnych udalostí vo výrobe.¹³ Ľudia predstavujú nevyhnutný článok pre správne nastavenie výrobných stratégií, kontrolu procesov a plánovania na najvyššej úrovni. Úloha ľudí sa teda presunie z prevažne manuálnej činnosti na činnosť prevažne riadiacu a strategickú, pričom sa eliminujú výrobné faktory ako riziko zranení, únavy alebo chýb pri fyzickej práci ľudí. Takéto nastavenie podniku umožňuje efektívnejšiu správu celého výrobného cyklu a manažérskeho riadenia obchodných aktivít.

1.5 Digitálne dvojča

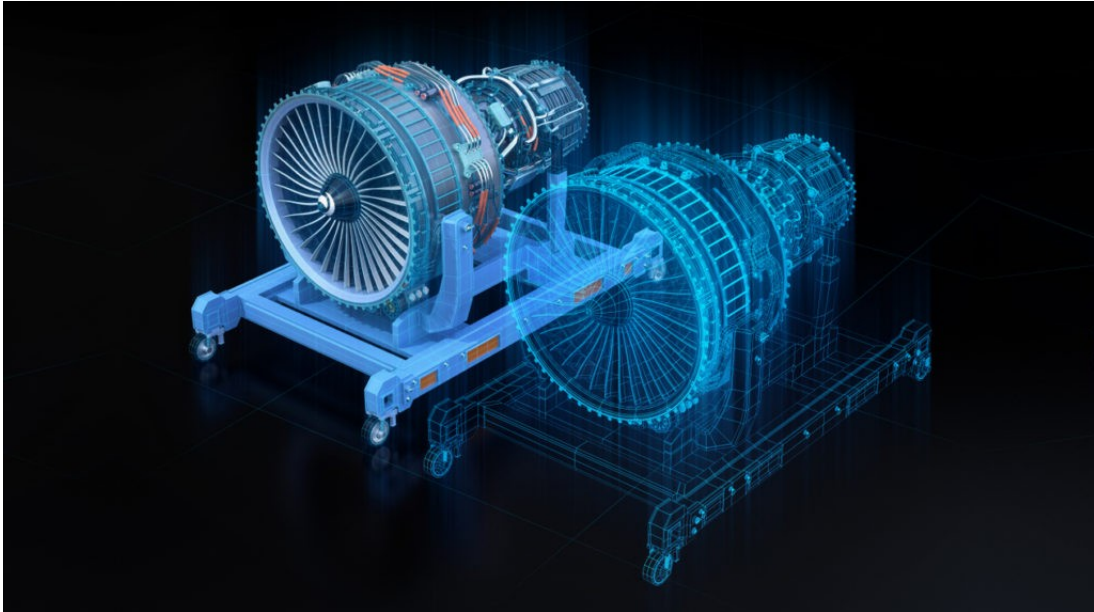
Kooperácia a vzájomná komunikácia kyberneticko-fyzikálnych systémov a ďalších prvkov vo výrobe v rámci inteligentnej továrne umožňuje presah z fyzického sveta (reálneho) do digitálneho (virtuálneho). Inými slovami, vďaka digitalizácii fyzického výrobku, procesu alebo služby v priemysle dochádza čoraz k väčšiemu prepojeniu týchto dvoch svetov. Obraz reálneho prvku vo virtuálnom svete nazývame **digitálne dvojča**. Tento pojem (z anglického *digital twin*) predstavuje digitálneho reprezentanta fyzického objektu vo virtuálnej realite, ktorý má rovnaké vlastnosti a parametre ako jeho fyzická kópia. V koncepte Priemyslu 4.0 je možné digitalizovať celé spektrum výroby – každý prvok výroby môže mať svojho digitálneho reprezentanta:

- digitálne dvojča továrne – simulácia výrobného procesu a logistiky v továrni,
- digitálne dvojča výrobných liniek – simulácia produkcie,
- digitálne dvojča kyberneticko-fyzikálnych systémov – simulácia mechatroniky stroja,
- digitálne dvojča produktov – simulácia fyzikálneho stavu produktu v určitých podmienkach a prostredí.

V prípade výrobkov je možné odsimulovať ako sa bude výrobok chovať v reálnom živote (napr. fyzikálne aspekty ako pevnosť v ťahu, tlaku. . .) a predikovať jeho životný cyklus. Dáta sú zbierané a následne využívané pre celkovú optimalizáciu výroby a vývoj ďalšej generácie produktov. Práve fáza vývoja nového produktu je časovo náročná a vyžaduje početné testovanie fyzických prototypov. Digitálny model (obr. 1.8) umožňuje sledovanie chovania produktu v jeho simulovanom reálnom prostredí a proces vývoja značne zefektívňuje a urýchľuje.

Moderné softvérové nástroje sú schopné simulovať a modelovať celý výrobný proces továrni, identifikovať jeho optimálne nastavenie, preniesť ho do fyzickej výroby a iniciovať reálny výrobný proces. Obdobne ako v prípade digitalizácie produktov, fyzické objekty v inteligentnej továrni ako kyberneticko-fyzikálne systémy, stroje a

¹³Príkladom môže byť automaticky detekovaný nesprávne dodaný materiál pre výrobu konkrétneho komponentu a následné presmerovanie výroby na iný komponent či produkt.



Obr. 1.8: Výrobok (vľavo) a jeho digitálne dvojča (vpravo)[10]

výrobné linky majú svojich digitalizovaných reprezentantov. Dáta získané z nich sú potom použité pre správu výrobného podniku, prehľad o aktuálnej situácii, manažment logistiky, prehľad zásob materiálu, sledovanie prestojov a celkovú optimalizáciu výrobnnej kapacity továrne. Po zoskupení všetkých dostupných dát a virtuálnych objektov v jednom priestore je možné zostaviť digitálne dvojča továrne – digitálny model reálnej továrne s aktuálnymi informáciami, nastaveniami a parametrami o všetkých fyzických objektoch nachádzajúcich sa v továrni.

Využitie digitálnych dvojčiat vo výrobnom procese:

- digitálne dvojča produktu – 3D model výrobku, animácie a simulácie obvodov, fyzikálnych a mechanických vlastností, ergonómie, odladenie súvisiacich softvérových aplikácií, optimalizácia výrobku,
- digitálne dvojča výrobných zariadení – 3D modely výrobných strojov a liniek, optimalizácia výrobných parametrov, kontrola vyrobiteľnosti, simulácia výrobného procesu, predikcia možných problémov pri výrobe, školenie pre operátorov,
- digitálne dvojča výrobného procesu – monitorovanie strojov a liniek, notifikácia v prípade odchýlky výrobných parametrov, prediktívna údržba výrobných zariadení, kinematicko-fyzikálny model (reprezentácia verných pohybov a vlastností stroja), odhalenie súvislosti rôznych parametrov, optimalizácia celkovej prevádzky.

Digitálni reprezentanti sú úzko spätí s ich fyzickými dvojčatami, no nemôžu odrážať úplne všetky aspekty skutočnej reality. Prinášajú však veľkú časovú úsporu spojenú s predikciou a prognózou situácii, ktoré môžu počas výroby nastať a vďaka tomu optimalizovať nielen výrobný proces, ale aj samotný produkt. Digitalizácia a virtualizácia výroby so sebou takisto prináša výzvu v podobe osvojenia si nových pracovných postupov v produkcii a zaškolenia pracovníkov pre integráciu softvérových a hardvérových systémov. V súčasnosti sa už trend digitálnych dvojčat v priemysle naplno etabluje. Podnikom to prináša úsporu finančných nákladov a spotrebovanej energie, efektívny a rýchlejší vývoj a výrobu produktov, kratšiu dodaciu lehotu vďaka presnejšiemu plánovaniu produkcie, odhalenie potencionálnych kolíznych miest a schopnosť pružne sa prispôbiť potrebám trhu a zákazníka.

1.5.1 Simulačný softvér

Podmienkou pre virtualizáciu predmetov a objektov sú existujúce dáta pre vytvorenie ich 3D modelov a kinematických pohybov, ktoré vykonávajú v realite. Nevyhnutnou súčasťou priemyselnej digitalizácie je použitie vhodného simulačného softvéru, ktorý dokáže vytvoriť potrebný 3D model a emulovať fyzickú riadiacu jednotku (resp. PLC), prípadne prepojiť priamo jeho fyzickú verziu so softvérom. Následne je možné spustiť samotnú simuláciu, testovanie, nastavovanie a ladenie parametrov objektu. Vývojári a konštruktéri môžu potom jednoducho aplikovať zmeny na reálnom objekte prostredníctvom riadiacej jednotky, ktorá s ním priamo komunikuje.

Na trhu existuje množstvo softvérových produktov, za zmienku stoja tie najznámejšie od svetových lídrov ponúkajúcich hardvérové riešenia v oblasti robotiky a priemyselnej automatizácie:

- Tecnomatix od spoločnosti Siemens,
- RobotStudio od spoločnosti ABB,
- CIROS od spoločnosti Festo,
- SimPro od spoločnosti KUKA.

Uvedené programy poskytujú okrem simulácie aj sady komplexných riešení pre správu výrobných procesov určených pre vývoj a optimalizáciu výrobných procesov v rámci výrobného podniku a dodávateľského reťazca.

1.6 Virtuálna a rozšírená realita

Virtuálna realita (označovaná skrátene ako VR z anglického *virtual reality*) je definovaná ako digitálne vymodelované 3D prostredie, ktoré je simulované a vnímané

ako skutočné prostredie. S použitím špeciálneho VR hardvéru¹⁴ je používateľ svojím vedomím ponorený do tohto prostredia, pričom ho vníma ho ako realitu, v ktorej sa nachádza a pohybuje. Virtuálna realita sa dostala do povedomia širšej verejnosti hlavne vďaka počítačovým hrám odohrávajúcich sa vo virtuálnom modeli okolia. Často sa jedná o veľmi realistické zobrazenie sveta (reálneho alebo imaginárneho), pričom sa hráč v tomto svete pohybuje takmer neobmedzene. V skutočnosti sa však fyzicky nachádza vo svojej realite v prítomnom okamihu. Jeho oči a myseľ sú vtiahnuté do deja a telo reaguje na pohyby, ktoré vo virtuálnej realite uskutočňuje.

Použitie virtuálnej reality v zábavnom priemysle však nie je jediné uplatnenie tejto technológie. S príchodom konceptu štvrtej priemyselnej revolúcie a existencie digitálnych dvojčat sa naskytla s použitím vhodnej softvérovej aplikácie možnosť preniesť digitalizované modely do virtuálnej reality a 3D zobrazenia v ich realistickom prostredí - výrobnéj továrni. Vďaka tomu je možné modelovať, simulovať a optimalizovať výrobky (obr. 1.9), kyberneticko-fyzikálne systémy, stroje, výrobné linky a rovnako aj samotné výrobné procesy inteligentnej továrne. Virtuálnu realitu vo výrobnom podniku možno aplikovať na tieto špecifické činnosti:

- vytváranie virtuálnych 3D prototypov,
- zobrazovanie a simulácia rozsiahlych a zložitých procesov či výrobných scenárov,
- vzdialená konzultácia a riešenie problémov s odborníkom,
- školenie pracovníkov.



Obr. 1.9: Využitie virtuálnej reality v Priemysle 4.0[11]

¹⁴Virtuálne okuliare, odev snímajúci pohyb, rukavice stimulujúce hmat, viackanálové reproduktorové ozvučenie, špeciálne pohybové kontroléry atď.

Zaujímavou schopnosťou VR, ktorá sa dá využiť pri kontrole stavu neprístupných komponentov alebo edukácii, je zobrazenie voľným okom neviditeľných súčasti objektu (bez jeho samotnej demontáže). V praxi je tak možné napríklad na diaľku vizuálne diagnostikovať vnútorné súčiastky výrobného stroja na základe získaných dát z IoT a následne vytvorenia 3D modelu digitálneho dvojčata vo virtuálnej realite. Softvérové aplikácie dokážu prostredníctvom pozorovaných parametrov v objekte simulovať a vizualizovať správanie materiálov či chybné kinematické pohyby v prípade, že došlo k poruche. Celkové prínosy spojené s využitím a aplikáciou virtuálnej reality v Priemysle 4.0 sú:

- rýchlejší a menej nákladný vývoj nových produktov vďaka 3D digitálnym prototypom,
- nižšie náklady na odborné konzultácie so vzdialenou podporou, ktorá má po pripojení do virtuálneho prostredia existujúceho výrobného závodu možnosť vidieť aktuálny stav objektu a sledovať jeho technický stav na diaľku,
- efektívnejšie a rýchlejšie školenie zamestnancov,
- zníženie počtu odstávok vo výrobe.

Rozšírená realita (často označovaná aj ako AR z anglického prekladu *augmented reality*) umožňuje zobrazenie reálneho obrazu sveta doplneného digitálne vytvorenými objektami (obr. 1.10). Využitie rozšírenej reality je možné vďaka technologickému pokroku v oblasti mobilných zariadení, ktoré zobrazujú kamerou snímanú (skutočnú) realitu doplnenú o digitálne vytvorené objekty priamo na displeji zariadenia. V Priemysle 4.0 je táto technológia využívaná pre identifikáciu jednotlivých strojov, komponentov a objektov spolu s dodatočným zobrazením súvisiacich informácií v digitalizovanej podobe.

Dáta môžu byť zobrazené na obrazovke mobilného zariadenia vo forme textu vedľa skutočného objektu (napr. parametre potrebné pre správne nastavenie stroja) alebo môžu byť modelované v podobe grafických objektov pre lepšiu orientáciu v priestore (napr. zobrazenie vhodného inštalačného materiálu pre upevnenie daného komponentu). Typickými oblasťami využitia rozšírenej reality v inteligentnej továrni sú:

- technická podpora pri zložitej montáži,
- vizuálna inšpekcia a diagnostika,
- návody k obsluhu,
- školenie pracovníkov,
- work flow management¹⁵.

¹⁵Riadenie, monitorovanie a koordinácia postupnosti úloh a toku procesov.



Obr. 1.10: Využitie rozšírenej reality v Priemysle 4.0[12]

Rozšírená realita umožňuje zobrazenie potrebných dát v aktuálnom okamihu a v momente manipulácie s konkrétnym objektom. Všetky potrebné a existujúce digitalizované údaje sú k dispozícii okamžite po identifikácii objektu, čo eliminuje čas potrebný pre vyhľadanie informácií a špecifikácii v technických manuáloch. Celkové prínosy použitia rozšírenej reality v inteligentnej továrni sú:

- rýchlejšia orientácia v technických údajoch,
- kratšie odstávky výroby spojené s opravou a technickou diagnostikou objektov,
- efektívnejší zaškolovací proces zamestnancov,
- plánovanie kapacít údržby a obsluhy,
- zníženie chybovosti pri montáži a údržbe strojov a zariadení,
- zvýšenie bezpečnosti pri oprave.

Vďaka digitalizácii dát a technologických postupov s využitím virtuálnej a rozšírenej reality vo výrobnom podniku dochádza k značným finančným úsporám. Každý prestoj a odstávka vo výrobe predstavuje zvýšenie výrobných nákladov, preto je tieto činnosti potrebné vykonať v čo najkratšom možnom čase. Úspory dosiahnuteľné v strednodobom a dlhodobom horizonte prevyšujú obstarávacie náklady, čo tieto technológie nesporne predurčuje k implementácii v inteligentných továrňach.

1.7 Cloud computing

Ako už bolo spomenuté v podkapitole 1.2, technológia IoT využíva pre ukladanie, spracovanie a ďalšie smerovanie dát tzv. **cloud**¹⁶. Vďaka nemu je možné zbierať globálne dáta zo všetkých dostupných zariadení pripojených do IT infraštruktúry v inteligentných továrňach v rámci výrobného podniku a kumulovať ich v jednom virtuálnom priestore. Zariadenie pripojené k IoT je teda schopné podľa potreby pristupovať k zdieľaným dátam od iných zariadení v rámci inteligentnej továrne (resp. iných inteligentných tovární patriacich do jedného výrobného podniku) a zároveň ukladať na cloud svoje vlastné údaje, ktoré môžu byť kedykoľvek prístupné a použité iným zariadením v sieti. Takýto centralizovaný model prístupu k dátam sprostredkováva vzájomnú komunikáciu medzi všetkými výrobnými zariadeniami a systémami pripojenými do cloudu v reálnom čase, čo umožňuje flexibilne reflektovať aktuálne potreby výrobného podniku naprieč jeho továrňami a lokálnymi trhmi.

Model poskytovania služieb, aplikácií, serverov, databáz alebo programov uložených na cloudu reprezentuje **cloud computing**¹⁷ (obr 1.11). Tento termín označuje procesy, ktoré sú vykonané sieťovou infraštruktúrou pre zabezpečenie a poskytnutie cloudových služieb pripojeným zariadeniam s tým, že môžu k dátam pohodlne pristupovať cez aplikačné rozhranie, napríklad pomocou webového prehliadača alebo klienta danej aplikácie odkiaľkoľvek.

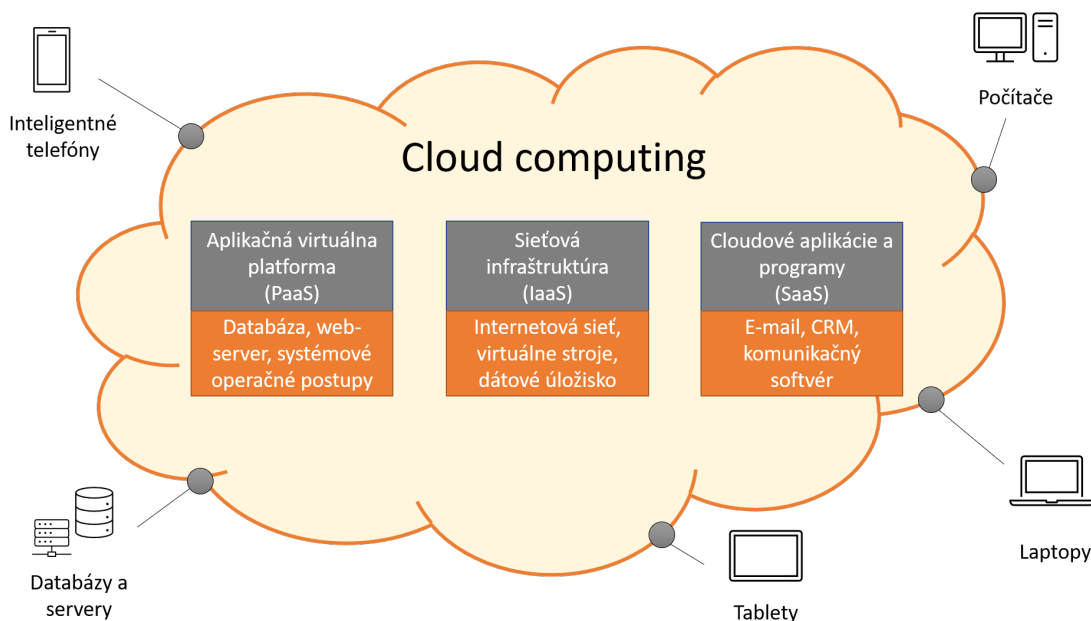
Cloud computing zabezpečuje 3 základné služby, vďaka ktorým môžu zariadenia medzi sebou zdieľať údaje a pristupovať k nim prostredníctvom sieťovej IT infraštruktúry:

- a. **Aplikačná virtuálna platforma** (Platform as a Service – PaaS) – poskytuje platformu pre správu programu alebo aplikácie;
- b. **Sieťová infraštruktúra** (Infrastructure as a Service – IaaS) – poskytuje IT infraštruktúru a súvisiaci hardvér;
- c. **Cloudové aplikácie a programy** (Software as a Service – SaaS) – poskytuje aplikačné služby a samotný prístup k aplikáciám.

Cloudové služby sú poskytované softvérovými spoločnosťami špecializujúcimi sa na poskytovanie zdieľaných dátových služieb cez internet, ktoré zabezpečujú spracovanie, ukladanie a správu dát. Jedná sa teda o komplexné riešenie vhodné pre výrobné podniky v súlade s konceptom Priemyslu 4.0, pri ktorom je základnou myšlienkou zdieľaný a nepretržitý prístup k dátam bez ohľadu na vzdialenosť a geografickú polohu továrne, či samotných zariadení v nich. Rýchlejší prístup k dátam

¹⁶Anglický výraz označujúci oblak, jedná sa o metaforu internetu (IT diagramy sú obvykle znázornené ikonou oblaku).

¹⁷Slovo *computing* označuje v anglickom jazyku výpočet, voľným prekladom teda možno *cloud computing* preložiť ako operácie v internetovej sieti.



Obr. 1.11: Architektúra cloud computing a služby, ktoré poskytuje cloud

predstavuje rýchlejšiu a efektívnejšiu komunikáciu medzi zariadeniami, čo vedie v konečnom dôsledku k vyššej produktivite vo výrobe.

1.8 ERP/MES

Priemysel 4.0 kladie dôraz na digitalizáciu výrobných procesov, pričom je potrebné obrovské množstvo prenesených a zhromaždených dát analyzovať a využiť pre celkovú optimalizáciu výroby. Ak má byť inteligentná továreň čo najviac agilná, je potrebné túto analýzu prenechať špecializovaným systémom a softvérom, aby bolo možné v primeranom čase vykonať najvhodnejšiu operáciu v aktuálnom okamžiku. Inými slovami, v Priemysle 4.0 človek nie je schopný včas vyhodnocovať a organizovať všetky činnosti vykonávané zariadeniami, strojmi a systémami, a preto sa musí zamerať na strategické aktivity a spoľahnúť sa na efektívne nástroje manažmentu, organizácie a plánovania vo výrobe.

Nástroj pre štandardizáciu a automatizáciu kľúčových obchodných postupov a plánovanie zdrojov vo výrobnom podniku sa nazýva **ERP**. Získava prehľad o zásadných činnostiach, postupoch a operáciách prebiehajúcich v inteligentnej továrni a zároveň spravuje zdroje a obchodné aktivity spoločnosti, od účtovníctva a kontroly financií až po správu skladu, zásob, predaja a nákupu. ERP môže riadiť každé oddelenie vo výrobnom podniku a ponúka transparentný prístup k údajom v reálnom čase. Vďaka integrácii ERP do výrobného cyklu je možné spravovať a vytvárať

základné harmonogramy výroby spolu s prehľadom o využití materiálu, dodávkach, zásielkach a súvisiacich obchodných informáciach. ERP môže vo výrobnom cykle obstarávať tieto postupy a procesy:

- kontrolu a celkovú optimalizáciu nákladov,
- transparentnosť procesov, dát a úloh,
- analýzu a predikciu výrobných a obchodných dát,
- komunikáciu medzi oddeleniami,
- integráciu podnikových procesov,
- riadenie vzťahov so zákazníkmi.

Nástroj pre monitorovanie stavu, manažment a následnú optimalizáciu výrobných liniek sa nazýva **MES**. Je určený na riadenie, agregáciu a vizualizáciu dát získaných počas výrobného procesu v reálnom čase. MES prináša okamžitý prehľad o výrobnej zákazke a vďaka vzájomnému prepojeniu s ERP poskytuje hĺbkový prehľad výrobných možností. Cieľom systémového nástroja MES je zlepšiť kvalitu a efektívnosť výrobného procesu, čo pomáha výrobcovi pružnejšie reagovať na zmeny v dopyte a preferenciách zákazníkov. MES môže vo výrobnom cykle spravovať nasledujúce operácie:

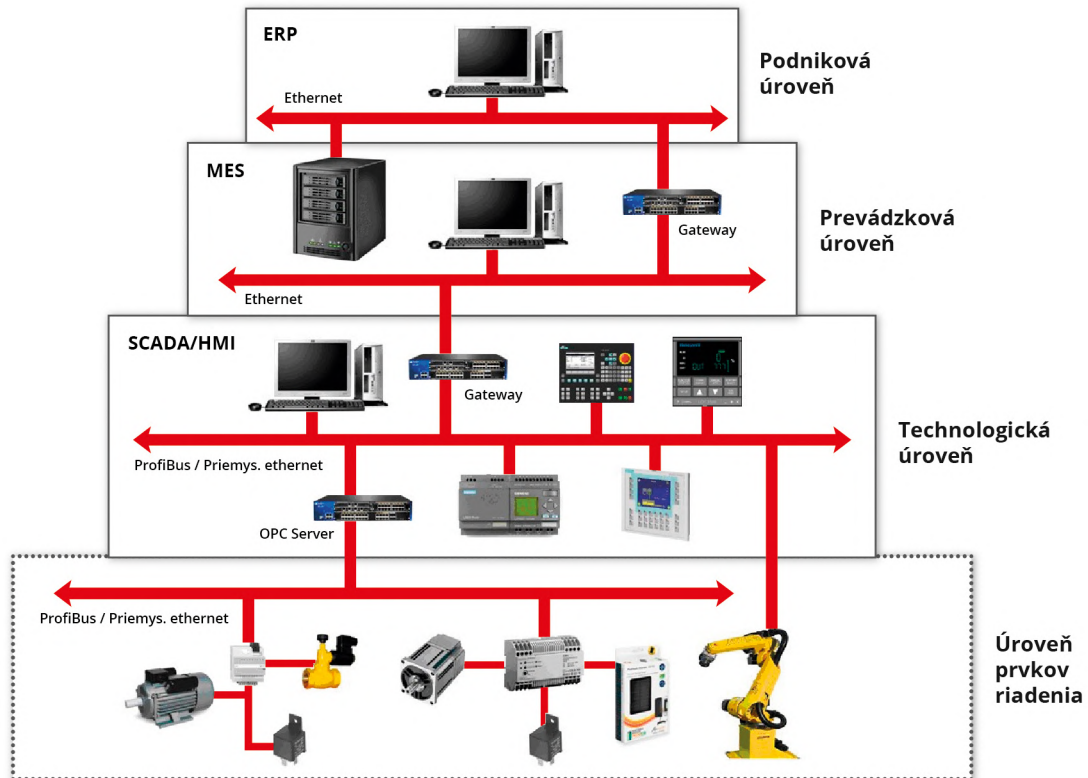
- centrálné plánovanie továrne,
- riadenie kvality výroby,
- správu životného cyklu produktu,
- správu objednávok,
- vyskladnenie hotových výrobkov,
- aktuálnu a celkovú analýzu produktivity,
- sledovanie výrobku počas výrobného cyklu.

Všetky uvedené činnosti sú vďaka vzájomnej komunikácii kyberneticko-fyzikálnych systémov a zariadení pripojených do IoT v inteligentnej továrni realizovateľné v reálnom čase a podľa aktuálnej potreby výrobného podniku a zákazníka.

[13]

Nástroje ERP a MES sa v niektorých operáciách a činnostiach môžu prekrývať v závislosti od konkrétneho použitého softvérového produktu. V zásade sa všetky výrobné podniky spoliehajú na ERP pri správe viacerých častí a aspektov ich podnikania, ERP však ponecháva mnoho medzier v riadení procesov a samotnej výroby v továrni. Preto sa v praxi často využíva prepojenie ERP a MES nástrojov pre komplexné riadenie a správu inteligentnej továrne. Interoperabilitu medzi ERP, MES, sieťovou infraštruktúrou a použitým hardvérom v inteligentnej továrni zobrazuje obrázok 1.12, ktorý predstavuje vertikálnu a horizontálnu hierarchiu distribuovaného riadenia.

Medzi nástrojmi ERP, MES a samotnými zariadeniami vo výrobnom podniku figuruje v rámci komunikačnej sieťovej topológie ešte systém SCADA/HMI. Nevy-



Obr. 1.12: Štandardný model distribuovaného riadenia v inteligentnej továrni

konáva funkciu plnohodnotného riadiaceho systému prvkov a zariadení, ale zameriava sa skôr na dispečerský dohľad, monitoring a prípadnú parametrizáciu zariadení. Jeho úlohou je sprostredkovanie konektivity a zber dát zo sledovaných objektov a procesov.[14] Jedná sa teda o softvér, ktorý poskytuje rozhranie medzi človekom a strojom na najnižšej úrovni operatívneho ovládania výrobného procesu. Horizontálnu integráciu na podnikovej a prevádzkovej úrovni zabezpečuje Ethernetová sieť a na technologickej a riadiacej úrovni prvkov priemyselné zbernice (napr. Profibus, EtherCAT, CAN...). Vertikálnu komunikáciu medzi ERP, MES, SCADA/HMI a jednotlivými zariadeniami a prvkami je možné realizovať prostredníctvom OPC, MTConnect a iných voľne definovateľných komunikačných rozhraní.

1.9 Technologické procesy v koncepte Priemyslu 4.0

Súčasťou myšlienky Priemyslu 4.0 nie je iba integrácia a vzájomné prepojenie moderných technológií a systémov umožňujúcich efektívnu a autonómnú výrobu, ale aj systematické procesy, vďaka ktorým je možné zabezpečiť optimálny a nepretržitý chod produkcie. Samotné procesy sa vykonávajú na úrovni každého zariadenia

a systému v inteligentnej továrni, pre celkovú produktivitu je však podstatná ich interoperabilita.

Niektoré procesy nesúvisia priamo s funkčnosťou zariadení, strojov a systémov, ale zabezpečujú nepretržitosť prevádzky továrne, kontrolu aktuálneho stavu použitých technológií, optimalizáciu výroby, personalizáciu výrobkov zákazníkmi, vývoj nových produktov, správu a zabezpečenie dát vo výrobnom podniku.

1.9.1 Transparentnosť a správa dát

Výrobný podnik na báze Priemyslu 4.0 disponuje veľkým objemom dát získavaných zo zariadení a systémov operujúcich v inteligentnej továrni. K údajom a informáciám je potrebné pristupovať zodpovedne a citlivo. Výrobné podniky preto musia aplikovať správne procesy a nastavenia v prípade spracovania dát.

Transparentné dáta poskytujú podniku obrovské množstvo užitočných informácií potrebných na prijatie vhodných rozhodnutí. Vzájomné prepojenie zariadení a systémov umožňuje zhromaždiť nesmierne množstvo dát a informácií zo všetkých miest výrobného procesu, čo pomáha optimalizovať výrobné procesy a identifikovať kritické oblasti.

Správa dát umožňuje spoločnostiam efektívne spravovať zložité súbory a zlepšovať orientáciu v zhromaždených údajoch. Týmto spôsobom má organizácia lepší prehľad o tom, aké dáta má k dispozícii, kde sú uložené a aká je kvalita. V prípade správy a manažmentu dát je potrebné porozumieť štyrom kritériám:

Objem údajov – veľkosť dát prenášaných v sieťovom prostredí má zásadný význam pri návrhu internetovej siete. Za údaje malého objemu sa označujú dáta menších veľkostí (napr. merania sledovaných hodnôt a parametrov), stredného objemu dáta väčších veľkostí (napr. obrázky alebo zvukové súbory) a veľkého objemu dáta najväčších veľkostí (napr. videá a 3D modely).

Rozmanitosť údajov – označuje diverzifikované druhy dát získané z rôznych zdrojov a zariadení rôznych formátov. V inteligentnej továrni je nevyhnutné zabezpečiť, aby bolo možné kombinovať údaje z jedného systému alebo zariadenia s údajmi z druhého.

Prenos dát – rôzne rýchlosti generovania dát môžu viesť k rôznym možnostiam rýchlosti ich prenosu v sieťovom prostredí.

Kritickosť dát – získané dáta je potrebné rozlišovať podľa ich zdroja a použitia na kritické a menej kritické z pohľadu ich hodnoty.

[15]

1.9.2 Integrácia a konektivita systémov

Systémová integrácia je proces kombinácie rôznych systémov a zariadení s cieľom vytvoriť komplexný systém s navzájom komunikujúcimi a spolupracujúcimi prvkami v inteligentnej továrni. Integrácia systémov zvyšuje hodnotu pre celkový systém vytváraním nových funkcií kombináciou podsystémov a softvérových aplikácií. Zásadnou výzvou je transformácia a využitie získaných dát na vedomosti, ktoré optimalizujú celkovú efektivitu produkcie výrobného podniku. Správne nastavenia výrobných procesov potom znižujú celkové náklady a čas potrebný na výrobu produktov. Mechanizmus vzájomnej integrácie sa zabezpečuje na úrovni vertikálneho a horizontálneho prepojenia ERP a MES systémov, ktoré tvoria inštancie centrálného plánovania výroby podniku (podkapitola 1.8).

Princíp Priemyslu 4.0 spočíva vo vzájomnej konektivitě použitých technológií. Prvky inteligentnej továrne si vymieňajú rôzne typy údajov na rôzne účely a procesy vo výrobe, aby mohli autonómne splňať svoje úlohy. Konektivita systémov je tvorená tromi úrovňami:

- **akčné prvky** – komponenty umožňujúce vytváranie dát (senzory, detektory. . .),
- **fyzická konektivita** – umiestnením a prepojením akčných prvkov v stroji sa generuje viac dát pre prenos v sieťovej infraštruktúre,
- **prepojenie obsahu** – vzájomná komunikácia strojov, technológií a systémov na podnikovej úrovni.

Konektivita a prepojenie jednotlivých prvkov vo výrobe umožňuje nepretržitý tok dát a poskytuje možnosť monitorovať a spravovať procesy na diaľku a v prípade potreby rýchlo meniť výrobné operácie a plány v reálnom čase.

1.9.3 Vzdialená kontrola stavu a prediktívna údržba

Tradičné spôsoby diagnostiky výrobných zariadení, spočívajúce v nevyhnutnej odstávke výroby a identifikácie možného problému technickou podporou striedajú v ére Priemyslu 4.0 nové postupy kontroly technického stavu a identifikácie poruchy. Vďaka využitiu technológií ako virtuálna a rozšírená realita, digitalizácii strojov a zariadení a nepretržitému monitorovaniu dát je diagnostiku možné vykonať vzdialene, bez toho, aby došlo nevyhnutne k odstávke výroby. Vzdialená kontrola stavu strojov a výrobných zariadení proaktívne analyzuje aktuálny výkon stroja, čím pomáha predchádzať neplánovaným zastaveniam výroby a šetrí čas pri náprave porúch.

Vzdialená kontrola prináša okrem riešenia aktuálnych technických problémov aj príležitosť prediktívnej údržby vďaka neustálemu monitorovaniu stavu strojov a zariadení. Využívajú sa pritom modely založené na štatistike, rozpoznávaní príznakov, umelej inteligencii a strojového učenia. Prediktívna údržba substituuje preventívnu

údržbu, ktorá sa spolieha na vizuálnu kontrolu spolu s bežnými diagnostickými postupmi kontroly strojov a zariadení. Tá však ponúka iba obmedzený rozsah kontroly funkčného stavu zariadenia, pretože technici môžu opravovať iba to, čo by mohlo zlyhať na základe opotrebenia jednotlivých komponentov. Prediktívna údržba využíva analytický prístup s využitím získaných dát v reálnom čase na detekciu potencionalnej poruchy a predčasnej výmeny komponentu.

1.9.4 Flexibilita výroby

S vývojom výrobných systémov a postupov sa výrobná stratégia vyvinula z hromadnej výroby na hromadnú personalizáciu. Aby bolo možné uspokojiť dopyt po individualizácii, je potrebné implementovať zákaznícky orientovanú výrobu, ktorá vedie priamo ku komplexným flexibilným výrobným systémom. Flexibilita sa definuje ako schopnosť urýchliť zámerné zmeny, neustále reagovať na neočakávané zmeny a prispôbiť sa neočakávaným dôsledkom predvídateľných zmien. Dnes je čoraz viac bežné, že výrobcovia ponúkajú svojim zákazníkom konfiguráciu na mieru. V praxi si tak pred samotnou kúpou zákazník produkt personalizuje podľa svojich preferencií (v aplikačnom rozhraní, najčastejšie priamo na webovej stránke výrobcu) a odošle požiadavku výrobcovi. Ten ju spracuje, vypočíta výrobný čas a spolu s dobou doručenia dokáže vytvoriť kalkuláciu dodania presne nakonfigurovaného produktu na mieru.

Priemysel 4.0 ponúka novú príležitosť na realizáciu flexibilnej a efektívnej výroby. Vyznačuje sa veľkou mierou individualizácie výrobkov v podmienkach vysoko flexibilnej výroby. Zákaznícky orientovaná výroba vedie priamo k zložitým flexibilným výrobným systémom, ktoré je potrebné modelovať a optimalizovať. Flexibilita výroby zároveň zlepšuje schopnosť firmy včas reagovať na požiadavky zákazníkov a zvyšovať produktivitu výrobného systému bez vynaloženia nadmerného množstva zdrojov a nákladov. Integrácia pokročilých technologických riešení v ére Priemyslu 4.0 umožňuje nové flexibilné výrobné postupy.

Na meranie flexibility sa používajú akékoľvek faktory, ako napríklad čas, pravdepodobnosť a koeficient efektivity. Tie sú potom použité pre vytvorenie rôznych matematických modelov s použitím stochastických algoritmov alebo Petriho sietí.[16]

1.9.5 Sledovanie výrobku

Získanie informácií generovaných systematicky prostredníctvom technológií v reálnom čase je jedným z kľúčových faktorov digitálnej transformácie priemyslu a inovácie dodávateľských reťazcov. Správa aktív v rámci Priemyslu 4.0 sa považuje za proces, ktorý okrem zhromažďovania informácií umožňuje sledovanie aktuálnej polohy a zaistenie bezpečnosti aktív. Výrobky sú sledované nielen počas ich samotnej

výroby, ale počas celého životného cyklu. Výrobný podnik tak získava potrebné informácie o produkte, ktoré slúžia pre zlepšenie jeho kvality a vývoj novej generácie produktov.

S využitím nových technológií v Priemysle 4.0 je možné efektívne a pokrokovu spravovať aktíva, ako aj získavať dáta v reálnom čase. Implementáciou technológií lokalizácie je možné výrazne zvýšiť úroveň poskytovaných služieb a kvality výrobkov v rôznych fázach dodávateľského reťazca. Technológie v Priemysle 4.0 umožňujú poskytovať a zdieľať informácie o úrovniach zásob materiálu, aktuálnych objednávkach a predpovediach budúcich požiadaviek na výrobu, a tak efektívne komunikovať potreby podniku medzi dodávateľmi a výrobcami.

Vzhľadom na produkty pochádzajúce z inteligentných tovární by sa ich lokalizácia mala považovať za inteligentný proces registrácie a identifikácie výrobkov. Dáta sú v Priemysle 4.0 zhromažďované v rôznych procesoch v rámci celého dodávateľského reťazca s cieľom získať informácie nielen na sledovanie, ale aj na zaistenie bezpečnosti v prostredí, v ktorom sa používajú. Informácie poskytované technológiou lokalizácie môžu zahŕňať okrem polohy aj fyzický stav produktov - napríklad rýchlosť, zrýchlenie, teplotu, vlhkosť, rozmery a ďalšie fyzikálne vlastnosti .[17]

S technologickým pokrokom sa postupne presadzovali inovatívne technológie na sledovanie výrobkov počas celého svojho životného cyklu ako:

- bezdrôtové siete (napr. Bluetooth),
- družicové systémy (GPS),
- identifikácia pomocou rádiových frekvencií (napr. RFID),
- inteligentné značky (napr. QR).

Jednotlivé technológie sa nasadzujú v závislosti od zvoleného procesu výroby, typu a povahy produktu a jeho následného využitia v prostredí, v ktorom ho bude zákazník používať.

1.9.6 Kybernetická bezpečnosť

Kybernetická bezpečnosť je jednou z hlavných výziev pre výrobný podnik fungujúci na princípe Priemyslu 4.0, v ktorom sa spája výroba s informačno-komunikačnými technológiami, a kde sa stierajú hranice medzi fyzickým a digitálnym svetom. Prítomnosť prepojených kyberneticko-fyzikálnych systémov v priemyselnom prostredí predstavuje značnú bezpečnostnú výzvu, pretože väčšina systémov tohto typu nebola navrhnutá s ohľadom na kybernetickú bezpečnosť. Zároveň, výrobný podnik a jeho entity komunikujú prostredníctvom súkromných priemyselných sietí a pomocou špecifických protokolov, ktoré však neposkytujú dostatočnú ochranu pred kybernetickými hrozbami. Takéto nezabezpečené sieťové pripojenia spôsobujú, že výrobné systémy sú zraniteľné voči čoraz väčšiemu počtu kybernetických útokov.

Kybernetické útoky môžu mať na výrobné systémy určitý počet negatívnych obchodných dopadov. Tieto vplyvy zahŕňajú najmä[18]:

- sabotáž celej kritickej infraštruktúry alebo cieľových strojov a komponentov,
- odmietnutie obsluhy sietí a počítačov,
- odcudzenie priemyselného obchodného tajomstva a duševného vlastníctva,
- porušenie predpisov v oblastiach bezpečnosti a znečistenia,
- výskyt život ohrozujúcich situácií pre pracovníkov.

Pri snahe riešiť tieto zložité situácie vznikajú výrobným podnikom značné ekonomické škody a strata konkurenčnej sily na príslušnom trhu súvisiace s poklesom produktivity. Schopnosť proaktívne čeliť problémom kybernetickej bezpečnosti je preto kľúčovým hnacím mechanizmom na zachovanie konkurenčnej výhody spoločností.

Zvyšujúci sa počet porušení kybernetickej bezpečnosti nepriaznivo ovplyvňuje výkonnosť podniku využitím slabých miest v sieťových výrobných strojoch. V niektorých prípadoch môžu kybernetické útoky na kritické priemyselné zariadenia narušiť podnikový obchodný model. Spoznanie a vyhodnotenie hlavných kritických aktív, ktoré sa majú chrániť pred potenciálnymi kybernetickými útokmi a možnými obchodnými dopadmi, je zdrojom konkurenčnej výhody.

Za posledné roky zhromaždili orgány ako Európska organizácia pre kybernetickú bezpečnosť (ESCO) a Európska agentúra pre bezpečnosť sietí a informácií (ENISA) existujúce normy, metodiky, nástroje, štandardy a usmernenia, ako aj osvedčené postupy na riešenie otázok kybernetickej bezpečnosti vo vzťahu k priemyselným systémom:

- ISA/IEC 62443,
- rámec certifikácie kybernetickej bezpečnosti IACS (ICCF),
- ANSSI kybernetická bezpečnosť pre priemyselné riadiace systémy,
- API Standard 1164.

Európske organizácie teda navrhujú štruktúrovaný prístup ku kybernetickej bezpečnosti. Aplikácia uvedených princípov v Priemysle 4.0 vplýva na hodnotenie všeobecného prístupu systému alebo organizácie ku kybernetickej bezpečnosti.[19]

2 Automatizácia transportu prostredníctvom AGV

AGV (z anglického *automatic*, resp. *automated guided vehicles*) je zaužívaný akronym pre automaticky, resp. automatizovane navádzané vozidlá. Sú to mobilné robotizované a elektricky poháňané kolesové zariadenia bez vodiča, naprogramované a určené na prepravu materiálu vo výrobnom, logistickom alebo skladovom prostredí bez potreby manuálneho ovládania. Predstavujú teda súčasť celého procesu výroby a dodávky a zároveň sú ideálne priemyselné riešenie pre aplikácie, ktoré zahŕňajú horizontálny a vertikálny pohyb materiálu a produktov s cieľom plnenia transportných objednávok.

Primárnou úlohou AGV je zabezpečovať medzioperačnú dopravu medzi výrobnými linkami a prípadne jednotlivými výrobnými pracoviskami. V rámci svojej činnosti vo výrobnom prostredí vykonávajú transport materiálu smerom k výrobným strojom a zariadeniam, na druhej strane zabezpečujú zber hotových alebo semi-hotových výrobkov do skladu alebo priamo do exportnej zóny. Podrobnejšie úlohy a úkony zabezpečujúce vozidlami AGV sa líšia v závislosti od konkrétneho podniku a jeho potrieb.

AGV sa líšia svojimi parametrami, vo všeobecnosti sa však vo výrobnom priemysle používajú štandardné AGV, ktoré dosahujú v priemernú rýchlosť okolo 3 km/h s maximálnou nosnosťou až 1 700 kg. Nasledujúce časti tejto kapitoly sa budú bližšie venovať rôznym typom AGV z pohľadu ich navigácie, konštrukčného prevedenia a spôsobu ich nabíjania.

2.1 Technológia navádzania AGV

Ako plynie z názvu systému AGV, vozidlo musí byť schopné autonómneho presunu z bodu A do bodu B bez nevyhnutného zásahu človeka. To je možné vďaka integrovanému navigačnému systému, ktorý mu umožňuje pohybovať sa v prostredí a vyhýbať sa prekážkam, s ktorými sa stretáva. Existuje niekoľko variánt AGV z pohľadu technológie ich navádzania (obr. 2.1). Najrozšírenejšie typy navigácie AGV sú pomocou:

- Laserového skeneru založeného na odraze od reflexných prvkov umiestnených na stenách a statických objektoch (prekážkach). Využíva sa pritom princíp triangulácie¹, prípadne meranie doby šírenia laserového lúča,

¹Kalkulácia uhlu a vzdialenosti vyžiareného lúča zo zdroja žiarenia a prijatého lúča dopadajúceho na detektor v závislosti od uhla odrazu.

- Magnetickej pásky umiestnenej na podlahe. AGV je v takomto prípade vybavené magnetickým snímačom, ktorý sleduje odklon od pásky. Páska môže byť efektívne premiestnená v závislosti od aktuálnej potreby.
- Vytváraním aktuálnej mapy okolitého prostredia. Jedná sa o tzv. SLAM navigáciu, kedy sa vďaka laserovým skenerom vytvára mapa okolitého prostredia spolu s lokalizáciou objektov a prekážok.

Aplikácia vybraného typu AGV vždy závisí od konkrétneho prostredia, technologických limitov a finančných možností. Posledná z uvedených alternatív umožňuje maximálnu flexibilitu pohybu, hlavne v oblasti s menším manévrovacím priestorom.



Obr. 2.1: Technológie navigácie AGV – odraz laserového lúča od fixne upevnených reflexných prvkov (vľavo), vytváranie aktuálnych máp okolia (v strede), sledovanie magnetickej vodiacej pásky (vpravo)[20]

Laserové navádzanie

Princíp fungovania laserovej triangulácie je podobný ako pri GPS navigácii. Laserová triangulácia používa na trianguláciu polohy vozidla minimálne tri referencie. Na rozdiel od systému GPS, ktorý využíva satelity, však táto metodika využíva laserový skener, ktorý je umiestnený na vrchu konštrukcie vozidla. Jeho lúče sa odrážajú od reflexných cieľov (reflektorov), ktoré sú nainštalované v okolitom prostredí.

Technológia laserovej triangulácie je mimoriadne spoľahlivá. Je schopná vysokej presnosti navádzania, vďaka čomu sú možné relatívne vysoké prepravné rýchlosti vozidla. Pretože táto technológia používa namiesto fyzických trás virtuálne cesty, náklady na údržbu sú nižšie a efektívna správa vozového parku a dopravy je vcelku nenáročná. Úpravy trasy sú tiež rýchle a jednoduché - pokiaľ si významné zmeny nevyžadujú inštaláciu ďalších reflektorov. Medzi nevýhody možno zaradiť čas potrebný na návrh rozloženia a inštaláciu reflektorov.

Prirodzené navádzanie

Prirodzená navigácia (označuje sa aj ako SLAM navigácia) využíva laserové skenery, napríklad zabudované bezpečnostné snímače na vozidle. Porovnáva aktuálny 2D naskenovaný obraz s mapou, ktorá bola vytvorená predtým, s cieľom vypočítať polohu vozidla. Prirodzená funkcia navigačnej technológie funguje jedným z dvoch spôsobov. Ide o tieto prístupy:

- zhoda skenovania – dáta skenera sa porovnávajú s referenčnou mapou a neustále sa aktualizujú.
- priradovanie prvkov – údaje sa porovnávajú so statickými objektami v prostredí, ako sú steny alebo stĺpy, bez prepísania referenčnej mapy.

Pri zosúladovaní skenovania sa zhromaždené nespracované laserové údaje porovnávajú s pôvodnou mapou a táto mapa sa aktualizuje, ak sa zistia nové objekty. Tento prístup vyžaduje, aby skenovanie bolo vysoko kvalitné, aby sa porovnávané parametre zhodovali. Zároveň je potrebné pri návrhu mapy dbať na vysoké rozlíšenie buniek, aby bola zabezpečená vysoká presnosť určenia polohy vozidla v prostredí.

Naopak, pri porovnávaní prvkov sa ako referencia na lokalizáciu vozidla používa relatívne malý počet stálych prvkov prostredia - steny, stĺpy, stožiare a fixne inštalované zariadenia. Táto metóda je veľmi robustná, pretože vyžaduje niekoľko referencií (tj. 5% okolitého prostredia alebo menej), aby sa zabezpečila presná lokalizácia vozidla. Navyše, keďže mapa sa nemení (pokiaľ to nevyžaduje veľká zmena infraštruktúry), presnosť sa časom zachová. [21]

Navádzanie magnetickou páskou

Vozidlá AGV sú vybavené magnetickými senzormi a sledujú vymedzenú stopu vytvorenú pomocou magnetickej pásky, ktorá je umiestnená na povrchu podlahy. Princíp je v zásade jednoduchý – magnetický indukčný snímač AGV detekuje magnetický vodiaci pás položený na zemi na základe čoho získa relatívny jednorozmerný súradnicový signál, ktorý prenáša do radiča vozidla a ovládač AGV ovláda smer vozidla podľa stavu signálu. Inštalácia magnetickej pásky je jednoduchá. Na kladenie magnetických stôp sa používa lepidlo s vysokou väzbou. Štandardné rozmery sú 1 mm hrubé a 5 cm široké, takže páska nie je vôbec invazívna.

Magnetická navigácia AGV má výhody vysokej stability a nízkych nákladov. Najväčšia výhoda tohto riešenia spočíva vo variabilnom použití, tj. ak sa vyžaduje častá zmena dopravnej trasy. V takom prípade stačí prelepiť pásku. Táto činnosť sa však musí vykonávať manuálne a preto sa nejedná o flexibilné riešenie navádzania. Navyše, vozidlo síce dokáže detekovať prekážku, ale nedokáže sa jej vyhnúť a je opäť potrebný manuálny zásah pre odstránenie prekážky v smere pohybu.

Nevyhnutnou súčasťou navigácie vozidiel AGV je riadiaci a ovládací systém, ktorý koordinuje pohyb všetkých vozidiel na vyššej systémovej úrovni a môže byť plne integrovaný s nadradenými systémami ERP a MES. Riadiaci systém je základnou riadiacou jednotkou celého systému, ktorému vozidlá AGV odovzdávajú informácie o svojom stave, vykonávaných činnostiach, problémových situáciách a pozícii v rámci vymedzeného priestoru. Riadiaci systém vyhodnocuje a využíva tieto informácie na rozhodovanie a následné riadenie jednotlivých častí transportného procesu. Jeho primárnou úlohou je riadiť presun jednotlivých AGV vozidiel, napr. cez križovatky, semaforey, obslužné miesta, nabíjacie stanice a podobne, a to automaticky bez nutnosti ľudského zásahu.[22]

2.2 Varianty AGV využívané vo výrobnom priemysle

Vozidlá AGV sa okrem typu navigácie môžu líšiť aj svojím konštrukčným prevedením v závislosti od prepravovaného bremena, spôsobu jeho transportu a prístupu pri nakladaní a vykladaní. Typickými priemyselnými riešeniami sú:

- podbiehacie – vozidlo podíde bremeno v horizontálnom smere, nadvihne ho a následne transportuje,
- nosné – vozidlo preberá náklad z nakladacej rampy (obvykle valcový rolovací mechanizmus) a na konci transportu ho vykladá na inú rampu,
- vysokozdvížné – okrem horizontálnej umožňuje aj vertikálnu manipuláciu s bremenom do určitej výšky,
- ťahacie – bremeno je umiestnené na samostatnom ťahanom vozíku (princíp ťahača s návesom).

Výber vhodného typu AGV je priamo závislý na zvolenej aplikácii a nárokov na vykonávané úlohy. Určujúcim parametrom výberu je v tomto prípade prepravovaný tovar a jeho vlastnosti ako váha a rozmery, ale aj požiadavky na smer pohybu – jednosmerný, obojstranný alebo viac-smerný (napr. pohyb do strany alebo otáčanie sa okolo vlastnej osi) a prostredie, v ktorom sa prepravuje bremeno.[23]

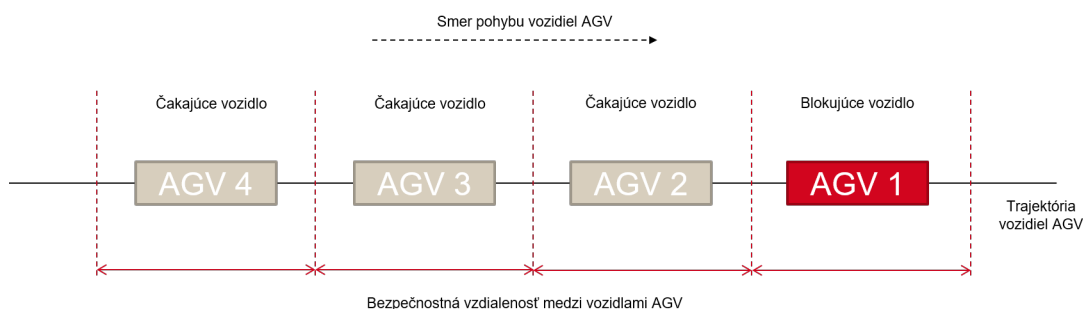
Prepravovaný náklad je obvykle transportovaný v prepravných objektoch ako sú kletky, kontajnery, prepravné koše, palety atď. V závislosti od toho sa odvíjajú ďalšie prepravné parametre (v akej pozícii, výške a z akého nakladacieho zariadenia sú tieto objekty na AGV naložené, resp. vyložené) ovplyvňujúce výber vhodnej alternatívy AGV. Vo všeobecnosti platí, že každé výrobné prostredie si vyžaduje individuálne posúdenie vhodnosti navrhnutého riešenia pre čo najoptimálnejšie prepojenie výrobného procesu so systémom AGV.

2.3 Pohyb AGV

Horizontálny pohon a následný pohyb vozidiel AGV zabezpečuje jednosmerný synchronný elektrický motor s riadenými ložiskami, ktorý prenáša energiu na kolesá s integrovanou planétovou prevodovkou. Samotné prevedenie pohonu a povrchu kolies závisí od modelu AGV a prepravným požiadavkám v konkrétnom prostredí.

Pohyb AGV vo výrobnom priestore bez ohľadu na technológiu navádzania musí byť monitorovaný systémom riadenia medzioperačnej dopravy s neustálym prehľadom o polohe a stave každého vozidla. Jednotlivé situácie potom vyhodnocuje algoritmus riadenia dopravy z pohľadu priority transportu, eventuálne môže podľa potreby (napr. pri poruche) zasiahnuť dispečing technickej obsluhy výrobnéj továrne.

Monitoring polohy a pohybu vozidiel AGV je nevyhnutný hlavne v prípade využitia väčšieho počtu AGV z dôvodu ich vzájomného blokovania. V týchto situáciách je v určitých momentoch potrebné zásah systému v podobe rozhodnutia, ktoré vozidlo má prednosť s cieľom čo najmenšieho oneskorenia vozidla počas pohybu zo štartovacieho do cieľového bodu. Správnym nastavením manažmentu riadenia dopravy dochádza k celkovej optimalizácii zásobovania. Častou situáciou, ktorá vzniká pri obsluhu transportného bodu viacerými vozidlami alebo pohybe viacerých vozidiel AGV po tej istej prepravnej trase v jednom smere a bez možnosti využitia paralelnej cesty (napr. z dôvodu úzkej priechodnosti) je blokovanie ďalších vozidiel za aktuálne zastaveným vozidlom (obr. 2.2). Blokovanie vzniká z dôvodu aktuálnej obsluhy prepravného bodu blokujúcim vozidlom, poruchou alebo núdzovým zastavením. Pohyb blokovaných vozidiel je opäť možný po uvoľnení transportnej trasy.

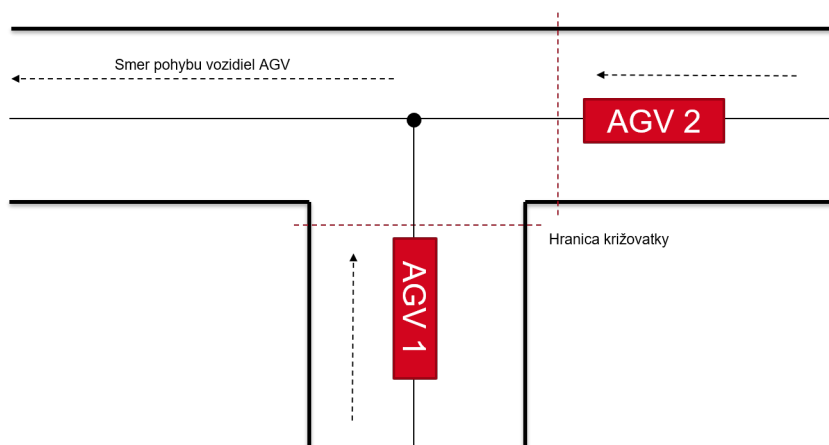


Obr. 2.2: Schéma blokovania vozidiel AGV pri prechode trajektóriou v rovnakom smere

Tento jav predstavuje zníženie celkovej optimalizácie a časovej efektivity transportu v medzioperačnej doprave a jediným riešením, ak to prostredie umožňuje, je vytvorenie a využitie paralelných prepravných trás. Riadiaci systém AGV v takomto prípade musí byť schopný predikovať možnú zápchu a presmerovať konkrétne

vozidlá pre čo najrýchlejší presun zo zdrojovej a cieľovej oblasti.

Ďalším prípadom, ktorý môže nastať v prípade väčšej a komplexnejšej prepravnej infraštruktúry, sú križovatky. Sú to miesta kde sa vozidlá AGV môžu počas pohybu po svojej trajektórii stretnúť v rovnakom čase a vzájomne blokovať (obr. 2.3). Pri riadení týchto situácií v križovatkách v praxi najčastejšie využíva systém riadenia AGV pravidlo FIFO (zaužívaný akronym z anglického *first in, first out*), tj. prvé vozidlo, ktoré prišlo do križovatky z nej zároveň odchádza ako prvé. Zabezpečuje sa tým kontinuálna doprava s rovnomerným oneskorením. V niektorých aplikáciach rozhodnutia o prioritnom prechode cez križovatky môže vykonávať riadiaci systém AGV s cieľom najrýchlejšieho možného prechodu po transportnej ceste a obsluhy konkrétneho prepravného bodu (napr. v prípade nadmernej alebo akútnej objednávky konkrétneho komponentu či produktu).



Obr. 2.3: Schéma blokovania vozidiel AGV pri prejazde križovatkou v rovnakom čase

S pohybom vozidiel AGV súvisí aj parameter rýchlosti prejazdu. Ten sa líši v závislosti od typu AGV, hmotnosti a veľkosti prepravovaného bremena a transportných podmienok. Rýchlosť vozidiel AGV sa automaticky znižuje pri prejazde kritickými oblasťami ako sú zákruty, križovatky, transportné body, prechody pre chodcov či nabíjacie stanice. V uvedených situáciách sa z bezpečnostných dôvodov môže rýchlosť znížiť až o 80% v závislosti od stanovených podmienok.

2.4 Nabíjanie AGV

Pre vykonávanie pohybu a ovládanie mechatroniky priemyselných AGV sa v praxi využívajú elektrické motory a servopohony. K tomu je potrebný zdroj elektrickej energie, pričom pre zachovanie maximálnej mobility sa využívajú trakčné batérie. Sú to nabíjateľné akumulátory s pomerne vysokou odolnosťou voči cyklickému vybíjaniu

a sú vhodné pre časté nabíjanie. Obvykle sa používajú olovené alebo lítium-iónové akumulátory. Ich veľkosť a hmotnosť závisí od konkrétneho typu AGV a kladených požiadavkách na ich celkový pracovný výkon.

Existujú dva spôsoby nabíjania týchto batérii – **manuálny** a **automatizovaný**. Manuálny systém nabíjania spočíva v pripojení konektora batérie k nabíjacíemu stojanu do elektrickej siete. AGV je počas tohto času vyradené z prevádzky. Čas nabitia závisí od typu batérie a technológie nabíjania. Iným spôsobom manuálneho nabíjania je kompletná výmena vybitej batérie za nabitú, čo umožňuje skrátenie času odstávky AGV iba na čas potrebný k výmene batérie a následného uvedenia AGV späť do prevádzky. V praxi je tento čas otázkou rádovo desiatok sekúnd vďaka využitiu valcových dopravníkov, ktoré umožňujú jednoduchú manipuláciu s pomerne ťažkými a veľkými batériami (obr. 2.4).

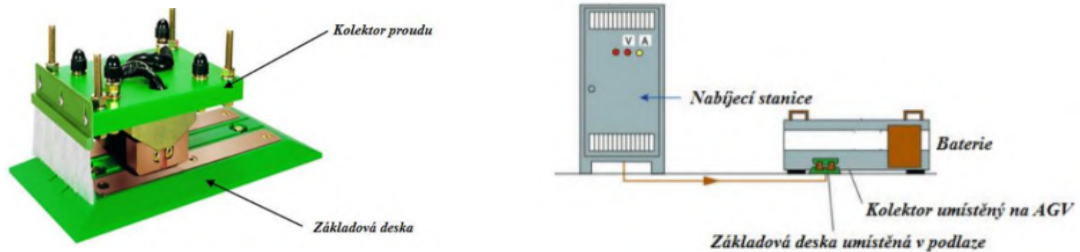


Obr. 2.4: Manuálna výmena batérie v AGV s využitím valcových dopravníkov (fotografie z výroby továrne P6 spoločnosti Hilti v Nemecku)

K obom spôsobom manuálneho systému je potrebná operatívna činnosť technickej obsluhy. Alternatívou je automatizovaný systém nabíjania, kedy AGV využíva k nabíjaniu tzv. základné dosky². Vozidlo AGV vyžaduje v tomto prípade na svojej spodnej konštrukcii kolektor prúdu, tak aby mohlo dôjsť k ich vzájomnému kontaktu a nabíjaniu (obr. 2.5). Základná doska je prepojená s nabíjacou stanicou a po styku kolektora a dosky dochádza k prenosu elektrického prúdu smerom k batérii. Obe kontaktné plochy pozostávajú z medených kontaktných doštičiek pre čo najlepšiu vodivosť. Najčastejší problém tohto riešenia však predstavuje samotná vodivosť elektrického prúdu – jednotlivé kontaktné plochy musia byť čisté a preto je potrebná pravidelná a preventívna údržba. Zároveň je nevyhnutné zabrániť koncentrácii prachu (izolantu) v oblasti kolektora. K tomu sa využívajú rôzne mechanické riešenia v podobe kefiiek, ktoré zabráňujú kumulovaniu prachových častíc v oblasti kolektora

²V technologickej praxi často používaný anglický názov *base plate*.

prúdu. Automatizované riešenie nabíjania prináša možnosť strategického rozmiestnenia nabíjacích zón s kontaktnými základnými doskami v blízkosti frekventovaných bodov, čo predstavuje časovú úsporu spojenú s presunom AGV do prípadne vzdialenej nabíjacej zóny.



Obr. 2.5: Automatizovaná technológia nabíjania AGV (vpravo) pomocou kolektora a základovej dosky (vľavo)[24]

Požiadavky na nabíjaciu stanicu závisia od konkrétnych batérií použitých v nasadených AGV. Základnými parametrami sú riadenie automatizovaného procesu nabíjania mikroprocesorom, dostatočné hodnoty nabíjacieho prúdu a vzájomná komunikácia vozidiel s riadiacim systémom AGV v reálnom čase. Pri použití viacerých typov AGV s rôznymi batériami je nevyhnutná možnosť škálovať parametre nabíjania pre konkrétny typ batérie. Čas nabitia batérie na úroveň 90% menovitej kapacity je v závislosti od spôsobu nabíjania štandardne do 120 minút v prípade lítium-iónových akumulátorov a do 570 minút v prípade olovených akumulátorov.

V rámci využitia AGV v Priemysle 4.0 sa javí systém automatizovaného nabíjania ako jediná korešpondujúca varianta. Ovládací systém monitoruje nepretržite stav batérii a môže autonómne rozhodnúť, kedy je vhodný čas na nabíjanie a odstavenie konkrétneho AGV z prevádzky na dobu potrebnú k nabitiu. Najväčšia výhoda tohto riešenia spočíva vo využití vozidiel, ktorých batérie ešte nie sú plne nabité, t.j. v prípade akútnej potreby plného nasadenia všetkých vozidiel z výrobnokapacitných dôvodov³.

2.5 Bezpečnosť AGV

Zariadenia AGV vykonávajúce svoju činnosť vo výrobnom prostredí sa môžu počas svojho pohybu a pri vykonávaní prepravných úloh dostať do styku s ľuďmi alebo inými prekážkami. Preto sa kladie mimoriadne vysoký nárok na bezpečnostné prvky a komponenty, ktoré sú súčasťou konštrukcie vozidiel AGV.

³Napr. *peak hours* (špičkové hodiny) – časový rozsah výroby, kedy dosahuje výrobný proces maximálnych hodnôt svojej celkovej výrobnéj kapacity.

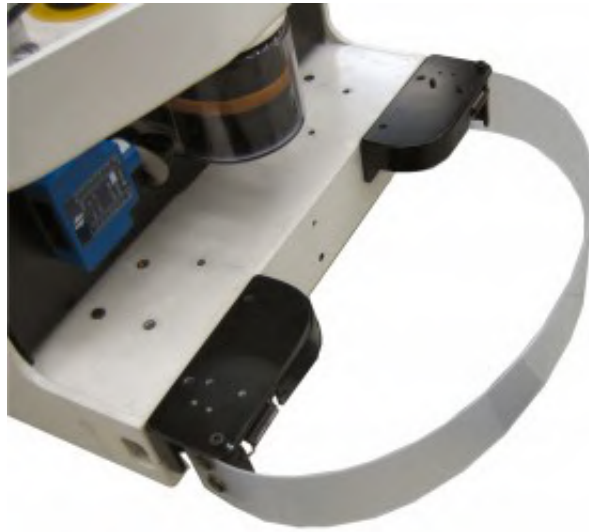
Väčšina AGV je vybavená dvomi stupňami predchádzania kolízii pri strete s iným objektom. Prvým je bezkontaktná detekcia objektu kolidujúca v trajektórii a smere pohybu vozidla AGV. V praxi sa využívajú k tomuto účelu laserové skenery zvyčajne umiestnené na najvyššom bode AGV, tak aby bolo možné nepretržite sledovať okolitý rádius v rozsahu 180°(v smere horizontálneho pohybu AGV) a tým rozpoznať prekážky stojace alebo pohybujúce sa v určitej vzdialenosti od AGV (obr. 2.6). Pri detekcii približujúceho sa objektu (resp. statického objektu a približujúceho sa AGV k objektu) je zmenšujúca vzdialenosť nepretržite monitorovaná a analyzovaná, pričom dochádza k okamžitému spomaleniu vozidla na bezpečnú kinetickú rýchlosť. Vozidlo AGV má vďaka tomu možnosť veľmi efektívne reagovať a včas zastaviť pred samotnou kolíziou. Po odstránení alebo zmiznutí prekážky z trajektórie pokračuje AGV v pohybe pôvodnou prevádzkovou rýchlosťou.



Obr. 2.6: Kolízna zóna sledovaná laserovým skenerom v smere pohybu AGV[25]

Druhým stupňom sú tzv. bezpečnostné nárazníky, ktoré odosielajú signál z kompresných senzorov do riadiacej jednotky AGV okamžite po detekcii kolízie (obr. 2.7). Po prijatí takéhoto signálu riadiaca jednotka okamžite zastaví pohyb AGV a dôjde k núdzovému vyradeniu vozidla z prevádzky, čím sa zamedzí ďalšiemu pohybu AGV. O vzniknutej situácii je automaticky upovedomená okrem riadiacej jednotky aj technická podpora, ktorá je nútená danú situáciu ihneď riešiť na mieste. Vozidlo musí byť po vyhodnotení kolízie manuálne uvedené späť do prevádzky. Tento stupeň ochrany slúži primárne k okamžitej reakcii pri strete s dynamicky sa pohybujúcim objektom (predovšetkým človekom), ktorý pretne trajektóriu AGV vo vyššej rýchlosti a AGV tým pádom nemá dostatočný čas zachytiť a analyzovať prípadnú kolíziu pr-

vstupňovým bezpečnostným prvkom. Vďaka bezpečnostnému nárazníku, ktorým je AGV vybavené, nedochádza k priamemu styku objektu s vozidlom a prípadným zraneniam alebo vzájomným poškodeniam.



Obr. 2.7: Konštrukcia bezpečnostného nárazníka AGV s antikolíznu funkciou[26]

Dodatočnými bezpečnostnými prvkami, ktorými sú štandardne vybavené každé vozidlá AGV sú zvukové a svetelné výstražné znamenia spolu s núdzovým vypínačom umiestneným na konštrukcii každého vozidla. Ako už bolo spomenuté, zásadným bezpečnostným opatrením pri pohybe vozidla AGV je aj zníženie rýchlosti, a to najmä v oblastiach, kde hrozí vyššia miera stretu s ľuďmi alebo inými pohybujúcimi sa objektmi. Takéto oblasti musia byť zohľadnené aj v samotnom návrhu prepravných trás, vďaka čomu vozidlá automaticky spomalia pri prejazde cez inkriminovanú zónu.

Legislatíva Európskej Únie kladie v tomto ohľade prísne nároky na bezpečnosť priemyselných transportných vozidiel AGV, vďaka čomu dochádza k minimálnemu počtu úrazov na pracovisku pri strete s človekom. Riadi sa pritom normou *ISO 3691-4:2020*, ktorú musia výrobné podniky pri zavedení medzioperačnej dopravy pomocou AGV spĺňať.[27]

2.6 Výhody nasadenia AGV

Riešenie medzioperačnej dopravy vo výrobných podnikoch pomocou technológie AGV predstavuje v súčasnosti priemyselný štandard pre plne automatizované a autonómne zásobovanie výrobných liniek materiálom a export hotových výrobkov. Každá výrobná továreň si vyžaduje svoj špecifický návrh riešenia pre čo najvyššiu

optimalizáciu dopravných procesov. Súvisiace výhody a nevýhody implementácie AGV vo výrobných podnikoch sú zhrnuté pomocou SWOT analýzy na obr. 2.8.

Silné stránky	Slabé stránky	Príležitosti	Ohrozenia
<ul style="list-style-type: none"> • autonómna prevádzka bez potreby ovládania človekom • systémová konektivita s výrobnými zariadeniami • nárast productivity • úspora mzdových nákladov • celková optimalizácia medzioperačnej dopravy podľa aktuálnej potreby 	<ul style="list-style-type: none"> • vyššia miera počiatočnej investície • servisné náklady a preventívna údržba • nevyhnutná nepretržitá prítomnosť technickej obsluhy v továrni v prípade kolízie alebo poruchy 	<ul style="list-style-type: none"> • možnosť nepretržitej nonstop prevádzky • nízka nehodovosť a vysoká miera bezpečnosti • zníženie chybovosti 	<ul style="list-style-type: none"> • podmienka kvalitného a stabilného internetového pokrytia • potreba dodržiavania zvýšenej ostražitosti zamestnancov pri pohybe vo výrobnom areále

Obr. 2.8: SWOT analýza nasadenia systému AGV v medzioperačnej výrobe

Konkrétna aplikácia a riešenie medzioperačnej dopravy pomocou AGV si vyžaduje individuálne posúdenie prínosu implementácie a zhodnotenie celkových nákladov spojených s dobou návratu investície, ktorá je kľúčovým rozhodovacím faktorom pre každú spoločnosť. Popri tom je však potrebné dbať aj na bezpečnosť, kvalitu, efektivitu a rýchlosť transportu.

2.7 AGV v Priemysle 4.0

Systém AGV korešponduje s princípmi konceptu Priemyslu 4.0 – vozidlá AGV sú vysoko kompatibilnými dispečerskými systémami, ktoré je možné plynulo prepojiť so systémami ERP, MES a ďalšími systémami k dosiahnutiu systémovej integrity vo výrobnej továrni. Komunikácia systémov prebieha zhromaždením dátových informácií zaslaných systémom vyššej vrstvy, pričom vozidlo AGV následne vykoná po prijatí pokynu manipulačnú úlohu.

Systém AGV je založený na kombinácii automatických prepravných robotov, plánovacieho softvéru, softvéru na správu zdrojov a súvisiacich systémov. Má schopnosti nepretržitého učenia (v závislosti od úrovne zvoleného systému AGV) a optimalizácie výkonu. V praktických aplikáciách má charakter vysokej flexibility a prispôsobivosti. V súčasnosti sa široko využíva v rôznych priemyselných odvetviach na transformáciu starých tovární, ktoré neboli od počiatku navrhnuté v zmysle myšlienky Priemyslu 4.0. V tomto zmysle systém AGV podporuje proces zavedenia automatizácie

medioperačného transportu výrobných podnikov.

Systém AGV v kontexte Priemyslu 4.0 vyžaduje znalosť vlastníctva a výrobného procesu, na základe čoho zabezpečuje riadenie a vykonávanie transportných úloh. Pretože dokovanie systému vozidiel AGV, ladenie trás a kontrola sa vykonávajú lokálne v továrni, podniky, ktoré sa rozhodnú pre riešenie medioperačnej dopravy prostredníctvom systému AGV, si môžu ponechať vlastníctvo kompletného automatizovaného výrobného procesu a cenné znalosti potrebné na správu transportu. To prináša podnikom väčšiu operačnú flexibilitu a mobilitu.[28]

Nasadenie systému transportu pomocou AGV na manipuláciu s materiálom a výrobkami umožňuje výrobným podnikom zvýšiť prevádzkovú efektívnosť a tým zároveň zvýšiť ich produktivitu. Elementárnymi požiadavkami na integráciu vozidiel AGV do každej výrobnéj továrne sú:

- systémová pripravenosť,
- sieťová infraštruktúra,
- priestorové a environmentálne podmienky,
- dostatočná technologická vybavenosť,
- komunikačná kompatibilita s výrobnými zariadeniami,
- splnenie bezpečnostných kritérií.

Je potrebné podotknúť, že každá aplikácia si vyžaduje individuálne posúdenie a návrh pre konkrétnu oblasť nasadenia. V praxi návrh a samotné nasadenie poskytuje dodávateľ systému AGV, ktorý obvykle zabezpečuje aj realizačnú a implementačnú fázu. Často sa teda jedná o komplexné riešenie na mieru s využitím konkrétneho riadiaceho systému AGV a súvisiacich systémov a technológií priamo od dodávateľa vozidiel AGV. Dodávatelia musia byť zároveň schopní integrovať systém AGV to existujúcej systémovej a hardvérovej infraštruktúry výrobného podniku.

3 Analýza súčasného stavu

Cielom tejto kapitoly je preskúmať aktuálny stav úrovne medzioperačnej výroby vo výrobní továrni spoločnosti Hilti a vybranej výrobní linky z cieľom zhodnotenia možnosti spustenia pilotného projektu automatizácie zásobovania a prepravnej obsluhy výrobných strojov a zariadení. Tieto procesy sú v súčasnosti vykonávané manuálne s využitím ľudských zdrojov, s čím sú spojené vysoké mzdové náklady a vyššie riziko chybovosti či úrazov na pracovisku.

Firma Hilti ako líder v oblasti poskytovania produktov pre stavebný priemysel si uvedomuje potrebu adaptácie svojich výrobných jednotiek v zmysle konceptu Priemyslu 4.0, aby bola schopná efektívne a flexibilne reflektovať potreby jednotlivých trhov a svojich zákazníkov po celom svete. Zároveň, čoraz častejšie vyvstáva potreba prispôbiť sa priemyselným štandardom a trendom vo výrobnom priemysle, čo má v konečnom dôsledku za následok zvýšenie produktivity, pružnú reakciu na požiadavky zákazníkov, zabezpečenie stabilnej dodávky produktov a získanie konkurenčnú výhodu.

Spoločnosť Hilti vychádza zo svojej dlhodobej vízie, ktorá spočíva v automatizácii všetkých materiálových tokov, ako aj procesov skladovania a vyskladňovania svojich výrobných závodov. Zámerom automatizácie transportu je dosiahnuť dlhodobé zníženie mzdových nákladov a závislosti na dostupnosti zamestnancov. Z tohto dôvodu je úlohou diplomovej práce analyzovať, do akej miery je možné implementovať automatizáciu pomocou automatizovaných dopravných systémov bez vodiča v existujúcej infraštruktúre, navrhnúť konkrétne riešenie a zhromaždiť príslušné informácie na účely vypracovania špecifikácie pre dodávateľa navrhnutého systému. Súčasťou analýzy je preskúmať, či je možné navrhnuté riešenie integrovať do súčasného stavu výrobného procesu. Pri skúmaní existujúceho stavu a následného návrhu je potrebné zamerať sa na aktuálnu technologickú pripravenosť a možnosť vzájomnej systémovej konektivity s existujúcimi podnikovými systémami ako ERP a MES.

3.1 Profil spoločnosti Hilti

Spoločnosť Hilti je globálnym lídrom v oblasti poskytovania hardvérových a softvérových produktov, riešení a služieb pre stavebný priemysel. Spoločnosť sa delí na 4 cieľové oblasti podnikania podľa charakteru koncového riešenia pre zákazníkov – elektrické náradie, upevňovacie a montážne systémy, softvér a zákaznícky servis. Približne 6% ročného obratu sa investuje do výskumu a vývoja, aby sa dosiahlo stabilné rozvíjanie inovácií. Ročne sa tak na trh dostane okolo 60 nových produktov. Spoločnosť Hilti je známa tým, že rozvíja jedinečnú firemnú kultúru, ktorá vedie k

vysokej úrovni spokojnosti zamestnancov.

[29]

Názov spoločnosti	Hilti Corporation
Právna forma	Akciová spoločnosť ¹
Rok založenia	1941
Sídlo	Feldkircherstrasse 100 9494 Schaan, Lichtenštajnsko
Počet zamestnancov	30 000 vo viac ako 120 krajinách
Počet výrobných závodov	11 po celom svete
Ročný obrat (za rok 2019)	5,9 miliárd CHF

Tab. 3.1: Základné údaje o spoločnosti Hilti



Obr. 3.1: Oficiálne logo spoločnosti Hilti Corporation

Táto diplomová práca sa bude zaoberať konkrétnym výrobným závodom, ktorý sa nachádza v tesnej blízkosti globálneho sídla v alpskej obci Schaan v Lichtenštajnsku (obr. 3.2). Jeho interné označenie je **Plant 1**, skrátene **P1**. Je to historicky prvá veľkovýrobná továreň spoločnosti Hilti s tradíciou 75 rokov výroby, s rozlohou 16 000 m² a s aktuálnym počtom zamestnancov viac ako 300.



Obr. 3.2: Snímka výrobného závodu P1 spoločnosti Hilti v Lichtenštajnsku

3.2 Výrobná továreň P1

Továreň P1 sa v súčasnosti orientuje na výrobu spojovacej stavebnej techniky. Konkrétne sa jedná o dve hlavné produktové rady (obr. 3.3.):

1. mechanické kotvy – určené pre montáž kovových konštrukcií do betónu,
2. priame upevňovacie prvky – používané pre montáž plastových a drevených elementov.

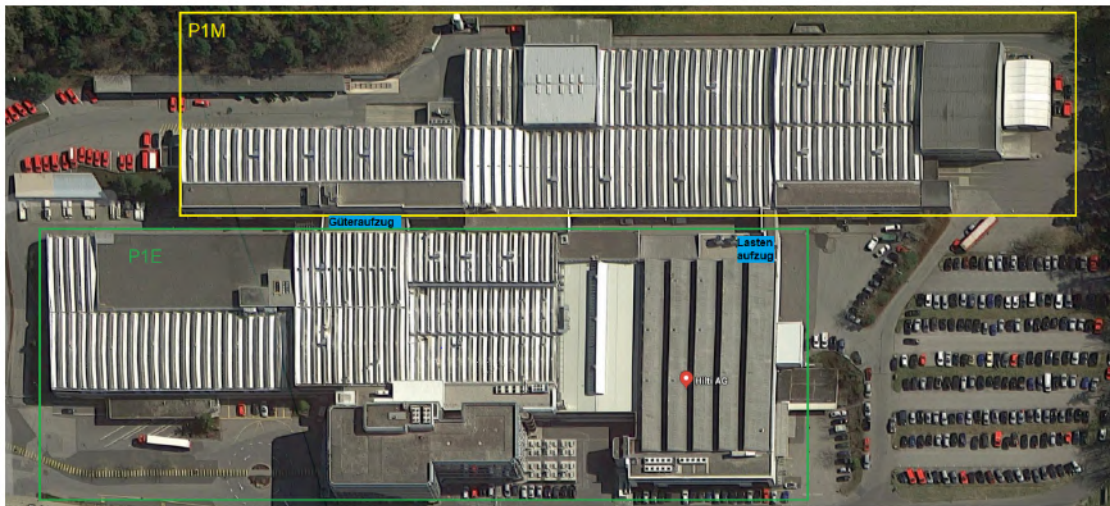


Obr. 3.3: Produkty vyrábané v továrni P1 spoločnosti Hilti (vľavo kotevné prvky, vpravo upevňovacie prvky pre priamu montáž) spolu s priemerným množstvom vyrobených kusov za rok

Finálne produkty sú následne distribuované na lokálne trhy po celom svete. Továreň P1 je zároveň jediný závod v rámci spoločnosti Hilti, kde sa tieto produkty vyrábajú. Počtom vyrobených kusov ročne predstavujú tieto produkty pre Hilti dôležitý obchodný artikel.

Z dôvodu produkcie 2 rozdielnych produktových línií je aj samotná organizácia výrobného procesu rozdelená do dvoch oddelených oblastí – **P1M** a **P1E** (obr. 3.4). P1M je zameraná na produkciu kotiev a P1E sa špecifikuje na upevňovacie prvky. Niektoré výrobné procesy sú podobné v oboch výrobných halách, avšak nedochádza ku kombinácii výroby medzi P1M a P1E a produktové rady sú tak produkované oddelene. Jednotlivé výrobné postupy v týchto produkčných oblastiach továrne P1 sú uvedené v tab. 3.2.

Preprava materiálu potrebného na výrobu finálnych produktov, jednotlivé čiastkové transporty počas celého výrobného cyklu a zber hotových produktov sú v súčasnosti v celej výrobnej továrni P1 obsluhované operátormi výroby s pomocou paletových vozíkov alebo riadených vysokozdvižných vozíkov v závislosti od konkrétnej výrobnéj linky. Povel k preprave dostávajú pomocou obslužných počítačov



Obr. 3.4: Pohľad na výrobu tovární P1 z vtáčej perspektívy a geografické rozdelenie na výrobné oblasti P1M a P1E

P1M	P1E
tvárnenie za studena	tvárnenie za studena
lisovanie a ohýbanie	termoplastické vytlačanie
indukčné kalenie	valcovanie špičiek
finalizácia produktov	tepelné spracovanie a pokovovanie
	finalizácia produktov

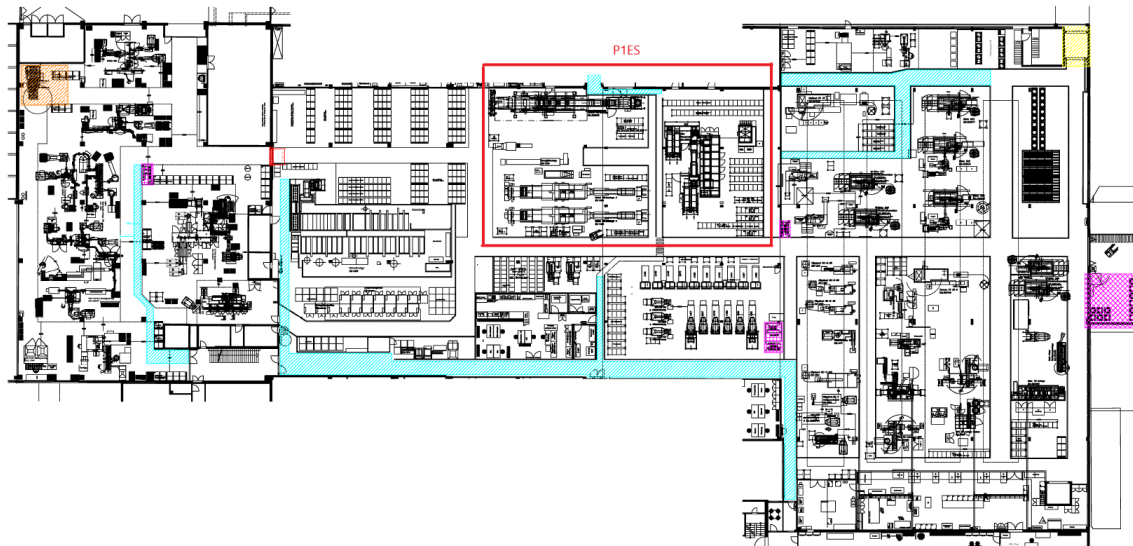
Tab. 3.2: Výrobné postupy v továrni P1

rozmiestnených po celej výrobnej hale v blízkosti výrobných liniek a pracovísk. Pomocou nich komunikujú so systémom riadenia podniku, ktorý zadáva prepravné objednávky. Následne, po uskutočnení a dokončení prepravy, operátor zadáva potvrdenie o splnení znovu do obslužného počítača. Jedná sa teda o spoluprácu a komunikáciu medzi človekom a obsluhovanými strojmi, pod kontrolou jedného centrálného systému. Z tohto opisu je zrejmé, že pripravenosť výrobnej továrne na prechod v zmysle Priemyslu 4.0 nie je na vysokej úrovni. Preto sa diplomová práca bude v ďalších častiach podrobnejšie venovať komplexnému návrhu medzioperačnej dopravy, tak aby zohľadnila súčasnú technologickú úroveň v P1.

3.2.1 Linka P1ES

Návrh automatizácie medzioperačnej dopravy v továrni P1 predstavuje pre tento výrobný závod pilotný projekt v oblasti plne automatizovaného transportu a preto

sa spoločnosť Hilti rozhodla v prvej fáze analyzovať možnosť implementácie najprv na konkrétnej zabehnutej výrobní linke – P1ES. Tá sa nachádza uprostred haly P1E (obr. 3.5) a z pohľadu infraštruktúralnej pripravenosti a tokov materiálov predstavuje najideálnejšiu výrobnú lokalitu pre implementáciu novej transportnej technológie.

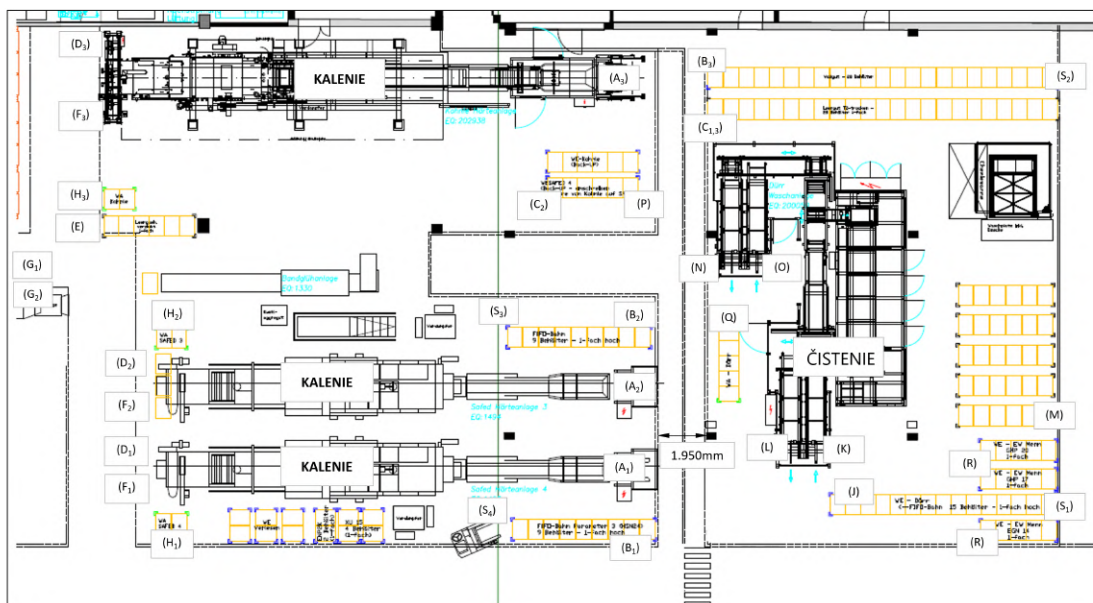


Obr. 3.5: Pôdorys výroby haly P1E, červenou farbou je vyznačená linka P1ES

V budúcnosti, po analýze a vyhodnotení pilotného projektu je snaha o postupné pripojenie celej výrobní oblasti P1E, k tomu budú však najprv potrebné stavebné a infraštruktúralne zmeny na zvyšných linkách a výmena niektorých zastaralých výrobných zariadení. Obdobná situácia je aj v oblasti P1M.

Linka P1ES bola vyhodnotená v súčasnosti ako najpripravenější výrobná jednotka z hľadiska možnosti konektivity výrobných zariadení s prepravným systémom a inými nadradenými systémami, zariadeniami a technológiami. Zároveň poskytuje dostatok manévrovacího priestoru pre transportné zariadenia, je dostatočne inžiniersky a technologicky vybavená. Pozostáva zo 4 výrobných strojov a viacerých transportných bodov (obr. 3.6).

Súčasťou linky sú okrem výrobných strojov aj rampy a valcové dopravníky, ktoré slúžia pre odkladanie transportných kontajnerov (fotografie sú súčasťou prílohy diplomovej práce). Každý jeden transportný bod má svoje špecifické označenie písmenom abecedy (prípadne aj numerické označenie v prípade ak sa nachádza zároveň na viacerých miestach linky). Materiálové toky medzi nimi budú prejednané v nasledujúcich častiach diplomovej práce.



Obr. 3.6: Linka P1ES s označením jednotlivých transportných bodov

3.3 Výrobný proces

Výrobný proces produkcie priamych upevňovacích prvkov prebieha naprieč celým spektrom výrobných liniek vo výrobnej časti P1E, pričom každá linka obstaráva inú časť celkového výrobného procesu. Produkty vyrábané v časti P1E výrobnej továrne P1 musia prejsť postupne všetkými výrobnými fázami. Vo výrobnej linke P1ES prebieha proces čistenia a kalenia (obr. 3.7). Nachádzajú sa tu preto 4 výrobné stroje reprezentované 3 tepelnými pecami pre proces kalenia:

- 2 × Safed,
- 1 × Kohnle,

a 1 systémom ostrekovania a odhrotovania kovových komponentov (Dürr).



Obr. 3.7: Časť výrobného procesu vo výrobnej hale P1E s označením konkrétnych výrobných krokov obstarávaných linkou P1ES

Najprv dochádza k prvotnému procesu rezania hrubého materiálu vo východnej

časti haly P1E, z kade sú menšie časti materiálu následne dopravené do P1ES. Po tom, ako boli kovové komponenty potrebné pre výrobu finálnych produktov očistené, putujú opäť do inej výrobnjej linky v hale P1E kde dochádza k procesu tvárnenia. Následne sú vytvárané odliatky dopravené naspäť do P1ES, kde sú tepelne spracované pre dosiahnutie potrebnej pevnosti a tvrdosti.

Po skončení procesu tepelného spracovania sú produkty ďalej postúpené do ďalšej výrobnjej linky, kde dochádza k povrchovej (galvanickej) úprave produktov. Následne sa hotové produkty zhromažďujú v exportnej časti výrobnjej továrne P1, odkiaľ putujú do logistického centra v obci Nendeln v Lichtenštajnsku.

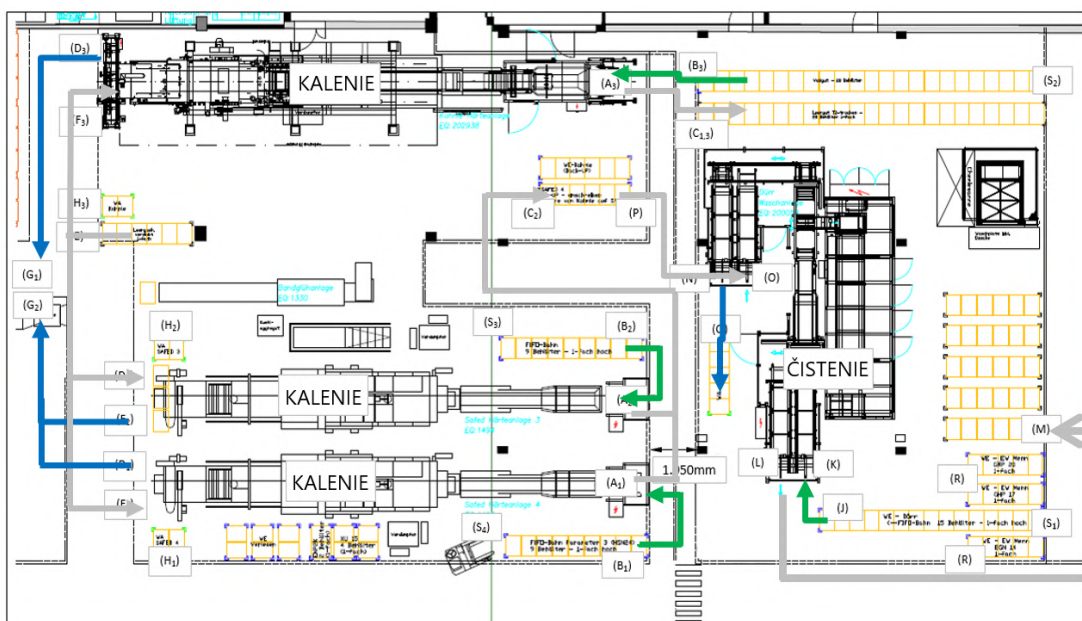
3.4 Tok materiálu a produktov

Medzioperačná doprava vo výrobnjej linke P1ES sa tak ako v iných linkách továrne P1 v súčasnosti vykonáva manuálne operátormi výroby a cieľom tejto diplomovej práce je navrhnúť jej plnú automatizáciu a vzájomnú konektivitu s výrobnými strojmi nasledujúc princíp Priemyslu 4.0. V rámci transportu a zásobovaniu tu prebiehajú 3 hlavné prepravné úlohy:

1. dodávka a vyprázdnenie plných kontajnerov štyroch výrobných pracovísk (3 × kalenie a 1 × čistenie),
2. dodávka a vyprázdnenie prázdnych kontajnerov štyroch výrobných pracovísk (3 × kalenie a 1 × čistenie),
3. transport plných kontajnerov na galvanizáciu (vyloženie na valčekový dopravník v inej výrobnjej linke).

Pre lepšiu ilustráciu sú transportné toky vo výrobnjej linke P1ES zobrazené pomocou diagramu na obr. 3.8. Zelené čiary zobrazujú vstup materiálu prichádzajúceho z iných výrobných liniek, sivé medzioperačnú dopravu počas výrobného procesu vo výrobnjej linke P1ES a modré výstup z výrobných strojov a predanie do ďalšej výrobnjej linky v rámci celkového výrobného procesu.

V nadväznosti na zobrazený tok materiálu je možné zaradiť prepravované produkty do kontajnerových okruhov. V každom okruhu sa vyskytuje konkrétny jeden typ prepravného kontajneru, aby nedošlo ku kontaminácii produktov pri čiastkových výrobných procesoch. Medzioperačnú dopravu na linke P1ES tvoria 4 okruhy uvedené v tab. 3.3.



Obr. 3.8: Diagram znázorňujúci transport medzi prepravnými bodmi v P1ES

Číslo okruhu	Začiatok okruhu	Medzizastávky	Koniec okruhu
1	E	D _{1,2,3} , F _{1,2,3} , H _{1,2,3}	G _{1,2}
2	B _{1,2}	A _{1,2} , C ₂ , P, O, N	Q/R
3	S ₁	J, K, L	M
4	S ₂	B ₃ , A ₃	C _{1,3}

Tab. 3.3: Kontajnerové okruhy v P1ES

Cieľom tejto časti diplomovej práce je okrem vizualizácie a dokumentácie toku materiálu medzi transportnými bodmi aj určenie intenzity toku transportu medzi nimi. Toto zistenie je možné použiť na určenie frekvencie transportov medzi transportnými bodmi, čo bude ďalej využité pre výpočet kapacitného plánovania navrhnutého automatizačného konceptu. Analýza intenzity transportu vychádza z interných dokumentov továrne P1. Je určená na základe 20 pracovných dní (priemerný počet pracovných dní v Lichtenštajnsku), fixných prepravných trasách a času potrebného na prepravu medzi transportnými bodmi podľa aktuálne využívaného spôsobu medzioperačnej dopravy. Výsledky sú zdokumentované vo vytvorenej prepravnej matici (obr. 3.9), ktorá je aj súčasťou prílohy práce.

Matica zobrazuje okrem intenzity toku materiálu aj smer transportu od zdroja (miesto nákladu) k cieľu (miesto výkladu), teda napr. presun prázdnych kontajnerov z valcového dopravníka na nakladaciu rampu tepelnej pece. Uľahčuje tak orientáciu

Prepravná matica všetkých transportov v P1ES																					
P1ES	Cieľ																				
	D ₁	D ₂	D ₃	H1	H2	H3	A1	A2	A3	C1,3	C2	C3	G1,2	G1,2	G1,2	K	M	O	Q/R		
Zdroj	E	344																			
	E		344																		
	E			344																	
	F1				320																
	F2					280															
	F3						340														
	B1							344													
	B2								344												
	B3									344											
	A1										344										
	A2											344									
	A3												344								
	H1													344							
	H2														344						
H3															344						
J																	604				
L																		604			
P																			604		
N																				604	

Obr. 3.9: Transportná matica zobrazujúca počet transportov medzi prepravnými bodmi v P1ES za mesiac

v medzioperačnej doprave vo výrobnjej linke P1ES.

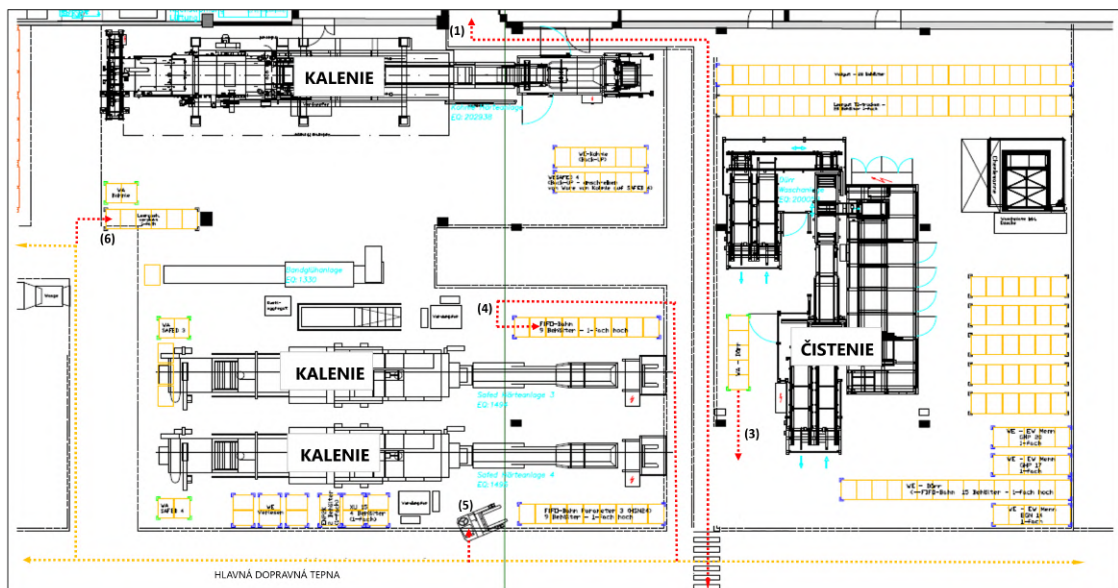
3.5 Transport a zásobovanie

V súčasnosti zabezpečuje medzioperačnú dopravu výrobnjej linky P1ES ručne ťahaný paletový vozík ovládaný operátorom výroby, ktorý nakladá a vykladá transportné kontajnery na rampy výrobných strojov a valcové dopravníky (obr. 3.10). Prepravné príkazy (výrobné objednávky a požiadavky) sleduje operátor na obslužnom počítači, ktorý komunikuje s výrobnými strojmi a hierarchicky nadradenými systémami.



Obr. 3.10: Ručný paletový vozík pre presun transportných kontajnerov

Okrem toho dochádza k zásobovaniu výrobnjej linky P1ES vysokozdvížným vozíkom na elektrický pohon, ktorý dopravuje materiál po procese tvárnenia z iných výrobných liniek do P1ES. Konkrétne sa jedná o dodávku materiálu na valcové dopravníky E , S_1 , S_2 , S_3 a S_4 . Tieto transporty sú zobrazené na obr. 3.11 a predstavujú finálne transportné body pre výrobnú linku zodpovednú za proces tvárnenia. Za tieto transporty teda nezodpovedá priamo výrobná linka P1ES a nespadajú do kompetencie jej prepravných úloh. Žltá farba na obrázku označuje globálne prepravné zóny v rámci celej výrobnjej haly P1E, červená označuje transporty prichádzajúce z iných výrobných liniek, ktoré zásobujú P1ES.




Obr. 3.11: Transporty prichádzajúce z iných výrobných liniek do P1ES

3.5.1 Prepravné kontajnery

Materiál pre spracovanie komponentov a samotné finálne produkty sa prepravujú ako hromadný náklad počas celého výrobného procesu vo výrobnjej haly P1E v prepravných kontajneroch. Prepravné kontajnery sú ocelové nádoby, ktoré majú na spodnej strane svojej konštrukcie nosiče pre vidlicové nakladanie na prepravný vozík. V prípade potreby je možné ukladať jeden na druhý. Prepravné kontajnery disponujú vlastnosťami a parametrami uvedenými v tab. 3.4.

Presný tvar a rozmery prepravného kontajnera zobrazuje technický náčrt v prílohe A tejto diplomovej práce. Otvory na nosičoch kontajnera nesmú byť zakryté fóliou alebo inou prekážkou. Existujú 4 druhy kontajnerov podľa transportovaného nákladu a oblastí, v ktorých sa používajú:

Charakteristika	Hodnota
Tvar	
Rozmery (v × š × h)	596 mm × 785 mm × 500mm
Maximálne zaťaženie	500 kg
Spôsob transportu	Vidlicovým transportným zariadením
Ťažisko bremena	Na stred
Hmotnosť bez bremena	50 kg
Maximálna teplota obsahu	80°C

Tab. 3.4: Parametre kontajnera používaného pre hromadný transport v továrni P1

1. „Olejové kontajnery“, ktoré sa používajú medzi linkou tvárnenia a P1ES. Tieto nádoby sú pokryté ochranným náterom a majú mierne zvyšky chladiacej kvapaliny alebo mazív.
2. Kontajnery s označením „TZ“, ktoré sa používajú medzi procesmi tepelného tvárnenia a kalenia. Tieto nádoby sú tiež natreté a zvyčajne neobsahujú zvyšky chladiacej kvapaliny ani mazív.
3. „Suché“ kontajnery, ktoré sa používajú medzi procesmi čistenia a tepelného kalenia.
4. „Čisté“ kontajnery, ktoré sa používajú medzi kaliarňou a galvanizáciou a majú pozinkovaný povrch.

Pre potreby návrhu automatizácie medzioperačnej dopravy tieto rozdiely v druhoch kontajneroch nezohrávajú úlohu, pretože navrhnutý systém musí byť schopný pracovať so všetkými kontajnermi bez ohľadu na povrch alebo čistotu kontajnera. Musí byť však schopný jednoznačne rozoznať konkrétne druhy kontajnerov podľa ich určenia, čo bude zohľadnené v návrhu medzioperačnej dopravy v ďalšej časti práce.

3.5.2 Environmentálne podmienky

Transport materiálu a produktov je prevádzkovaný vo vnútornom prostredí výrobnjej haly s environmentálnymi špecifikáciami uvedenými v tab. 3.5.

Environmentálny parameter	Hodnota
Teplota	od +10°C do +35°C
Vlhkosť (bez kondenzácie)	od 30% do 95%
Norma priemyselného prostredia (z hľadiska nečistôt, prachu, korózie a rizika výbuchu)	EN60204

Tab. 3.5: Environmentálne podmienky v P1E

Továreň P1 je plne zastrešená a v dôsledku použitia množstva výrobných strojov je v nej zvýšená hladina hluku. Navrhnutú technológiu medzioperačnej dopravy nesmú uvedené parametre limitovať.

3.5.3 Miera využitia transportu

Výroba v továrni P1 prebieha v trojsmennej prevádzke počas pracovných dní (okrem sviatkov a dní pracovného pokoja). Cez víkendy prebieha nepravidelná údržba strojov, zariadení a prípade súvisiacich systémov. Počas výrobnjej aktivity strojov a zariadení v továrni musia byť prítomní operátori výroby, aby bola zabezpečená preprava materiálov a produktov medzi výrobnými linkami a tým pádom celý výrobný proces. Sumarizácia výrobnjej a transportnej prevádzky je uvedená v tab. 3.6.

Prevádzková doba	Hodnota
Za deň	24 hodín (3 smeny)
Za týždeň	5 dní
Za rok	52 týždňov

Tab. 3.6: Prehľad výrobnjej a transportnej prevádzkovej doby v P1E

Medzioperačná výroba vo výrobnjej linke P1ES prebieha bez pevne stanoveného harmonogramu. Ako už bolo spomenuté, pokyn pre začatie transportu zadáva operatérovi výroby nadradený ERP/MES systém, ktorý obstaráva výrobné a prepravné objednávky. Operátor po vykonaní požiadavky zadá pomocou obslužného počítača potvrdenie o vykonaní prepravy a postupne odbavuje ďalšie požiadavky. Jednotlivé objednávky prioritizuje ERP/MES a operátor iba vykonáva príkazy podľa stanoveného poradia.

3.6 ERP/MES systém

V súčasnosti sa ako celopodnikový informačný systém pre riadenie výrobného a logistického procesu vo všetkých výrobných továrňach spoločnosti Hilti využíva produkt od spoločnosti SAP, ktorý pokrýva funkcie systémových nástrojov ERP a MES. Jedná sa o komplexné riešenie, ktoré je plne implementované naprieč celokorporátnou úrovňou a musí ostať zachovaný, pretože umožňuje komunikáciu naprieč výrobnými továrňami a obchodnými oddeleniami v rôznych lokalitách na svete. Pri procese návrhu automatizovanej medzioperačnej dopravy je preto potrebné zohľadniť možnosť prepojenia SAP s nižšími vrstvami systémovej architektúry od iných poskytovateľov.

SAP zodpovedá v rámci medzioperačnej dopravy za vytváranie transportných požiadaviek (resp. objednávok) s nasledujúcimi údajmi:

- miesto vyzdvihnutia (zdroj),
- miesto vyloženie (cieľ),
- číslo objednávky.

Objednávky vznikajú na základe výrobných príkazov a v súčasnosti sú distribuované priamo do obslužných počítačov umiestnených vo výrobných linkách. Operátori výroby následne plnia objednávky a potvrdzujú splnenie úkonov po ich vykonaní.

Po preskúmaní možností systémovej integrácie existujúceho ERP/MES produktu SAP s nižšími úrovňami automatizačnej pyramídy (podkapitola 1.8) je zrejmé, že je možná vzájomná integrita s riadiacimi prvkami iných systémov, ktoré sa zúčastňujú výrobného a transportného procesu vo výrobnom podniku. Od týchto systémov sa však vyžaduje akceptovanie nadradenosti vrstvy ERP/MES, tak aby bol zachovaný model distribuovaného riadenia automatizácie v zmysle konceptu Priemyslu 4.0. V takom prípade bude SAP naďalej reprezentovať podnikovú úroveň a odosielať príkazy a požiadavky podradeným systémom, zariadeniam, strojom a prvkom a na druhej strane prijímať od nich odozvu o splnení požiadaviek.

3.7 Výsledok analýzy

Táto kapitola mala za cieľ zosumarizovať aktuálny stav transportu materiálu a produktov vo výrobnej továrni P1 spoločnosti Hilti a zvoliť jednu konkrétnu výrobnú linku, ktorá bude vhodná po infraštruktúrálnej aj technologickej stránke pre pilotný návrh medzioperačnej dopravy prostredníctvom automatizovanej technológie transportu.

Pre lepšie pochopenie toku materiálov a produktov naprieč výrobnými zariadeniami bolo potrebné popísať výrobný proces, ktorý vybraná linka P1ES obstaráva. Pre transport a zásobovanie v časti P1E výrobnéj továrne P1 sa využívajú výhradne

prepravné kontajnery, ktorých špecifické parametre musia byť zohľadnené v ďalšom návrhu medzioperačnej dopravy, tak aby bola zachovaná kontinuita prepravy medzi všetkými výrobnými linkami bez ohľadu na použitú technológiu transportu. Z pozorovania intenzity prepravy na linke P1ES bola vytvorená transportná matica, ktorá zaznamenáva počet prepravených kontajnerov medzi jednotlivými transportnými bodmi. Práve táto matica bude dôležitá pre výpočet prepravnej kapacity s použitím automatizovanej technológie transportu.

Technológia a systém medzioperačnej dopravy zvolený v návrhovej časti práce musí byť schopný rešpektovať vzájomnú prepojenosť výrobného procesu medzi jednotlivými linkami. S tým súvisí aj transport kontajnerov, ktoré sú privázané z iných liniek pomocou vysokozdvížných vozidiel a dochádza k interferencii prepravných trás. Je preto veľmi dôležité zohľadniť bezpečnosť a pravidlá pri zásobovaní a preprave kontajnerov v oblasti výrobnéj linky P1ES.

Nevyhnutnou podmienkou pri zavádzaní novej technológie prepravy kontajnerov je aj systémová kompatibilita a vzájomná prepojitelnosť existujúcich a navrhovaných systémov, ktoré riadia celý výrobný a prepravný proces v továrni P1. Bez ohľadu na navrhnuté nové riešenie medzioperačnej výroby vo výrobnéj linke P1ES, musí byť zachovaný súčasný systém riadenia podniku ERP/MES tak, aby mohol celkový výrobný proces v P1 prebiehať bez akýchkoľvek obmedzení.

Na základe analýzy súčasného stavu medzioperačnej dopravy vo výrobnéj továrni P1 a snahy spoločnosti Hilti o transformáciu svojich výrobných závodov je v prvotnej fáze potrebné vytvoriť ucelený návrh pilotného projektu, ktorý ma cieľ zaviesť automatizované zásobovanie a obsluhu výrobnéj linky P1ES. Práve tento návrh bude obsiahnutý v nasledujúcich častiach diplomovej práce s cieľom iniciovať postupnú transformáciu celej výrobnéj továrne P1 v budúcnosti a preto je potrebné dbať na komplexné riešenia, ktoré budu aplikovateľné v budúcnosti aj v iných výrobných linkách.

Prvým krokom, ktorý z analýzy v tejto kapitole vyplýva, je nevyhnutnosť návrhu ideálneho technologického a systémového riešenia automatizovanej medzioperačnej dopravy v P1ES, tak aby mohlo dôjsť k úplnej transformácii z manuálneho transportu. Z tohto pohľadu je potrebné pri návrhu hľadiť na vzájomné prepojenie jednotlivých strojov, zariadení, technológii a systémov s cieľom nasledovať koncept Priemyslu 4.0.

Aby bolo vedenie spoločnosti Hilti ochotné spustiť koncept automatizovanej medzioperačnej dopravy na konkrétnej výrobnéj linke a v budúcnosti naprieč všetkými výrobnými linkami, musí sa z hľadiska úspory mzdových a operačných nákladov dosiahnuť amortizačné obdobie kratšie ako päť rokov.

4 Návrh automatizovaného transportu systémom AGV

Po vykonaní analýzy súčasného stavu medzioperačnej dopravy vo výrobnjej linke P1ES je cieľom diplomovej práce vytvoriť komplexný návrh povýšenia manuálne vykonávaného zásobovania a obsluhy výrobných strojov operátormi výroby za automatizovaný dopravný systém bez vodiča. Zámerom je teda priniesť ucelený koncept zefektívnenia intralogistického procesu a tým priamoúmerne optimalizovať náklady spojené s medzioperačnou dopravou.

Vzhľadom na infraštruktúrne podmienky je potrebné zapracovať riešenie s automatizovanými vysokozdvížnými vozíkmi, ktoré sú schopné naložiť a vyložiť prepravované transportné kontajnery do a z určitej výšky. V kontexte Priemyslu 4.0 musia byť tieto vozidlá obsluhované bez vodiča, a teda pohybovať sa v priestore autonómne bez ovládania a nevyhnutného zásahu človeka. V rámci tohto projektu boli zvolené za vhodnú alternatívu automatizovaného transportu a obsluhy výrobných liniek zariadenia AGV, ktoré zároveň predstavujú súčasný priemyselný štandard v oblasti medzioperačnej dopravy. Pri vhodnej konfigurácii spĺňajú potrebné parametre pre autonómnu a automatizovanú obsluhu medzioperačnej dopravy v P1ES, prípade v budúcnosti aj iných liniek v továrni P1.

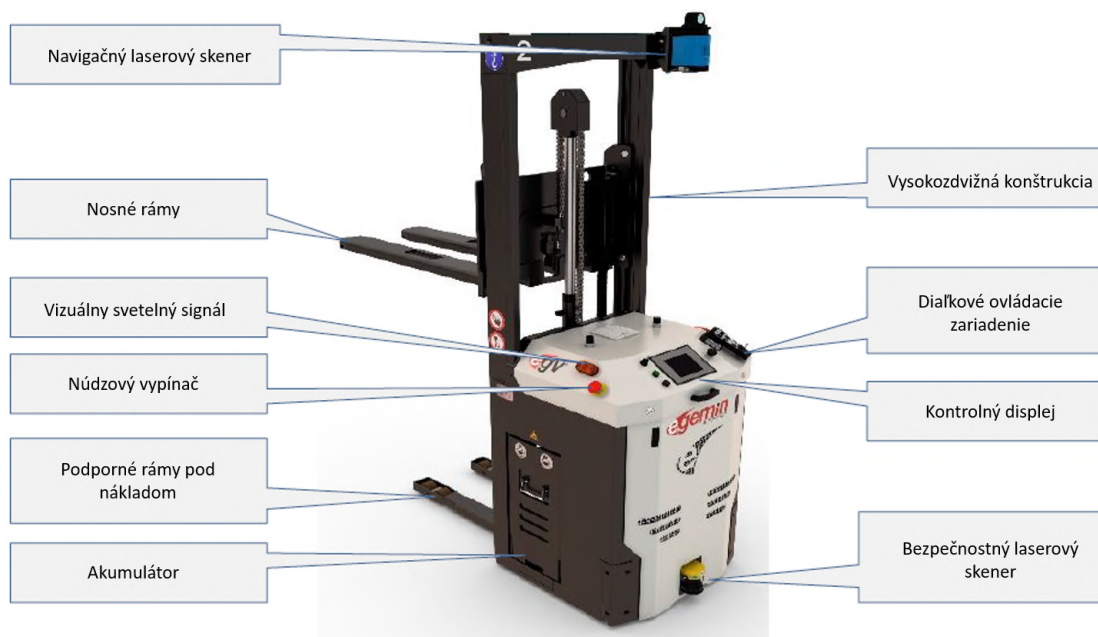
Implementácia systému AGV vyžaduje okrem zohľadnenia hardvérových a mechanických aspektov aj integráciu riadiaceho systému AGV cez rozhrania v existujúcom softvérovom prostredí a vzájomnú interakciu zúčastnených systémov a zariadení. Spôsob implementácie má zásadný vplyv na tok informácií a spôsob, akým sa vytvárajú požiadavky na prepravu. Napríklad objednávky na prepravu prostredníctvom AGV je možné vo všeobecnosti vytvárať a spúšťať manuálne prostredníctvom rozhrania človek – stroj alebo prostredníctvom systému ERP. Pre AGV je irelevantné, ako sa spustí príkaz na prepravu, pretože na vykonanie prepravnej objednávky potrebuje iba informácie o zdroji a celi transportu. Ako však už bolo spomenuté, dlhodobým cieľom a víziou spoločnosti Hilti je povýšenie na pružnú automatizovanú výrobu v zmysle konceptu Priemyslu 4.0 a z tohto dôvodu je potrebné vzájomné prepojenie jednotlivých systémov, zariadení a AGV tak, aby boli objednávky pre medzioperačnú dopravu riadené výhradne systémom ERP/MES. Z uvedeného dôvodu bude súčasťou nasledujúcich častí diplomovej práce aj návrh systémovej a sieťovej infraštruktúry.

Podstatou návrhu je v zásade zostaviť optimálny systém AGV pre dané materiálové toky a rámcové podmienky, aby bolo možné všetky dopravné úlohy plniť pomocou vhodne dimenzovaného systému AGV. Cieľom tejto kapitoly je definovať zásady, ktoré je potrebné zohľadniť pri integrácii AGV z pohľadu vízie inteligentnej

továrne založenej na princípoch Priemyslu 4.0. Pre potreby návrhu je dôležité určiť, aký počet vozidiel bude spoločnosť Hilti pre svoj pilotný projekt potrebovať. Za týmto účelom bude vytvorená kalkulácia kapacity transportu, ktorá bude vychádzať z informácií od dodávateľa a vytvorenej transportnej matice zobrazujúcej intenzitu prepravy medzi jednotlivými transportnými bodmi. Pre zavedenie automatizovanej medzioperačnej dopravy je potrebné prihliadať aj na bezpečnostné aspekty pri pohybe vozidiel a vytvorenie prepravných pravidiel.

4.1 Výber vozidla AGV

Pri výbere vhodnej kategórie vozidla AGV vo výrobnom areáli P1E je dôležité zohľadniť spôsob manipulácie s prepravnými kontajnermi. Tie je potrebné pri nakladaní a vykladaní zdvihnúť vo vertikálnom smere, obdobne ako pri využití ručného paletového vozíka (kontajnery sa ukladajú na valcové dopravníky, zároveň výrobné zariadenia vyžadujú nakladanie a vykladanie kontajnerov v určitej výške od podlahy). Na manipuláciu s transportným kontajnerom je preto potrebná verzia vysokozdvížneho vozidla AGV s nakladacími vidlicami. Pri výbere dodávateľa vozidiel AGV padla voľba na spoločnosť Dematic, ktorá už realizovala automatizáciu medzioperačnej dopravy pre Hilti vo výrobnej továrni P9 v Nemecku v minulosti.



Obr. 4.1: Model vysokozdvížneho AGV – FLV 2021/NL od spoločnosti Dematic

Pre potreby medzioperačnej dopravy vo výrobnej linke P1ES bol po konzultácii so spoločnosťou Dematic zvolený model **FLV 2021/NL** (obr. 4.1). Jedná sa o typ

vysokozdvížneho vozíka s kolesovými rámami podsúvateľnými pod náklad, ktorý spĺňa požiadavky na prepravu prepravných kontajnerov využívaných vo všetkých výrobných linkách haly P1E.

Údaje o vozidle	Popis
Typ	FLV 2012/NL
Manipulácia s bremenom	Vidlica
Výška zdvihu	2000 mm
Nosnosť	500 kg
Typ navigácie	Pomocou pevne zabudovaných reflektorov
Maximálna rýchlosť jazdy	2,22 m/s
Priemerná rýchlosť jazdy	1,36 m/s
Typ batérie	Olovená batéria
Kapacita batérie	150A/h
Teoretická výdrž batérie	5 až 12 hodín (podľa zaťaženia)
Približná doba nabíjania (z 20% na 90% kapacity akumulátora)	6 hodín
Počet nabíjacích cyklov	približne 1200
Systém nabíjania batérie	Systém manuálnej výmeny batérie Automatický systém nabíjania batérie
Bezpečnostné prvky	Bezpečnostný laserový skener Núdzový vypínač Zvukový výstražný signál Vizuálny výstražný signál
Materiál kolies	Polyuretán
Farba karosérie	RAL 7021 (čierna)
Ručné ovládanie	Áno (manuálny ovládač)
Kontrola vozidla	Priemyselný počítač s navigačným softvérom

Tab. 4.1: Technické údaje zvoleného modelu AGV – FLV 2021/NL

Ná základe uvedených spôsobov navádzania priemyselných vozidiel AGV uvedených v podkapitole 2.1 a s prihliadnutím na požiadavku povýšenia medzioperačnej dopravy na úroveň Priemyslu 4.0 sa v tomto ohľade zvolil spôsob navigácie vozidiel AGV pomocou technológie SLAM, ktorej princíp umožňuje autonómny pohyb vozidiel v priestore pomocou tvorbou aktuálnych máp svojho okolia. Výhodou tohto riešenia je možnosť využitia laserových senzorov, ktorými je model FLV 2021/NL vybavený, a teda nie je potrebná ďalšia dodatočná montáž detekčných prvkov. Zároveň je táto technológia vhodná v existujúcich infraštruktúrnych podmienkach linky P1ES s ohľadom na menší manévrovací priestor.

Základné parametre, ktorými disponuje vybraný typ vozidla AGV sú uvedené v tab. 4.1. Jedná sa o vozidlo, ktoré je širokospektrálne využívané vo výrobnom priemysle a ktoré spĺňa elementárne kritéria kladené na obsluhu medzioperačnej dopravy vo výrobných závodoch.

4.1.1 Bezpečnostné prvky

Zvolený model vozidla AGV obsahuje všetky potrebné bezpečnostné prvky uvedené v podkapitole 2.5. Navyše, nakoľko sa jedná o vysokozdvížny typ AGV, je potrebné zabezpečiť aj precízne nakladanie a vykladanie prepravného kontajnera, t.j. v momente horizontálneho približovania sa nosných rámov ku kontajneru. Vozidlo sa pri procese nakladania kontajnera pohybuje vidlicami napred, preto je model FLV 2021/NL vybavený dodatočnými senzorickými prvkami umiestnenými priamo na konci rámov (obr. 4.2). Tie zabezpečujú dodatočnú detekciu vzdialenosti od kontajnera a prípadne iných okolitých objektov.

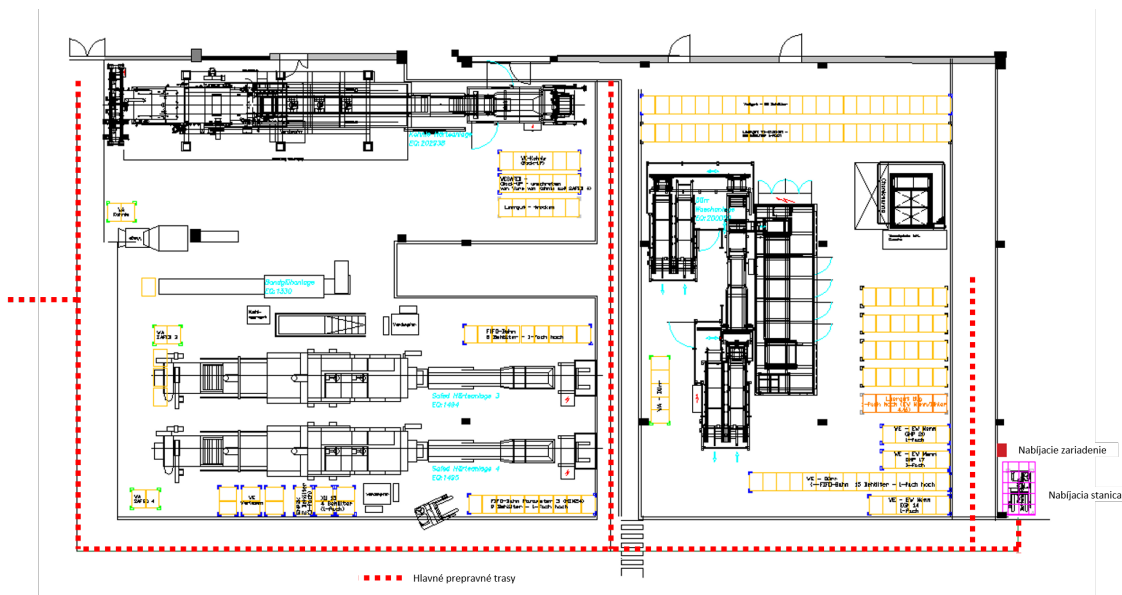


Obr. 4.2: Detekcia vzdialenosti medzi vysokozdvížnou konštrukciou a objektom; obrázky hore znázorňujú možné umiestnenie rôznych typov senzorov (zdroj: Dematic)

Ovládací systém AGV má teda dostatok informácií o približujúcich sa prekážkach a dokáže správne zamerať vzdialenosť medzi špičkami rámov a kontajnerom, vďaka čomu je ho vozidlo schopné naložiť v ideálnej polohe a nedochádza tak k zbytočnej deformácii prepravných kontajnerov a navýšeniu celkového času potrebného na transport. Konkrétny typ senzora zvolí dodávateľ vozidiel AGV v závislosti od výsledkov vykonaných testov počas implementačnej fázy celého systému.

4.1.2 Nabíjanie AGV v P1ES

V súvislosti s použitím olovených akumulátorov vo vozidlách AGV je nevyhnutné zabezpečiť ich dobíjanie. To sa v praxi realizuje dvomi spôsobmi (tak ako to bolo bližšie popísané v podkapitole 2.4), resp. ich kombináciou. Prvou alternatívou je teda automatizované nabíjanie, pre ktoré je potrebné v blízkosti linky P1ES vybudovať nabíjajúcu stanicu. Jej navrhované umiestnenie je zobrazené na obr. 4.3.



Obr. 4.3: Návrh umiestnenia nabíjacej stanice v blízkosti linky P1ES s vyznačenými hlavnými prepravnými trasami vozidiel AGV

V rámci elektrickej infraštruktúry súvisiacej s nabíjacou stanicou je nevyhnutné zabezpečiť parametre uvedené v tab. 4.2, tak aby nabíjacie zariadenie mohlo funkčne pracovať. Spoločnosť Dematic ponúka vybudovanie nabíjacej stanice v rámci cenového návrhu, požaduje však od svojich zákazníkov prívod k rozvádzaču napájacím káblom. Preto musí spoločnosť Hilti pred realizáciou projektu pripraviť kabeláž až k navrhovanému miestu nabíjacej stanice (v súčasnosti na v tomto mieste nenachádza).

Súčasťou nabíjacej stanice sú okrem nabíjacieho zariadenia aj kontakty, resp. základové dosky umiestnené priamo v podlahe (obr. 4.4). Po spojené s kolektormi, umiestnenými v konštrukcii vozidiel AGV nastáva prechod elektrického prúdu a samotný proces nabíjania. Inštaláciu dosiek zabezpečí spoločnosť Dematic pri realizácii projektu. Každá nabíjacia stanica obsahuje modul pre komunikáciu s batériou, vďaka čomu získava prehľad o aktuálnom stave nabitia akumulátora. Vozidlo môže tiež nepretržite komunikovať s batériou a odovzdávať aktuálne údaje o batérii riadiacemu

Napájací kábel k rozvádzaču	
Minimálne napájanie	240 V 50 Hz
Zdroj napájania potrebný pre nabíjacie zariadenie	
Minimálne napájanie	3× 400 V 16 A

Tab. 4.2: Elektrické požiadavky pre nabíjaciú stanicu akumulátorov AGV

systemu AGV. Zároveň je nabíjacia stanica vybavená ovládaním nabíjania riadeným procesorom. V hlavnom riadiacom systéme AGV je možné pre každé vozidlo naprogramovať konkrétnu dobu nabíjania. Vďaka vysoko vyvinutým bezpečnostným obvodom tejto nabíjacej jednotky nie je možné vyparovanie, skrat alebo prebitie batérie. Procesorom riadená regulácia nabíjania reguluje nabíjanie batérie najrýchlejším, najefektívnejším a najbezpečnejším spôsobom v rámci najlepšej možnej krivky čas / nabíjací prúd.

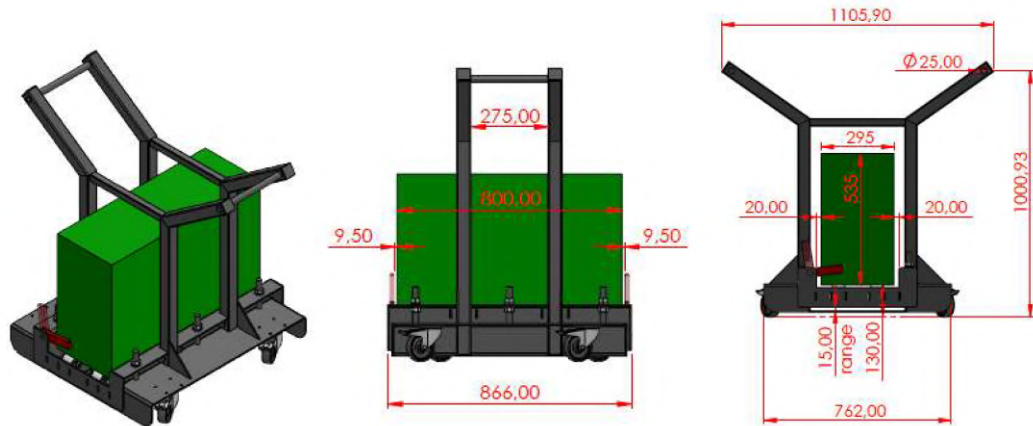


Obr. 4.4: Zobrazenie umiestnenia nabíjacej stanice spolu s nabíjacím kontaktom umiestneným v podlahe (zdroj: Dematic)

Využitie automatického nabíjania batérie tiež znamená, že vozidlo musí stráviť určitý čas na nabíjacej stanici. Za určitých okolností, napr. pri zvýšenom objeme produkcie, môže vozidlo opustiť nabíjaciú stanicu pred nabitím na 90% kapacity akumulátora. Po znížení výrobnnej kapacity ho však riadiaci systém AGV posieľa naspäť do nabíjacej stanice. Je to hlavne z dôvodu, aby v prípade poruchy aktívneho vozidla bola čo najvyššia pravdepodobnosť jeho zastúpenia ďalším vozidlom AGV po čo najdlhšiu možnú dobu.

Automatizované nabíjanie vozidiel AGV sa stotožňuje s myšlienkou konceptu Priemyslu 4.0, teda plne autonómnej prevádzky bez nevyhnutného zásahu obslužného personálu. Pri návrhu medzioperačnej dopravy je však potrebné myslieť aj na

situácie, kedy môže dôjsť k poruche akumulátorov, prípade jedného alebo viacerých vozidiel AGV súčasne. Z tohto dôvodu je nevyhnutné myslieť na záložné riešenie v podobe manuálnej výmeny batérie technickou podporou, ktorá je prítomná vo výrobnom areáli počas celého výrobného času. Manuálna výmena sa vykonáva pomocou prepravného vozíka z dôvodu vyššej hmotnosti akumulátora. Ten pozostáva z valcového dopravníka a uľahčuje jeho presunutie z a do vozidla AGV (obr. 4.5).



Obr. 4.5: Prepravný vozík určený k manuálnemu transportu a výmene akumulátora

Pre nabíjanie vozidiel AGV (a plánovaného rozšírenia medzioperačnej dopravy pomocou AGV na ďalšie linky v budúcnosti) sa zvolila možnosť kombinácie týchto dvoch možnosti nabitia akumulátorov. Primárne bude využívané automatizované nabíjanie, v prípade poruchy alebo vybitia všetkých vozidiel AGV manuálne technickou podporou. Vybitý akumulátor, ktorý bol ručne vymenený za nabitý, bude znova dobýť v technickej miestnosti vo východnom krídle výrobné haly P1E. Z uvedeného dôvodu bude v cenovej ponuke zahrnutý navyše aj jeden kus náhradného akumulátora.

4.2 Automatizačný koncept

Plánovanie výrobných a prepravných objednávok prebieha na systémovej úrovni ERP/MES. V prípade spoločnosti Hilti je táto úroveň reprezentovaná produktovými riešeniami od spoločnosti SAP. Každá výrobná linka obstaráva špecifické výrobné postupy, preto sú jednotlivé prepravné objednávky súvisiace s procesom výroby produktov viazané na konkrétnu linku. ERP/MES môže prenášať transportné požiadavky systému AGV vďaka vedomosti, ktorá objednávka sa v danom čase vo výrobných zariadeniach vykonáva. Na základe tejto znalosti vytvorí systém SAP objednávku na prepravu a odošle ju do riadiaceho systému AGV a ten zvolí optimálne

AGV pre objednávku prepravy.

Materiál na výrobu produktov sa dodáva do výrobného závodu P1 podľa potreby na princípe just-in-time¹. Je potrebné podotknúť, že linka P1ES predstavuje vo výrobnom procese medzičlánok medzi inými výrobnými linkami a je teda závislá od včasných dodávok materiálu z inej linky, tak ako to bolo opísané v podkapitole 3.3. Podnikový systém SAP teda musí pri generovaní prepravných objednávok v P1ES sledovať stav zásob prijatých kontajnerov z iných výrobných liniek, aby došlo k celkovej optimalizácii výrobného a prepravného procesu.

Prepravné objednávky vznikajú na základe systémovej komunikácie medzi výrobnými linkami a úrovňou ERP/MES, ktorá má neustály prehľad o stave produkcie. Akonáhle je prijatá hotová prepravná objednávka systémom SAP (potvrdenie o doručení), je podľa potreby odoslaná ďalšia transportná požiadavka dostupnému vozidlu AGV. Informácie o prepravných kontajneroch pripravených na vyzdvihnutie a naloženie odosiela systému ERP/MES priamo výrobný stroj, ktorý má prehľad o počte spracovaných produktov. Prepravná objednávka je považovaná za ukončená v momente, keď vozidlo úspešne dokončí prepravu kontajnera zo zdrojovej lokality do cieľovej. Následne odošle potvrdenie systému SAP.

Vozidlá AGV sú schopné komunikovať prostredníctvom ovládacieho systému AGV s aktívnymi prekážkami na trase (napr. rolovacie brány, protipožiarne brány, výťahy...) a automaticky iniciovať ich otvorenie či zatvorenie. Vďaka tomu nie sú potrebné žiadne manuálne zásahy zamestnancov. Ak výrobná linka nemôže vyrábať napr. z dôvodu neočakávaných porúch, SAP má možnosť odložiť prepravné požiadavky na túto linku a zároveň využiť voľnú transportnú kapacitu pre ďalšie prepravné objednávky v iných oblastiach výrobného závodu. To vytvára dynamickú kontrolu dopravy a výroby. Prepojenie a komunikácia jednotlivých systémov, strojov, zariadení a vozidiel AGV umožňuje okrem automatizácie toku materiálu aj tok informácií. Tak zároveň vzniká vyšší stupeň automatizácie.

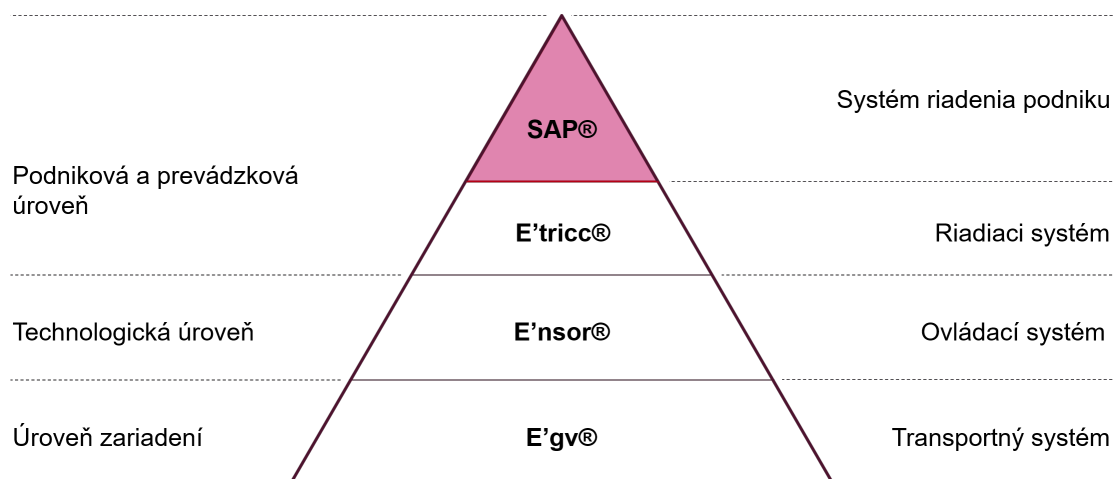
4.3 Systémová architektúra

Pre povýšenie medzioperačnej dopravy vo výrobnej továrni P1 v zmysle konceptu Priemyslu 4.0 je nevyhnutné zabezpečiť systémovú integritu a vzájomnú kompatibilitu jednotlivých systémov. Základným pilierom pre systém AGV je jeho riadiaci systém, ktorý predstavuje medzivrstvu medzi technologickým rozhraním (ovládanie a transport vozidiel) a podnikovou úrovňou reprezentovanou systémami ERP / MES. Riadiaci systém AGV musí byť preto softvérovo pripojený k vyšším systémovým

¹Stratégia riadenia, ktorá zabezpečuje objednávky materiálu od dodávateľov priamo s časovými plánmi výroby. Spoločnosti využívajú túto logistickú stratégiu na zvýšenie efektívnosti zásobovania a zníženia nevyhnutných skladových zásob.

úrovňam, pričom základnou podmienkou je vzájomná kompatibilita. Preto je elementárnou požiadavkou na zvolený systém AGV schopnosť implementácie do existujúcej systémovej infraštruktúry. Dodávateľ technológie AGV musí garantovať schopnosť vzájomného prepojenia a celkovej optimalizácie systémoveho celku. Vďaka tomu môže dôjsť k transparentnému prehľadu o všetkých prepravných objednávkach a riadeniu procesu dopravy z najvyššej systémovej úrovne priamo konkrétnemu vozidlu AGV bez nutnosti manuálneho zadávania objednávok.

Zvolený dodávateľ vozidiel AGV ponúka okrem hardvérového riešenia aj možnosť implementácie vlastných systémov pre riadenie a ovládanie vozidiel, ktoré budú transportovať prepravné kontajnery. Zároveň sa zaväzuje prepojiť jednotlivé systémy tak, aby vznikol jeden ucelený systémový celok zabezpečujúci plne automatizovaný medzioperačnú prepravu s využitím vozidiel AGV.



Obr. 4.6: Systémová architektúra tvorená existujúcimi a navrhovanými systémovými riešeniami od spoločnosti Dematic

Pre vizualizáciu potrebnej systémovej architektúry bola vytvorená prehľadná grafika (4.6), zobrazujúca hierarchiu jednotlivých systémov spolu s uvedením obchodných názvov ponúkaných systémových riešení od spoločnosti Dematic. Na vrchole tejto štruktúry je už zavedený systém riadenia podniku SAP. Zvyšné pod-systémy je potrebné zapracovať a následne prepojiť. Tieto softvérové a systémove riešenia budú preto súčasťou finančného návrhu na konci diplomovej práce.

4.3.1 Systém riadenia podniku

Systém riadenia podniku reprezentuje podnikovú a prevádzkovú úroveň zastúpenú systémami ERP a MES s nasledujúcimi hlavnými úlohami:

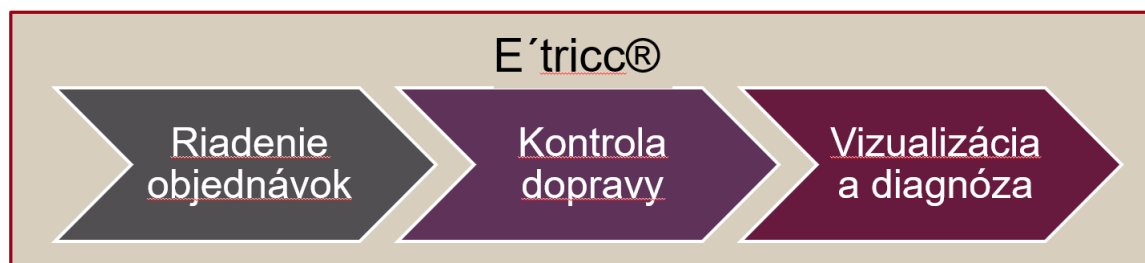
- plánovanie prichádzajúceho tovaru,

- plánovanie výroby,
- kontrola nad kvalitou výroby,
- príprava prepravných dokumentov,
- pripojenie logistiky a dopravcov.

Ako už bolo spomenuté, táto vrstva je v Hilti integrovaná a zastúpená systémom SAP. Konkrétne sa v prípade ERP jedná o produkt SAP S/4HANA a v prípade MES o SAP ME, pričom sú vzájomne logicky prepojené. Tieto produkty sa budú používať naďalej a nebudú súčasťou návrhu a dodávky. Dematic deklaruje pripravenosť vzájomného prepojenia svojich systémových produktov na nižších vrstvách s produktami SAP.

4.3.2 Riadiaci systém AGV

Manažment riadenia dopravy predstavuje medzivrstvu medzi technologickou a podnikovou vrstvou v automatizačnej pyramíde. Obchodný názov tohto systému od Dematic je E'tricc®. Spravuje riadenie pohybu všetkých vozidiel AGV v systéme a odosiela vozidlám transportné objednávky. Tie obsahujú informácie o optimálnej trase medzi zdrojom a cieľom transportu získané vďaka výpočtovým algoritmom optimalizácie trasy. Na základe týchto informácií zároveň určuje, ktoré vozidlo bude zvolené v závislosti od najkratšieho možného prepravného času. Navrhnutý systém manažmentu dopravy poskytuje dynamické smerovanie, ktoré umožňuje AGV podniknúť alternatívne trasy pre určený cieľ na základe aktuálnych transportných podmienok. Tým je zabezpečená maximálna flexibilita prepravy. Súčasťou organizácie prepravy je aj manažment dobíjania vozidiel. Systém E'tricc® okrem toho sleduje aj stav vybitia akumulátorov vozidiel AGV a po dosiahnutí kritickej hladiny odosiela konkrétnemu vozidlu prepravný príkaz k transportu do nabíjacej stanice, prípadne operátorom výroby pokyn k manuálnej výmene batérie. Po dobití zaradí vozidlo naspäť do aktívneho stavu pre potreby medzioperačnej dopravy.



Obr. 4.7: Funkčné komponenty riadiaceho systému AGV – E'tricc®

E'trice[®] je sofistikovaný softvér riadiaceho systému na správu AGV v reálnom čase. E'trice[®] určuje, ktorou cestou sa musia vozidlá vo výrobnom prostredí pohybovať. E'trice[®] zároveň pri implementácii viacerých vozidiel AGV zaisťuje, aby sa všetky prichádzajúce objednávky na prepravu vykonávali správne a boli rovnomerne distribuované medzi jednotlivé vozidlá. Tento riadiaci systém pozostáva z troch funkčných komponentov (obr. 4.7).

Riadenie objednávok

Tento komponent umožňuje integráciu všetkých automatizovaných zariadení v továrni do efektívneho dopravného systému. Zaisťuje optimálne využitie prepravných prostriedkov a v maximálnej možnej miere predchádza problémom s preťažením. Skladá z dvoch hlavných modulov:

- modul pre správu polohy,
- modul riadenia dopravy.

Táto vrstva bude zodpovedná za komunikáciu a prijímanie objednávok od SAP a ich následný manažment pre čo najefektívnejšiu medzioperačnú dopravu v reálnom čase.

Kontrola dopravy

Kontrolný dopravný komponent určuje, ako sa kontajnery premiestňujú medzi rôznymi zónami vo výrobnjej oblasti. Jednotlivé pohyby vozidiel sa realizujú prostredníctvom prepravných príkazov. Transportné body sú priradené k miestu naloženia a vyloženia kontajnera na základe súradnicového systému.

Vizualizácia

Zmyslom vizualizácie pohybu vozidiel je grafické zobrazenie aktuálnej polohy všetkých vozidiel AGV v systéme. Vďaka tomu je možné zobrazíť kde sa práve nachádza konkrétne vozidlo a akú úlohu vykonáva. Dochádza tak k ešte väčšej transparentnosti transportu a pomáha technickej podpore pri kontrole stavu medzioperačnej dopravy a lokalizácii vozidiel AGV na dvojrozmernej mape. [30]

4.3.3 Ovládací systém AGV

Táto vrstva obsahuje ovládacie prvky vozidiel AGV na technologickej úrovni. Spoločnosť Dematic ponúka pre ich ovládanie systém E'nsor[®]. Jedná sa o palubný navigačný systém určený na riadenie a navigáciu vozidiel AGV v priestore. Vďaka nemu sú schopné presnej jazdy v úzkych uličkách, umiestňovať náklad na valcové dopravníky a na úroveň podlahy s extrémnou presnosťou alebo zvládať zložité manipulačné

operácie s nákladom. Systém E'nsor[®] umožňuje každému vozidlu v systéme sledovať špecifickú cestu pomocou navigačných senzorov vypočítavania aktuálnej polohy vozidla, bez ohľadu na použitú technológiu navádzania.

4.3.4 Transportný systém

Vrstvu zariadení predstavujú samotné vozidlá AGV vykonávajúce transport. Dematic pre svoje vozidlá AGV používa obchodné označenie E'gv[®]. V rámci tejto úrovne je možné pripojiť všetky implementované vozidlá AGV, tak aby mali vyššie vrstvy dostatočné informácie o celej flotile vozidiel. Vďaka tomu získavajú prehľad o vozidlách, ktoré:

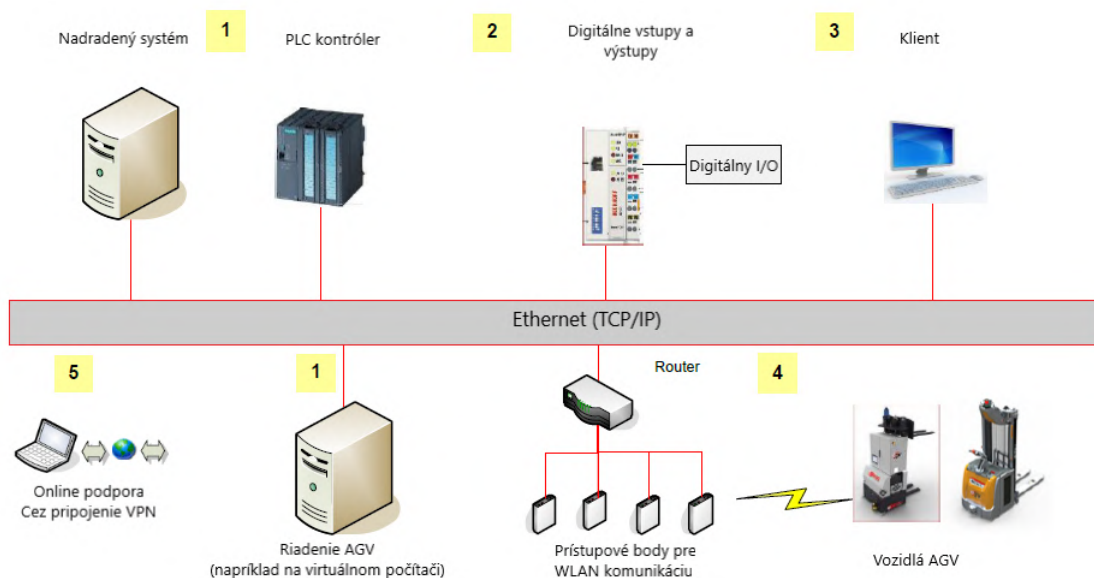
- sú aktívne – aktuálne vykonávajú transport,
- dobíjajú svoje akumulátory v nabíjaciach stanicach (vyššie vrstvy majú zároveň prehľad o stave nabitia batérii)
- sú neaktívne – sú zaparkované a čakajú na prepravnú objednávku alebo sú vyradené z prepravy kvôli poruche.

Transportný systém je teda zodpovedný za sledovanie údajov získaných z vozidiel a ich poskytovanie vyšším vrstvám (napr. informácie o polohe, rýchlosti, kolízii. . .).

4.4 Sieťová architektúra

Nevyhnutnou súčasťou návrhu je sieťová architektúra zabezpečujúca komunikáciu medzi nadradenými systémami (MES/ERP), systémom AGV a inými zariadeniami v sieti (napr. výrobné stroje). Pre komunikáciu medzi nimi sa využíva sieťová technológia Ethernet, sieťové prvky a priemyselné komunikačné prvky. Navrhnutú sieťovú architektúru zobrazuje obr. 4.8.

1. Prepravné objednávky pre transportné vozidlá AGV je možné generovať nadradeným hostiteľským systémom (ERP/MES) alebo jedným alebo viacerými ovládacími prvkami stroja (PLC), ktorý je priamo pripojený k riadiacemu systému AGV (prevádzkovaný napr. na virtuálnom počítači).
2. Riadiaci systém AGV môže vďaka zbernicovým terminálom prijímať a odosielať signály medzi pripojenými zariadeniami v sieti a komunikovať na fyzickej vrstve. Takáto komunikácia medzi jednotlivými prvkami umožňuje následnú synchronizáciu pri úkonoch, ktoré prebiehajú medzi vozidlami AGV a inými zariadeniami (napr. nakladanie a vykladanie materiálu z a na pásový dopravník, prechod cez automatické dvere. . .).
3. Prístup klienta umožňuje počas prevádzky prijímať údaje zo servera z rôznych miest a zobrazovať ich v reálnom čase. To zároveň umožňuje prístup k jednotlivým vozidlám.

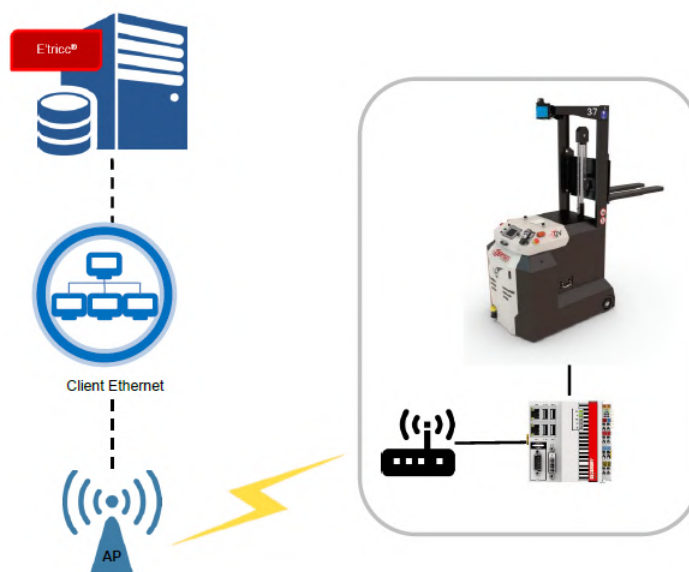


Obr. 4.8: Návrh sieťovej architektúry

4. Komunikácia medzi riadiacim systémom AGV, nadradeným systémom a vozidlami AGV prebieha bezdrôtovo prostredníctvom WLAN siete. Každé vozidlo AGV je vybavené bezdrôtovým komunikačným modulom pripojeným na zbernicu. Vyžaduje sa rovnomerné rozmiestnenie prístupových bodov vo výrobnom areáli pre stabilnú komunikáciu v každom mieste pohybu AGV.
5. Nepretržitá online podpora v prípade potreby vzdelaného riešenia poruchy prostredníctvom internetu (VPN pripojenie).

Priame prepojenie medzi riadiacim systémom AGV a vozidlami AGV prostredníctvom siete WLAN zobrazuje obr. 4.9. Prenos údajov umožňuje komunikácia prístupových bodov umiestnených vo výrobní továrni P1 spolu s integrovanými prístupovými modulmi, ktoré sa nachádzajú štandardne v každom vozidle AGV. Stationárne prístupové body nie sú súčasťou dodávky a musia zodpovedať európskemu štandardu IEEE 802.11a, b, g - WiFi.

Komunikácia medzi nadradenými systémami, výrobnými strojmi a systémom AGV prebieha prostredníctvom bezdrôtového internetového pripojenia. Je preto potrebné, aby celá produkčná oblasť mala dostatočné pokrytie WLAN. Požadované prístupové body a internetové bezdrôtové pokrytie vo výrobní továrni P1 je už zavedené a po konzultácii so spoločnosťou Dematic bolo klasifikované ako dostatočné pre potreby medzioperačnej dopravy pomocou technológie AGV.



Obr. 4.9: Schéma prepojenia systému manažmentu dopravy s vozidlom AGV

4.5 Základy výpočtu kapacitného plánovania

Táto podkapitola predstavuje výpočtový základ pre teoretický výpočet plánovania prepravnej kapacity s využitím systému AGV. Všetky hodnoty a výpočtové modely, ktoré sú použité, vychádzajú zo simulačných hodnôt od spoločnosti Dematic. Používajú ich všetci zákazníci na prvotný odhad využitia systému. Na výpočet sa použije transportná sekvencia z obr. 4.10. Reakčný čas predstavuje čas potrebný pre prenos príkazu na prepravu z riadiaceho systému AGV do vozidla AGV. Podľa systémových informácií spoločnosti Dematic je doba odozvy približne 3 sekundy.



Obr. 4.10: Postupnosť dopravného procesu pri výpočte plánovania kapacity

Prepravný príkaz pochádza od zdroja prepravného príkazu (miesto naloženia tovaru), čo pre AGV predstavuje impulz pre pohyb smerom k nemu. Uvedená priemerná rýchlosť vybraného modelu AGV je 1,36 m/s, s ktorou sa bude ďalej pracovať pri výpočte. Dematic odporúča počítať pre každú krivku (zákrutu) ďalšiu časovú prírážku 3 sekundy z dôvodu zníženia rýchlosti pri prejazde zákrutou. Prepravovaný tovar je po príchode vozidla vyzdvihnutý pri zdroji. Ďalej Dematic odhaduje teoretickú hodnotu na naloženie tovaru od zdroja na 45 sekúnd. Vozidlo AGV potom

transportuje naložený tovar k cieľu prepravy kde vyloží prepravovaný tovar. Čas vyloženia je opäť teoreticky ohodnotený na 45 sekúnd. Spiatočná cesta k nabíjacej stanici nie je zahrnutá do výpočtu, pretože počas tohto pohybu nedochádza k aktívnej obsluhu transportných objednávok. V alternatívnom prípade môže riadiaci systém AGV spustiť nový prepravný príkaz okamžite po dokončení transportu k zdroju predchádzajúcej objednávky. Cesta z nabíjacej stanice k zdrojovému bodu prepravy sa zohľadňuje pri výpočte prepravnej kapacity, pretože sa vychádza z predpokladu, že vo väčšine prípadov bude transport iniciovaný z tejto lokality.

Pomocou údajov od spoločnosti Dematic, nameraných vzdialeností medzi jednotlivými transportnými bodmi a intenzity toku materiálu medzi výrobnými oblasťami je možné vytvoriť teoretický výpočet prepravnej kapacity vo výrobní linke P1ES. Teoretický výpočet plánovania kapacity možno použiť na odhad toho, koľko AGV je potrebných na implementáciu vo výrobní linke P1ES. Pri výpočte sa predpokladá, že každá prepravná objednávka sa začína na príslušnej nabíjacej stanici, ktorá predstavuje východziu stanicu pre každý transport². Reálna hodnota vypočítaného času potrebného na prepravu kontajnera zo zdrojovej do cieľovej stanice môže byť teda nižšia v prípade ak sa obsluhujúce vozidlo AGV po každom transporte nepremiestňuje do nabíjacej stanice, ale po dokončení transportu preberá a začne vykonávať ďalšiu prepravnú objednávku. Táto situácia sa zo skúsenosti z manuálneho transportu očakáva približne v jednej tretine časovej postupnosti objednávok, preto výpočet kalkuluje s odhadovaným znížením celkového reálneho času potrebného pre vykonanie všetkých transportov o 30%.

4.5.1 Teoretický výpočet plánovania prepravnej kapacity

Cieľom teoretického výpočtu plánovania prepravnej kapacity je určiť presnú časovú požiadavku, ktorú musí pokryť systém AGV za hodinu. Táto požiadavka sa dá použiť na určenie toho, koľko vozidiel AGV je potrebných alebo aké vysoké je približné využitie systému AGV. Na tento účel sa tvoria tri kľúčové vypočítané údaje, ktoré sa používajú pri kalkulácii teoretického plánovania kapacity:

Vypočítaný čas transportu

Udáva celkový čas v sekundách, ktorý je potrebný na vykonanie prepravnej objednávky pre príslušnú dopravnú cestu z nabíjacej stanice až po cieľ prepravy. Vypočítaný čas práce sa vypočítava nasledovne:

²Nabíjacia stanica je zvolená ako východzí transportný bod z dôvodu efektívneho priebežného nabíjania vozidiel AGV v prípade ich neaktivity.

$$\begin{aligned} \text{čas prepravy [s]} = & \text{reakčný čas} + (\text{vzdialenosť k zdroju} \cdot \text{priemerná rýchlosť}) + \\ & \text{čas naloženia nákladu} + (\text{vzdialenosť k cieľu} \cdot \text{priemerná rýchlosť}) + \\ & (\text{počet zákrut} \cdot \text{časová prirážka zákruty}) + \text{čas vyloženia nákladu.} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Frekvencia transportu

Udáva intenzitu ako často musí byť príslušná dopravná cesta obsluhovaná za hodinu. Pretože frekvencia prepravy vychádza z počtov transportov stanovených na mesačnom základe (20 pracovných dní v 24 hodinovom výrobnom cykle), je potrebné frekvenciu prepravy vypočítať späť na jednu hodinu. Vzorec pre výpočet frekvencie za hodinu je daný takto:

$$\text{frekvencia transportu [hod]} = \frac{\text{počet transportov za mesiac}}{20 \text{ dní} \cdot 3 \text{ smeny} \cdot 8 \text{ hodín}}, \quad (4.2)$$

kde hodnota 20 dní reprezentuje počet pracovných dní v kalendárnom mesiaci a 8 hodín dĺžku pracovného času za jednu smenu.

Celkový prietokový čas

Prietokový čas je súčinom frekvencie transportu za hodinu a vypočítaného času pre vykonanie transportu. Udáva sa v sekundách:

$$\text{celkový prietokový čas [s]} = \text{celkový čas transportu} \cdot \text{frekvencia transportu.} \quad (4.3)$$

Nasledujúce kľúčové údaje sú relevantné pre pochopenie výpočtu zaťaženia prepravného systému a požadovaného počtu vozidiel AGV:

Kumulatívny teoretický čas

Súčet všetkých prietokových časov na prepravu v sekundách [s]. Reprezentuje čas potrebný pre vykonanie transportov z nabíjacej stanice k cieľovému prepravnému bodu. Nezahŕňa možnosť začatia nasledujúcej prepravnej objednávky po dokončení tej aktuálnej, tj. vozidlo sa po dokončení prepravy vráti naspäť do nabíjacej stanice a čaká na prijatie ďalšej objednávky.

Kumulatívny odhadovaný reálny čas

Vychádza z teoretickej kalkulácie prietokových časov, pričom berie do úvahy možnosť začatia ďalšieho transportu ihneď po ukončení aktuálnej objednávky. Stanovený

koeficient 2/3 vychádza z predpokladu, že približne 30% všetkých objednávok začnú ihneď po dokončení aktuálnej. Ide o hrubý odhad na základe skúsenosti operátorov výroby na linke P1ES.

Kapacita dostupnosti vozidla

Určuje mieru dostupnosti vozidla AGV v sekundách za hodinu. Jednou z požiadaviek na systém AGV je kapacita dostupnosti s OEE³ 98%. S dostupnosťou 100% má každé vozidlo AGV kapacitu 3 600 sekúnd za hodinu. Pri 98% dostupnosti sa tento čas skraca na 3 528 sekúnd za hodinu.

Počet potrebných vozidiel AGV

Počet požadovaných AGV je kvocientom kumulatívneho odhadovaného reálneho času a kapacity dostupnosti vozidla s OEE 98%. Výpočet je založený na manuálnej výmene batérie, to znamená, že využitie systému nie je negatívne ovplyvnené nabíjacím cyklom.

Zvolený počet potrebných vozidiel AGV

Tento parameter predstavuje počet vozidiel AGV, ktorý je zvolený bez ohľadu na predošlý výpočet. Reflektuje preferenciu zákazníka podľa jeho uváženia a potrieb, ktoré nie je možné zahrnúť do výpočtu (napr. plán rozšírenia výrobnéj linky, prestavba umiestnenia výrobných zariadení, expanzia medzioperačnej prepravy na iné výrobné linky v budúcnosti...).

Využitie transportného systému

Využitie prepravného systému AGV je možné vypočítať na základe percentuálneho zaťaženia transportného systému, ktorý sa určuje z vypočítaného počtu potrebného množstva vozidiel AGV, v pomere s počtom zvolených vozidiel:

$$\text{využitie transportného systému [\%]} = \frac{\text{počet potrebných vozidiel AGV} \cdot 100}{\text{zvolený počet potrebných vozidiel AGV}}, \quad (4.4)$$

Predpokladané využitie transportného systému ovplyvňuje aj to, akým spôsobom sa nabíjajú akumulátory. Pri variante nabíjania s manuálnou výmenou batérie sa akumulátory nabíjajú samostatne v technickej miestnosti mimo výrobnéj linky. V

³Akronym z anglického *Overall Equipment Effectiveness*, teda celková efektívnosť zariadenia. Predstavuje kvantitatívny ukazovateľ efektívnosti výrobných zariadení, vyjadrujúci percento výrobného času, ktorý bol skutočne produktívne využitý.

takomto prípade musia byť batérie kvôli nabíjaniu ručne vymenené technickou podporou prítomnou vo výrobnéj továrni. Varianta manuálnej výmeny batérie má minimálny vplyv na spomalenie prepravného systému, pretože zvolený typ vozidla AGV má vymeniteľnú batériu – vozidlo je po manuálnej výmene vybitého akumulátora za nabitý okamžite pripravené na ďalšie použitie. Ak je však zvolené automatizovaný systém nabíjania vozidiel AGV, musí sa pri výpočte zohľadniť nedostupnosť vozidla AGV počas doby nabíjania v nabíjacej stanici. Táto nedostupnosť je relatívna, keďže vozidlo môže prerušiť proces nabíjania a začať transport bez plného dobitia. To však neplatí ak je akumulátor vybitý a stav nabitia nepostačuje na obsluhu transportu. Pri výpočte potrebného počtu vozidiel AGV pre medzioperačnú dopravu je teda potrebné zohľadniť aj tento faktor. Doba nabíjania sa odhaduje približne na 6 hodín (do stavu 90% menovitej kapacity akumulátora) a dobu vybíjania (na úroveň 10% menovitej kapacity akumulátora) deklaruje Dematic až na 12 hodín nepretržitej prevádzky v závislosti od zataženia. Kovové produkty sú však vyrábané vo várkach a hmotnosť naplneného kontajnera sa v priemere pohybuje okolo 300 kg, preto sa bude predpokladať maximálna výdrž batérie do 10 hodín. Na základe týchto uvažovaných parametroch je možné vypočítať faktor dostupnosti vozidla AGV ako:

$$\text{faktor dostupnosti vozidla [\%]} = \frac{\text{čas nabíjania} \cdot 100}{\text{čas vybíjania}}. \quad (4.5)$$

Faktor dostupnosti vozidla ovplyvňuje celkové využitie transportného systému pri zvolení automatizovaného spôsobu nabíjania, a preto musí byť zohľadnený vo finálnom výpočte. Z matematického pohľadu navyšuje položku využitia transportného systému pri manuálnom nabíjaní o svoju hodnotu.

Pri voľbe počtu potrebných vozidiel AGV a využití transportného systému sa nekalkuluje s nasledujúcimi obmedzeniami, preto sa neodporúča navrhnúť systém na 100%:

- meškania spôsobené prekážkami alebo inými účastníkmi transportu,
- proces spojený s údržbou AGV,
- technické problémy pridruženého hardvéru alebo softvéru.

4.6 Výsledky výpočtu plánovania kapacity transportu systémom AGV

Na základe opísaného postupu teoretického výpočtu potrebného pre určenie využitia prepravnej kapacity vo výrobnéj linke P1ES bola vytvorená prehľadná kalkulácia (obr. 4.11), ktorá vychádza zo zistených údajov, meraní a informácií poskytnutých

dodávateľskou firmou Dematic. Základom pre výpočet je aj transportná matica uvedená v podkapitole 3.4, ktorá definuje počet transportov medzi jednotlivými prepravnými bodmi za mesiac. Výsledkom je vypočítaný počet potrebných vozidiel AGV pre obsluhu prepravných požiadaviek vo výrobní linke P1ES.

Kalkulácia kapacitného plánovania pre kontajnerový transport vo výrobní linke P1ES													
Pohyb z	Pohyb do	Štartovacia pozícia	Reakčný čas (s)	Vzdialenosť k zdroju (m)	Čas naloženia (s)	Vzdialenosť k cieľu (m)	Čas vyloženia (s)	Počet transportov za mesiac	Priemerná rýchlosť (m/s)	Počet zákrut	Vypočítaný čas transportu (s)	Frekvencia transportu za hodinu	Celkový prietokový čas (s)
E	D1	Nabíjacia stanica	3	38	45	7	45	344	1,36	2	160,20	0,72	114,81
E	D2	Nabíjacia stanica	3	38	45	5	45	344	1,36	2	157,48	0,72	112,86
E	D3	Nabíjacia stanica	3	38	45	4	45	344	1,36	2	156,12	0,72	111,89
F1	H1	Nabíjacia stanica	3	29	45	6	45	320	1,36	2	146,60	0,67	97,73
F2	H2	Nabíjacia stanica	3	32	45	8	45	280	1,36	2	152,72	0,58	89,09
F3	H3	Nabíjacia stanica	3	40	45	8	45	340	1,36	2	163,60	0,71	115,68
B1	A1	Nabíjacia stanica	3	14	45	2	45	344	1,36	2	150,76	0,72	96,54
B2	A2	Nabíjacia stanica	3	21	45	2	45	344	1,36	2	130,28	0,72	93,37
B3	A3	Nabíjacia stanica	3	28	45	1,5	45	344	1,36	2	139,12	0,72	99,70
A1	C1,3	Nabíjacia stanica	3	16	45	12	45	344	1,36	2	137,08	0,72	98,24
A2	C2	Nabíjacia stanica	3	18	45	7	45	344	1,36	4	139,00	0,72	99,62
A3	C3	Nabíjacia stanica	3	27	45	2	45	344	1,36	2	136,44	0,72	99,22
H1	G1,2	Nabíjacia stanica	3	27	45	20	45	344	1,36	3	165,92	0,72	118,91
H2	G1,2	Nabíjacia stanica	3	36	45	13	45	344	1,36	3	168,64	0,72	120,86
H3	G1,2	Nabíjacia stanica	3	39	45	11	45	344	1,36	3	170,00	0,72	121,83
J	K	Nabíjacia stanica	3	10	45	1	45	604	1,36	2	113,96	1,26	143,40
L	M	Nabíjacia stanica	3	12	45	17	45	604	1,36	4	144,44	1,26	181,75
P	O	Nabíjacia stanica	3	24	45	5	45	604	1,36	3	141,44	1,26	177,98
N	Q	Nabíjacia stanica	3	20	45	1,5	45	604	1,36	2	128,24	1,26	161,37
											Kumulatívny teoretický čas (s)	2245,05	
											Kumulatívny odhadovaný reálny čas (s)	1496,70	
											Kapacita dostupnosti vozidla s OEE 98%	3528	
											Počet potrebných vozidiel AGV	0,424234568	
Zvolený počet potrebných vozidiel AGV				1				Zvolený počet potrebných vozidiel AGV				2	
Využitie transportného systému pri manuálnom nabíjaní (%)				42				Využitie transportného systému pri manuálnom nabíjaní (%)				21	
Faktor dostupnosti vozidla pri automatizovanom spôsobe nabíjania (%)				60				Faktor dostupnosti vozidla pri automatizovanom spôsobe nabíjania (%)				60	
Využitie transportného systému pri automatizovanom nabíjaní (%)				102				Využitie transportného systému pri automatizovanom nabíjaní (%)				81	

Obr. 4.11: Výsledná kalkulácia kapacitného plánovania pre kontajnerový transport vo výrobní linke P1ES

Z výsledkov je zrejmé, že po zaokrúhlení by bol počet potrebných vozidiel AGV s manuálnym systémom výmeny batérie 0,42, čo predstavuje zapojenie jedného vozidla. V takom prípade by bolo teoretické vyťaženie transportu približne 42%. Pri automatizovanom dobíjaní akumulátora je potrebné zohľadniť faktor dostupnosti vozidla, ktorý reflektuje zvolený typ akumulátora a jeho parametre súvisiace s časmi nabíjania a vybíjania. Faktor dostupnosti bude podľa výpočtového vzorca v prípade tohto projektu zvyšovať využitie transportného systému až o 60%. Vyplýva to z faktu, že jeden nabíjací cyklus olovej batérie trvá 6 hodín, pričom uvažovaná maximálna výdrž akumulátora bude do 10 hodín. Automatizované nabíjanie teda značne zafarňuje dostupnosť vozidiel AGV. Okrem dlhšej doby nabíjania ovplyvňuje tento výsledok aj potrebná cesta, ktorú musí vozidlo AGV vykonať aby dorazilo do oblasti nabíjacej stanice.

Ak uvážime, že jedno vozidlo zvládne obslužiť maximálne 98% prepravnej kapacity, tak by to pri aktuálnom vyťažení linky P1ES bolo postačujúce. Do úvahy o počte potrebných vozidiel AGV je však potrebné zohľadniť nasledujúce fakty:

- manuálna výmena batérie, resp. využitie lokálnej technickej podpory pre jej výmenu, plne nekorešponduje s konceptom Priemyslu 4.0,

- plánovaný postupný prechod na kompletne automatizovanú medzioperačnú dopravu v celej výrobnej továrni P1 v blízkej budúcnosti,
- v prípade, ak jediné vozidlo AGV bude nabíjané automatizovaným spôsobom nabíjania, nebude schopné neustálej obsluhy výrobnej linky

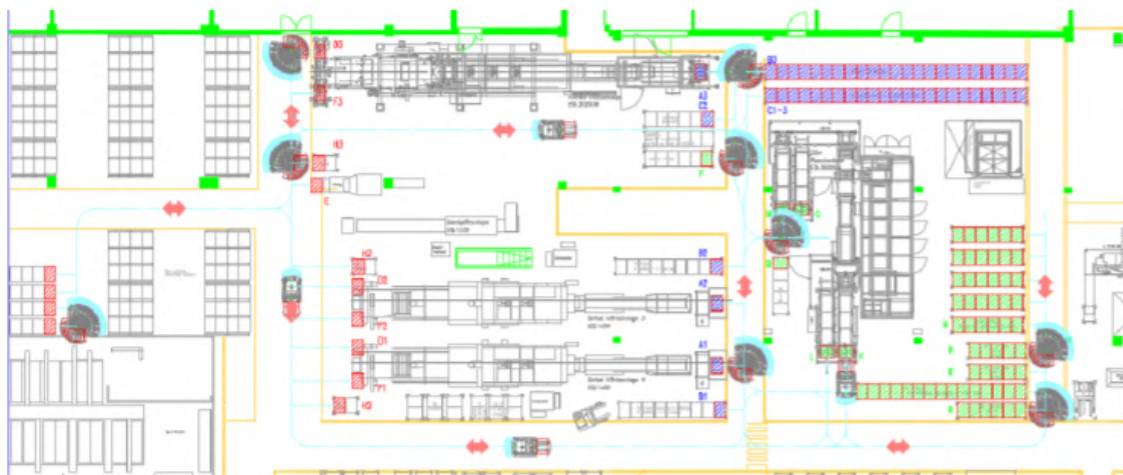
Z uvedených dôvodov vyplýva, že využitie iba jedného vozidla AGV s manuálnym systémom výmeny akumulátora by nezapadalo do vízie spoločnosti Hilti o autonómnej a automatizovanej medzioperačnej doprave. V prípade ak by bol zvolený systém automatizovaného nabíjania, výsledné využitie transportného systému by sa navýšilo o faktor dostupnosti až na 102% – jedno vozidlo by už nebolo schopné obslúžiť potrebnú prepravnú kapacitu na linke P1ES. Zároveň, jedno vozidlo by nemohlo nepretržite vykonávať svoju činnosť, čím by dochádzalo k spomaleniu celkovej produktivity výroby.

Vychádzajúc z výsledkov výpočtu a jasných požiadaviek spoločnosti Hilti, táto diplomová práca navrhuje využitie dvoch vozidiel AGV pre obsluhu medzioperačnej dopravy výrobnej linky P1ES. Dve vozidlá by pri manuálnej výmene batérie dosahovali využitie transportného systému 21%, pri automatizovanom nabíjaní 81%. Tento výsledok poskytuje dostatočnú rezervu pre celkovú efektivitu a schopnosť obsluhy všetkých prepravných požiadaviek. Implementácia dvoch vozidiel AGV predstavuje aj možnosť využitia zvyšnej nevyužitej kapacity pri obsluhu medzioperačnej dopravy v iných výrobných linkách v budúcnosti. Návrh medzioperačnej výroby vo výrobnej linke P1ES bude preto ďalej pracovať s dvomi vozidlami AGV, ktoré sa budú pri vykonávaní prepravných objednávok vzájomne striedať podľa aktuálneho stavu nabitia ich akumulátorov.

4.7 Návrh transportných trás

Automatizované zásobovanie výrobnej linky P1ES prostredníctvom systému AGV vyžaduje vloženie prepravných trás do riadiaceho systému AGV. Na základe zvolených trás bude možné riadiť vozidlá v rámci zvolenej cesty, sledovať a vizualizovať ich konkrétnu polohu a navigovať vozidlá k transportným bodom. Zakreslenie navrhnutých prepravných trás je zobrazené na obr. 4.12.

Z uvedeného návrhu je zrejmé, že bolo potrebné zohľadniť rotačný pohyb vysokozdvížných vozidiel AGV pri procese nakladania a vykladania okolo svojej osi. V momente keď sa vozidlo otáča okolo svojej vertikálnej osi, musí byť zachovaná bezpečnostná vzdialenosť medzi vozidlom AGV a okolitými objektami. Pri tomto návrhu sa počíta s bezpečnostnou vzdialenosťou minimálne 90 cm, ktorá je neustále monitorovaná pomocou laserových skenerov integrovaných do každého vozidla AGV (podkapitola 2.5). Táto vzdialenosť musí byť dodržaná aj pri horizontálnom pohybe vozidla pozdĺž výrobných strojov a okolitých objektov.



Obr. 4.12: Návrh prepravných trás vozidiel AGV

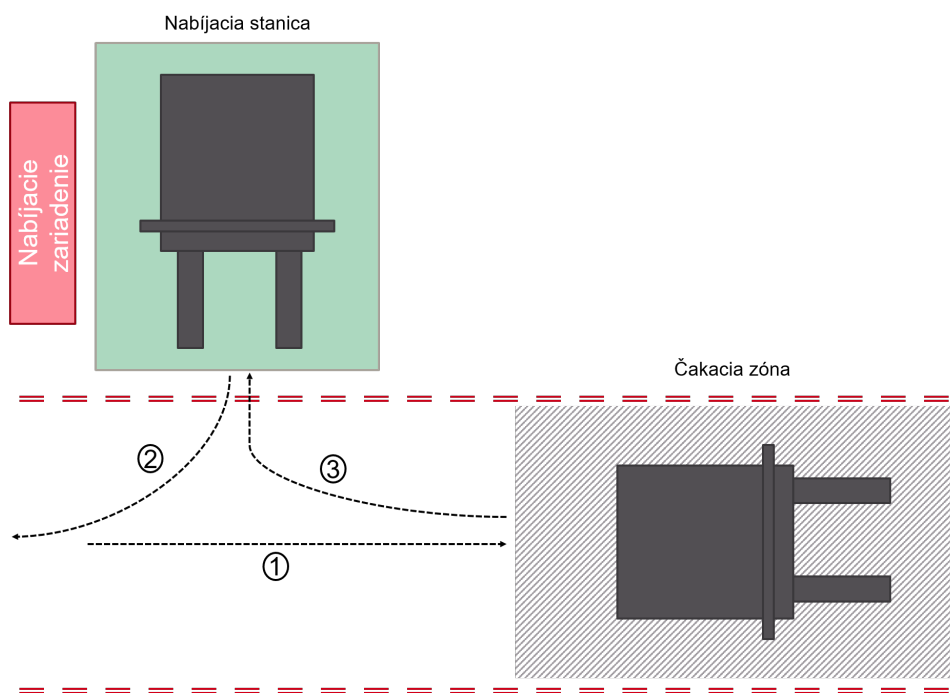
Každá prepravná trasa umožňuje obojstranný prejazd, vozidlo v prípade potreby môže využiť aj reverzný pohyb. Zároveň platí, že v každom bode na vyznačenej trajektórii môže vozidlo AGV vykonať rotačný pohyb (napr. v prípade ak je vozidlo z dôvodu veľmi nízkej hladiny kapacity akumulátora náhle presmerované do nabíjacej stanice riadiacim systémom AGV) pri zachovaní bezpečnostnej vzdialenosti od svojho okolia. Každé vozidlo AGV sa môže pohybovať iba po vopred zadefinovanej transportnej trase a nemôže sa vychýliť od svojej trajektórie. Ak bolo ručným ovládaním navedené mimo trajektórie (napr. pri poruche alebo servisnom úkone), pri prepnutí do autonómneho režimu ho ovládací systém AGV navedie naspäť na najbližšiu transportnú trasu.

4.8 Transportné pravidlá

Medzioperačnú dopravu vo výrobní linke P1ES budú na základe výsledkov výpočtu kapacitného plánovania transportu podľa návrhu obsluhovať dve vozidlá AGV, avšak nikdy nie v rovnakom čase naraz. Toto rozhodnutie vyplýva z obmedzujúceho kritéria, ktorým je šírka prepravných koridorov. Dve vozidlá obsluhujúce transportné body v P1ES v rovnakom čase by sa vzájomne blokovali a preto je táto možnosť nerealizovateľná. Zároveň neexistuje možnosť vytvoriť dodatočný priestor, kde by sa tieto vozidlá vzájomne vyhýbali.

Ako už bolo spomenuté, ďalším dôvodom prečo projekt ďalej počíta so zapojením dvoch vozidiel AGV je návrh automatizovaného nabíjania pomocou nabíjacích kontaktov umiestnených v podlahe. Nakoľko je nevyhnutné, aby bolo jedno nabité vozidlo neustále pripravené prepravovať transportné objednávky, je potrebné využitie minimálne dvoch prepravných vozidiel AGV. Pokým bude jedno vozidlo obsluhovať prepravné objednávky, druhé bude odstavené v nabíjacej stanici a pripojené pomocou kontaktov umiestnených v podlahe k nabíjacímu zariadeniu. Čas nabíjania v prípade použitia olovených batérií na úroveň 90% menovitej kapacity akumulátora (v prípade ak bol vybitý na úroveň 20%) predstavuje približne 6 hodín. Počas celej tejto doby musí byť druhé vozidlo, ktoré aktuálne zabezpečuje medzioperačnú dopravu schopné operovať bez nabitia.

Dôležitým momentom, pri ktorom je potrebné zabezpečiť bezpečnosť a ochranu pred kolíziou, je výmena vozidiel AGV; t.j. odchod nabitého vozidla z nabíjacej stanice a príchod vybitého vozidla do nabíjacej stanice. Táto výmena musí prebehnúť postupne, tak ako to zobrazuje obr. 4.13.



Obr. 4.13: Výmena vozidiel s nabitým a vybitým akumulátorom

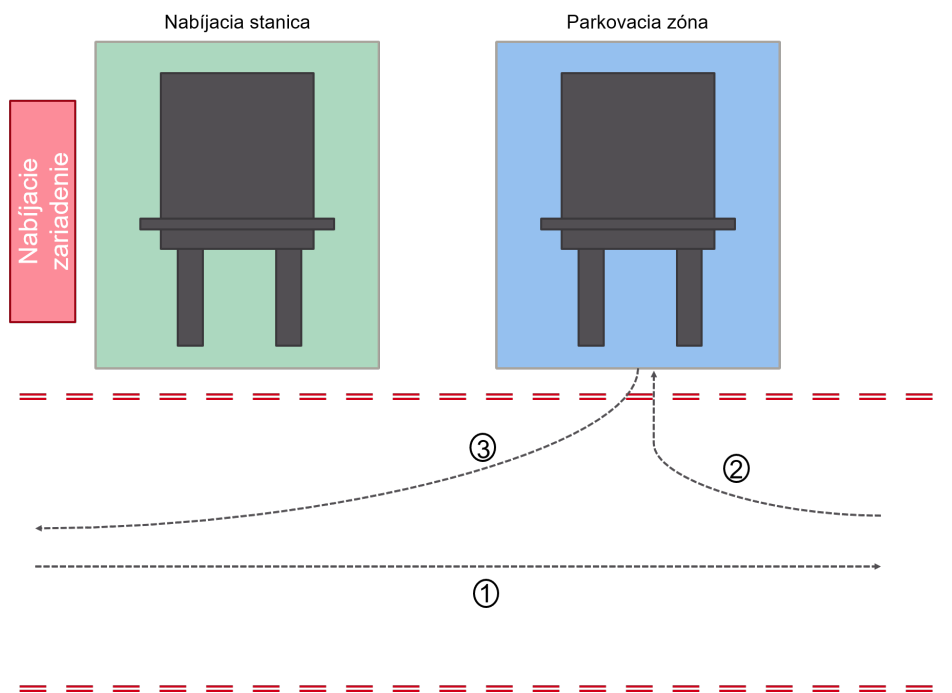
Vozidlo prichádzajúce do nabíjacej stanice musí najprv prejsť do sivo vyznačenej čakacej zóny, kde stojí až do momentu odchodu nabitého vozidla z nabíjacej stanice. Akonáhle dostane pokyn z riadiaceho systému AGV o uvoľnení a bezpečnom vzdialení nabitého vozidla, spätným chodom sa presunie do nabíjacej stanice

a proces nabíjania je následne iniciovaný. Rýchlosť v oblasti nabíjacej stanice je z bezpečnostných dôvodov limitovaná na 3 km/h.

Akonáhle sa nabité vozidlo AGV dostane mimo nabíjaciu zónu, je pripravené vykonávať prvú prepravnú objednávku v poradí. V úseku hlavnej prepravnej tepny (zobrazená v podkapitole 3.5 žltou farbou) dosahuje bez nákladu najvyššiu možnú prepravnú rýchlosť. V úsekoch v okolí transportných bodov (vyznačené červenou farbou) je rýchlosť znížená na 5 km/h, rovnako je tomu aj v prípade prepravy s naloženým kontajnerom. Pri nakladaní a vykladaní prepravného kontajnera je rýchlosť eliminovaná na veľmi nízku hodnotu, tak aby bezpečnostné skenovacie zariadenia boli schopné včas vyhodnotiť okolité prekážky a nepoškodili nakladacie rampy. Podľa informácii od spoločnosti Dematic je to rýchlosť od 2 km/h až do 0,5 km/h.

Vozidlá AGV sa vo výrobnej linke P1ES pohybujú bez pevne stanoveného harmonogramu na základe prijatých prepravných objednávok prichádzajúcich z úrovne systémov ERP/MES. Nasledujúci smer pohybu vozidiel AGV môže byť preto nepredvídateľný. Z tohto dôvodu je potrebné aby v úseku kde operuje vozidlo AGV došlo k maximálnej ostražitosti zamestnancov výroby. Súčasťou výrobného procesu vo výrobnej linke P1ES je aj zásobovanie z iných výrobných liniek a preto bude prijaté nasledovné pravidlo – operátor výroby, ktorý priväza, resp. odväza prepravný kontajner z iných výrobných liniek a pritom križuje transportné trasy vozidiel AGV v P1ES, musí pred týmto úkonom zadať obslužnú požiadavku do systému SAP prostredníctvom obslužného počítača. Táto požiadavka bude vyhodnotená ako prioritná a vozidlo AGV bude dočasne zastavené aby nedošlo k prípadnej kolízii. V prípade konfliktu, teda ak vozidlo AGV aktuálne obsluhuje transportný bod totožný s cieľovou destináciou operátora výroby, musí operátor počkať kým vozidlo AGV dokončí svoju prepravnú úlohu a premiestni sa do inej oblasti. Po dokončení prepravnej objednávky operátorom musí operátor výroby následne prostredníctvom obslužného počítača zadať potvrdenie o dokončení transportu. Následne bude vozidlo AGV pokračovať vo vykonávaní svojich prepravných úloh. Ak nastane situácia, kedy vozidlo AGV zastaví v nevhodnej pozícii, prípadne čiastočne zasahuje do manipulačného priestoru operátora, môže operátor použiť manuálne ovládanie vozidla AGV a toto vozidlo premiestniť ručne.

Ak vozidlo AGV nevykonáva aktuálne žiadnu činnosť, t.j. neprijalo žiadnu ďalšiu prepravnú objednávku, je nevyhnutné aby nasmerovalo svoj pohyb do parkovacej zóny, hneď vedľa nabíjacej stanice a tým pádom neblokovalo dopravné koridory (obr. 4.14). Akonáhle príjme zaparkované vozidlo AGV nasledujúcu objednávku, môže tento priestor opustiť a pokračovať v plnení úloh medzioperačnej dopravy. Táto parkovacia zóna je dočasná – v ďalších etapách rozšírenia medzioperačnej výroby do iných liniek dôjde k strategickému rozmiestneniu nabíjajúcich staníc po celej výrobnej hale P1E. Vozidlá budú teda v prípade neaktivity smerovať do najbližšej



Obr. 4.14: Parkovacia zóna pre aktuálne neaktívne vozidlo AGV

nabíjacej stanice podľa ich aktuálnej polohy.

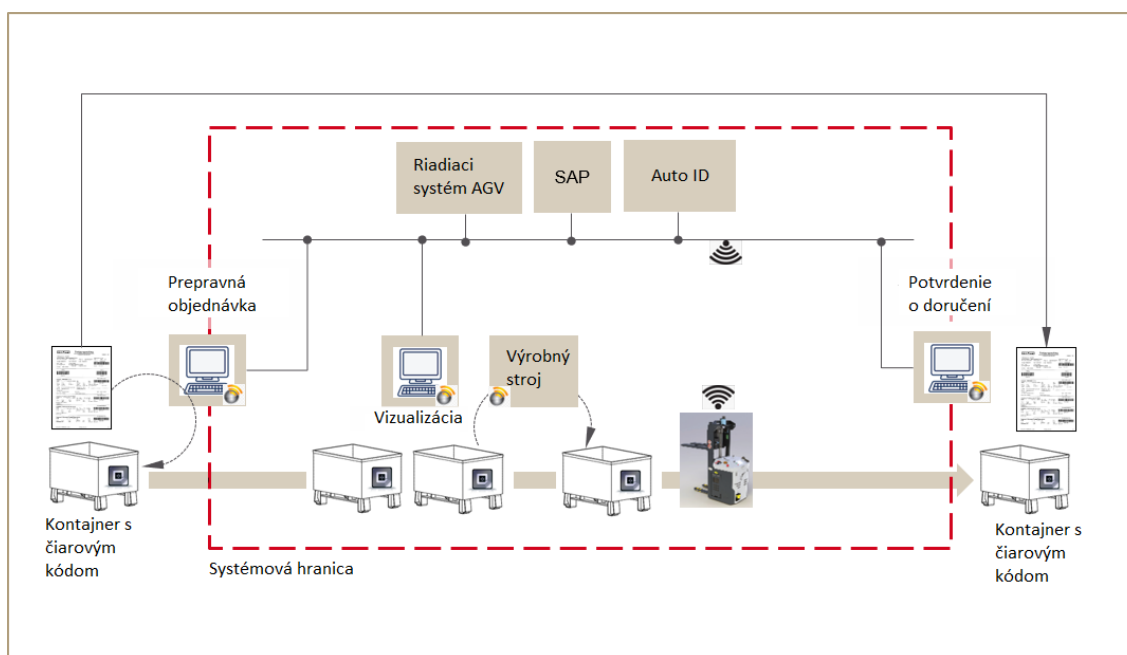
Špecifická a zriedkavá môže byť situácia, kedy dôjde k poruche oboch transportných vozidiel AGV. V takomto momente je potrebný okamžitý zásah lokálnej technickej podpory. Ak vozidlo v momente poruchy nepreváža žiaden tovar, bude okamžite prevezené do oblasti nabíjacej stanice, resp. parkovacej zóny tak, aby nepredstavoval prekážku na transportných trasách. Ak tomu dovoľuje technický stav, pre transport vozidla bude použité manuálne ovládanie. V prípade poruchy elektrického napájania musí byť vozidlo odtiahnuté pomocou vysokozdvížneho vozidla. To sa využije aj v situácii, ak k poruche na vozidle AGV došlo v momente keď transportuje kontajner. Ten musí byť bezpečne premiestnený z vidlíc vozidla AGV a ďalej manuálne prepravený do cieľového bodu. Počas nefunkčnosti vozidiel AGV budú transport dočasne zabezpečovať operátori výroby z okolitých liniek. Každá porucha vozidiel alebo systému AGV musí byť podľa zmluvných pravidiel okamžite komunikovaná s dodávateľskou spoločnosťou Dematic, ktorá prostredníctvom svojej technickej podpory zabezpečí čo možno najrýchlejšie servisné úkony priamo vo výrobnej továrni P1.

Počas jednej prepravy je možné transportovať iba jeden prepravný kontajner určený na konkrétny typ transportu. Hmotnosť kontajnera nemôže presiahnuť maximálnu transportnú nosnosť vozidla AGV ani maximálne konštrukčné zaťaženie samotného kontajnera.

4.9 Auto-ID

Jednou z podmienok konceptu Priemyslu 4.0 je transparentnosť výrobného procesu a neustály prehľad o stave výrobných objednávok. K tomu je potrebná automatizácia informačných tokov, tak aby bolo možné jednoznačne identifikovať produkty počas celého výrobného cyklu. V prípade produktov vyrábaných vo výrobní oblasti P1E z pohľadu vyrobených kusov, rýchlosti ich výroby a špecifického výrobného procesu, nie je možné jednoznačne identifikovať každý jeden vyrobený kus a preto sa pristupuje v takomto prípade k označovaniu šarží. Každá výrobná várka obsahuje presný počet kusov produktov, resp. presné množstvo materiálu s rovnakými vlastnosťami. V prepravnom kontajneri sa z tohto dôvodu transportuje vždy iba jedna šarža, resp. materiál potrebný na jej výrobu, vďaka čomu je možné logicky spojiť objednávku na konkrétny transport s vyrobenou várkou produktov.

Systém Auto-ID predstavuje konceptuálny návrh na prepojenie toku informácií o objednávke a kontajneri medzi začlenenými systémami a zariadeniami. Schéma využitia systému AutoID s jedinečnými identifikátormi zobrazuje obr. 4.15. Do komunikačného reťazca sú zapojené systémy SAP (MES/ERP) a riadiaci systém AGV, čo umožňuje spárovanie konkrétnych označených kontajnerov s prepravnými požiadavkami. Komunikácia prebieha bezdrôtovo prostredníctvom WLAN.



Obr. 4.15: Schéma systémovej integrácie AutoID

Systém Auto-ID by mal poskytovať nasledujúce informácie o jednotlivých kontajneroch:

- identifikátor kontajnera,
- typ kontajnera (v závislosti od prepravovaného materiálu alebo produktu),
- číslo objednávky,
- prepravovaný objekt,
- počet kontajnerov, ktoré patria k prepravnej objednávke.

Na hraniciach systému systému Auto-ID sú informácie digitálne previazané s pridelenými identifikátormi. Systém Auto-ID sa používa nielen na prepojenie informácií, ale aj na komunikáciu medzi subsystémami:

- SAP,
- PLC automat výrobných zariadení⁴,
- AGV.

4.9.1 Identifikácia kontajnera

Aby mohlo dôjsť k identifikácii prepravných kontajnerov a ich priradeniu k transportným objednávkam je potrebné označiť jednotlivé kontajnery unikátnymi identifikátormi. Tento projekt navrhuje pracovať s identifikátormi, ktoré budú systémovo prepojené s výrobnými a transportnými objednávkami v súlade s predstaveným konceptom Auto-ID. Každý kontajner bude mať na svojej vonkajšej konštrukcii umiestnený svoj jedinečný čiarový kód (obr. 4.16). Vďaka tomu bude možné identifikovať konkrétny prepravný kontajner, ktorý bude obsahovať produkty či materiál príslušnej prepravnej objednávky.

Pri návrhu využitia čiarových kódov ako jednoznačných identifikátorov výrobných šarží a prepravovaného nákladu boli zohľadnené špecifické transportné podmienky vyplývajúce z výrobného procesu a environmentálnych parametrov v hale P1E. Okrem hmotnosti a teploty prepravovaného nákladu bolo pri návrhu potrebné prihliadnúť aj na faktory ako menšie mechanické poškodenia kontajneru, nečistota povrchu, špecifický tvar a hlavne spôsob nakladania kontajneru vozidlami AGV. Čiarové kódy boli vyhodnotené ako najvhodnejšia možnosť z pohľadu ich jednoduchej výmeny a cenovej náročnosti celého konceptu identifikácie kontajnerov. Zároveň čiarový kód na bielom povrchu poskytuje dobré podmienky pre úspešnosť skenovania. Čiarový kód bude vytlačený čiernou farbou na biely papier vo formáte A4 a prilepený ku kontajneru v centrálnej polohe na každej strane.

Každý čiarový kód reprezentuje určitý číselný identifikátor. Ten je možné rozdeliť do číselných rozsahov a priradiť ho tak k jednotlivým prepravným cyklom kontajnerov (obr. 4.17). Prvé dvojčíslenie predstavuje kontajnerový okruh, napr. prepravu hotových výrobkov z bodu E (miesto vyzdvihnutia prázdnych kontajnerov), cez mezzizastávky D_1, F_1, H_1 až do finálneho bodu G_1 kde sa výrobky po kalení predávajú

⁴Siemens S7 300.



Obr. 4.16: Označenie prepravného kontajnera čiarovým kódom

ďalej na zinkovanie (konkrétne kontajnerové okruhy boli uvedené v podkapitole 3.4). Takéto označenie ma za úlohu identifikovať kontajnery, ktoré sú určené na konkrétny úsek celej medzioperačnej dopravy vo výrobnéj linke P1ES. Znamená to, že kontajnery zostávajú po naplnení a následovnom vyprázdnení stále v jednom okruhu, aby nedošlo k zámene a prípadnej kontaminácii nežiadúcimi nečistotami z iných výrobných procesov. Druhá časť identifikátora pozostáva z unikátneho čísla priradeného konkrétnemu kontajneru. Ten je systémovo spárovaný s aktuálnou transportnou objednávkou pre možnú identifikáciu prepravovaných šarží.

4.9.2 Skenovanie identifikátorov

Pri návrhu identifikácie vyrobených produktových šarží je potrebné prihliadnuť takisto na spôsob, akými dôjde k samotnému procesu skenovania. Kľúčovou podmienkou je autonómne skenovanie samotným vozidlom AGV, ktorý manipuluje s kontajnerom pri obsluhu prepravných objednávok. K tomu je nevyhnutná prítomnosť skenera čiarových kódov, ktorý musí byť umiestnený na konštrukcii vozidla a ktorý musí byť schopný načítať čiarový kód pred tým, ako dôjde k manipulácii s kontajnerom. Z uvedených dôvodov bol zvolený návrh umiestnenia skenera na vysokozdvížny rám pre plynulý priebeh skenovania a nakladania kontajnera (obr. 4.18).



Obr. 4.17: Číselný identifikátor s čiarovým kódom



Obr. 4.18: Skener čiarových kódov Sick CLV65x a jeho umiestnenie na vysokozdvížnej konštrukcii vozidla AGV[31]

Obrázok vpravo zobrazuje výrobcom ponúkaný príklad skenovania až po zasunutí nosných rámov pod náklad, v prípade tohto návrhu však dôjde k skenovaniu pred procesom naloženia, nakoľko sa v P1E využíva otvorený kontajner. Podmienkou umiestnenia je voľné „zorné pole“ skenera, tj. skenovacie zariadenie musí byť

schopné naskenovať čiarový kód bez akejkoľvek prekážky medzi skenerom a čiarovým kódom. Proces skenovania bude prebiehať pred naložením kontajnera nasledovne – vozidlo príde do tranzitného bodu podľa pokynov riadiaceho systému AGV, nasmeruje sa svojím pohybom ku kontajneru nosnými rámami vpred, priblíži sa pomalým horizontálnym pohybom ku kontajneru na vzdialenosť potrebnú ku skenovaniu kódu a po obdržaní signálu o úspešnom získaní identifikátora kontajnera bude ďalej pokračovať horizontálnym pohybom smerom ku kontajneru. Následne môže vozidlo vykonať vertikálny pohyb vysokozdvížnou konštrukciou pre nadvihnutie kontajnera. Proces kalibrácie a vymedzenia vhodnej vzdialenosti vozidla AGV od kontajnera pre úspešné skenovanie čiarového kódu musí byť otestovaný počas implementačnej fázy systému AGV priamo dodávateľskou firmou Dematic, ktorá dané riešenie odsúhlasila.

Pri návrhu skenovacieho zariadenia bol zvolený model CLV65x od spoločnosti Sick. Jedná sa o fixne inštalovateľný skener využívajúci viditeľné červené spektrum svetla s vlnovou dĺžkou 658 nm, skenovacou frekvenciou 600 až 1 000 Hz a rozlíšením 0,25 až 1 mm. Tento model bol zvolený z dôvodu schopnosti automatického zaostrenia, čo sa pri návrhu môže javiť ako rozhodujúci faktor. Kontajner, resp. vozidlo AGV totiž pri skenovaní nemusia byť vo vzájomne ideálnej polohe a výberom skenera CLV65x sa predpokladá vyriešenie potencionálne hroziaceho problému s ideálnou pozíciou pri skenovaní čiarového kódu. Ďalšou devízou tohto modelu je aj schopnosť rekonštrukcie poškodeného a nie dostatočne čistého povrchu kódu a dokonca možnosť detekcie kódu otočeného v uhle až do 45°. Zásadná je pri výbere je aj podmienka schopnosti čitateľnosti na väčšiu vzdialenosť, keďže skener bude umiestnený v hornej polohe vysokozdvížného rámu vozidla AGV. V tomto prípade výrobca, spoločnosť Sick, deklaruje čítaciu vzdialenosť od 125 mm až po 1 625 mm, čo je dostatočný rozsah pre realizáciu tohto návrhu.[32]

Skenovacie zariadenie čiarových kódov nie je štandardným vybavením vozidiel AGV od spoločnosti Dematic. Po konzultácii došlo k dohode a Dematic preberie zodpovednosť za inštaláciu a testovanie počas realizačnej fázy a zároveň softvérovo zakomponuje Auto-ID do systému AGV. Táto ponuka bude zohľadnená vo finančnom zhodnotení na konci diplomovej práce.

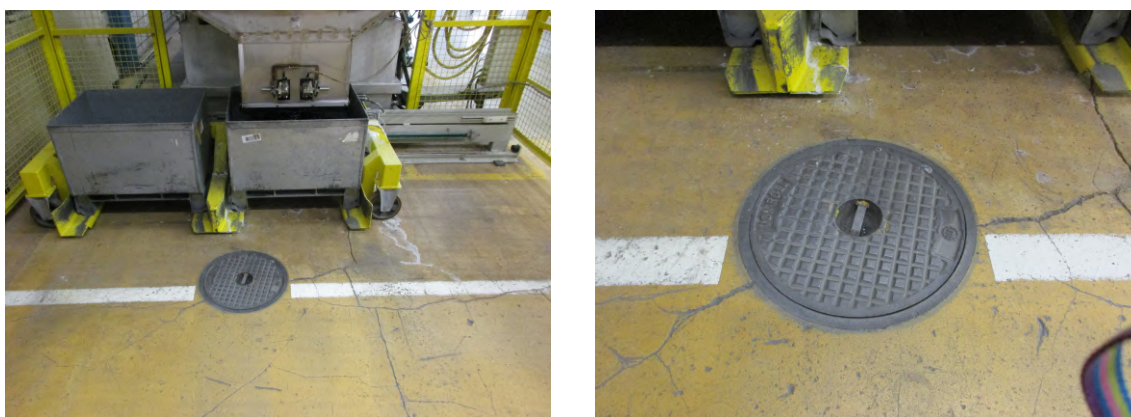
4.10 Eliminácia existujúcich prekážok

Počas realizácie projektu je potrebné vziať do úvahy všetky vplyvy prostredia, ktoré môžu negatívne ovplyvniť pohyb AGV a tým pádom aj samotný systém automatizovanej obsluhy výrobných linky. Táto kapitola sumarizuje reálne výrobné linky P1ES ovplyvňujúce projektovú a implementačnú fázu.

Nerovnosti na podlahe

Vozidlá AGV si pri svojom pohybe v priestore vyžadujú schopnosť dostatočne dobrej trakcie kolies. Tie nie sú z konštrukčného hľadiska predurčené prekonávať povrchové nerovnosti na podlahe a bežná povrchová úprava kolies neumožňuje efektívny prenos kinetickej energie na šmyklavých povrchoch. Tieto fakty je preto potrebné zohľadniť už pri samotnom návrhu a pred realizačnou fázou projektu je nevyhnutné nedostatky odstrániť.

V prípade výrobnjej oblasti P1ES sa javí ako obzvlášť kritické umiestnenie poklopu v blízkosti nakladacej rampy F3. Ako je možné vidieť na obr. 4.19, poklop sa nachádza v tesnej blízkosti hrany rampy a pri manipulácii s kontajnerom musí byť schopný pohybu bez preklzu kolies. Navyše, pri horizontálnom pohybe vozidla hrozí



Obr. 4.19: Poklop umiestnený v podlahe v tesnej blízkosti nakladacej rampy F3

pri preklze jedného kolesa na hnacej náprave skríženie, čo je v tomto prípade kritické vzhľadom k eventuálnej hrozbe poškodenia rampy. Poklop pokrývajúci šachtu nie je možné odstrániť, navyše obsahuje výrez pre uchopenie čo by mohlo spôsobiť vertikálnu nestabilitu pri pohybe vozidla AGV. Ako jediná vhodná alternatíva sa javí výmena kovového poklopu za kompozitný bez výrezu na uchopenie (obr. 4.20). Uvedený poklop zodpovedá požiadavkám normy EN 124, je vystužený sklenenými vláknami a odolný voči vysokým i nízkym teplotám, chemikáliám a korózii.

Ďalšou nerovnosťou v podlahe je odtokový žlab pokrytý nerezovým mriežkovým chráničom. Konkrétne sa nachádza v oblasti chodníka pre chodcov pozdĺž západnej strany umývacej linky (obr. 4.21). Prítomnosť žlabu je nevyhnutná pre odtok vody z tejto linky a preto je potrebné ho zachovať. Nevyhnutné je okrem nerovného a za prítomnosti vody šmyklavého povrchu chrániča myslieť aj na maximálne hmotnostné zaťaženie celého odtokového systému. Zo známych dostupných údajov nie je jasné, aké je celkové prípustné zaťaženie aktuálnych žlabov, preto sa aj ako cenovo prípustné riešenie javí ich kompletná výmena. Navrhnutým riešením sú polymér-betónové žlabové systémy, ktoré spĺňajú normu EN 1433 pre najvyššie požadované



Obr. 4.20: Poklop pre zakrytie šachty z kompozitného materiálu[33]

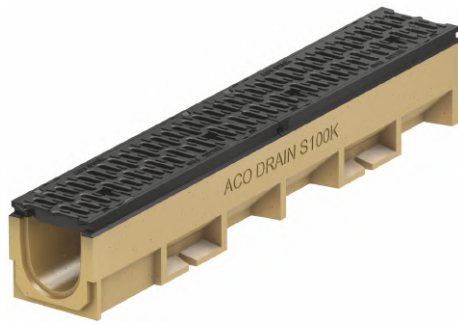


Obr. 4.21: Odtokový žlab s nerezovým mriežkovým chráničom

zaťaženie s triedou zaťaženia do F900 (900 kN). Pre prekrytie žlabu sa použijú mostíkové rošty z liatiny eliminujúce možnosť preklzu kolies (obr. 4.22).

Kritický je aj výrez v podlahe, ktorý zostal po odstránení nepotrebného výrobného zariadenia v minulosti a tvorí nebezpečnú nerovnosť na povrchu podlahy v priestore P1ES. Tento otvor bude zakrytý oceľovou doskou, zvarovaný do jedného celku a zarovnaný spolu s podlahou.

Dodatočne bude z dôvodu možných nečistôt na povrchu podlahy realizované



Obr. 4.22: Polymérbetónový žlab s mostíkovým roštom z liatiny[34]



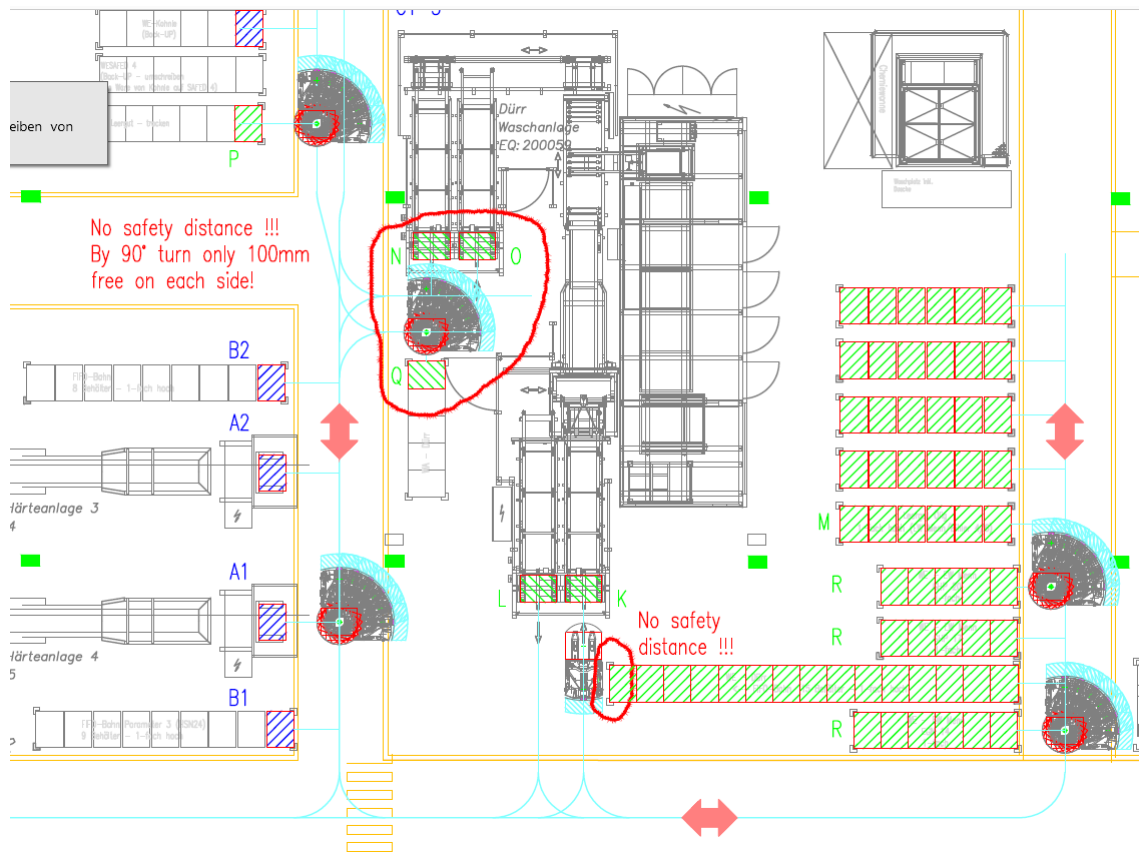
Obr. 4.23: Výrez v podlahe

použitie takých kolies, ktoré efektívne znižujú pravdepodobnosť preklzu. Po konzultácii s dodávateľom AGV vzišlo ako vhodné riešenie použitie polyuretánových kolies, ktoré majú lepšiu priľnavosť a trakčné vlastnosti. Polyuretán má tendenciu byť priľnavým materiálom, takže jeho vyšší koeficient trenia môže pomôcť zabrániť prípadnému preklzu na klzavejších povrchoch. Jeho nevýhodou je pri očakávanom vyššom zaťažení rýchlejšie opotrebovanie kolies, preto bude potrebné rátať s vyššími nákladmi v spojitosti s ich častejšou výmenou.

Po odstránení uvedených nedostatkov v podlahe a použitím polyuretánových kolies sa predpokladá, že vozidlá AGV budú schopné bezpečného a efektívneho horizontálneho pohybu po vybranom úseku výrobnéj haly.

Nedostatočná bezpečnostná vzdialenosť

Jeden z aspektov, ktorý je potrebné zohľadniť už pri samotnom návrhu trajektórie pohybu vozidiel AGV je nevyhnutná požiadavka dodržať bezpečnostnú vzdialenosť (minimálne 90 cm) medzi vozidlom AGV a okolitými objektami, tak aby nie len pri pohybe, ale aj rotácii okolo vlastnej osi nedošlo ku kolízii. Vychádzajúc z tejto požiadavky a aktuálnemu rozloženiu strojov, zariadení a transportných bodov bude potrebné posunúť nakladaciu rampu Q približne o 1 m južným smerom. Toto presunutie bude mať minimálny dopad na prepravný čas v dôsledku blízkosti transportných bodov N a Q. Obdobne, aj v prípade transportného bodu J v blízkosti



Obr. 4.24: Nedostatočná bezpečnostná vzdialenosť pri pohybe AGV v blízkosti okolitých objektov

nakladacej rampy K platí, že vzdialenosť od okolitých objektov pri pohybe vozidla AGV nie je dostatočná a tým pádom nespĺňa bezpečnostné požiadavky. V tejto lokalite stačí skrátiť dĺžku rolovacieho kontajnerového dopravníka zhruba o 150 cm.

Pri týchto úpravách bude rovnako potrebné, tak ako je to uvedené vo vyššie uvedených prípadoch, dôkladne vyrovnať povrch prepravnej plochy aby v nej nezostali diery a iné nerovnosti vzniknuté z kotevných prvkov a iných inštalačných materiálov.

5 Finančná analýza

Táto kapitola obsahuje cenovú ponuku uvedeného návrhu, vrátane technológií a systému AGV pre medzioperačnú dopravu vo výrobní linke P1ES. Zohľadňuje všetky uvedené aspekty definované v predchádzajúcich kapitolách a predstavuje finančný návrh po konzultácii s vybranou dodávateľskou spoločnosťou Dematic. Ďalej prezentuje ekonomickú analýzu návrhu spolu s predpokladanými úsporami a vyhodnotenou dobou návratu investície. Ostatné vzniknuté interné náklady v súvislosti s implementáciou technológie AGV sa pri výpočte nákladov neberú do úvahy (napr. odstránenie existujúcich infraštruktúrnych prekážok).

Firma Dematic ponúka svojim zákazníkom v rámci implementácie medzioperačnej dopravy ich hardvérových a systémových produktov AGV nasledovné podporné služby:

- podpora pri spustení prevádzky – školenie obslužného personálu a pohotovostnú technickú podporu počas zmluvne zadaného obdobia,
- preventívna údržba celého systému raz za kalendárny rok,
- pohotovostná vzdialená technická podpora 24 hodín denne, 7 dní v týždni,
- nepretržité monitorovanie celého systému spolu s diagnostikou v prípade systémovej poruchy,
- servis vozidiel a dodávku náhradných dielov počas celej doby životnosti systému¹.

Tieto služby vrátane servisných úkonov sú štandardne poskytované zákazníkom v rámci odberateľsko-dodávateľských vzťahov a nie sú explicitne zarátané v nákladovej kalkulácii. Dodacia doba sa v súčasnosti odhaduje na 8 mesiacov a presne sa deklaruje v dodacom kalendári pred podpisom zmluvy medzi zmluvnými stranami.

5.1 Náklady

Predbežná cenová ponuka vznikla na základe konzultácie navrhnutého riešenia medzioperačnej dopravy v P1ES s dodávateľskou firmou Dematic (obr. 5.1). Zahŕňa všetky potrebné systémy a komponenty pre automatizovanú medzioperačnú dopravu výrobní linky P1ES.

Okrem dodávky hardvérových a softvérových produktov sú pri cenotvorbe zohľadnené aj inštalačné, montážne a testovacie náklady spojené s implementačnou fázou projektu. Súčasťou nákladových položiek je aj systémové prepojenie technologickej úrovne a úrovne vozidiel AGV s podnikovou a prevádzkovou úrovňou. Dodávateľ sa zaväzuje integrovať svoje softvérové riešenia do existujúceho systému

¹Životnosť systému je garantovaná na 20 rokov.

riadenia podniku tak, aby bola zabezpečená autonómna a plne automatizovaná medzioperačná doprava bez nevyhnutných dodatočných investícií.

Výpočet nákladov		
Náklady spojené s nákupom systému AGV		
Položka	Hodnota	Jednotka
2x vozidlo E'gv® FLV 2012/NL		
3x olovený akumulátor		
Automatizovaná nabíjacia stanica		
Prepravný vozík pre manuálnu výmenu batérie	216 000	EUR
Ovládací systém E'nsor®		
Doživotná licencia		
Implementácia transportných trás		
SLAM navigácia	56 200	EUR
Riadiaci systém E'tricc®		
Doživotná licencia		
Auto ID		
Systémové prepojenie s SAP		
Grafická vizualizácia celého prepravného systému	96 500	EUR
Realizácia projektu		
Tvorba konceptu		
Inžiniering a usporiadanie výroby vozidiel a komponentov		
Programovanie a parametrizácia softvéru	33 000	EUR
Manažment projektu	29 500	EUR
Montáž a inštalácia		
Testovacia fáza		
Technická a obslužná dokumentácia	36 219	EUR
Transport vozidiel do P1	2 600	EUR
2x Skener čiarových kódov	9 340	EUR
2x Prídavný snímač na vidlice pre monitorovanie priestoru medzi vozidlom a kontajnerom	2 660	EUR
Spolu v EUR	482 019	EUR
Aktuálny výmenný kurz EUR - CHF	1,10	
Spolu v CHF	530 221	CHF

Obr. 5.1: Finančné náklady spojé s nákupom vozidiel a systému AGV

Vypočítaná hodnota potrebných nákladov pre zavedenie medzioperačnej výroby na linke P1ES prostredníctvom systému AGV je stanovená na 482 019 švajčiarskych frankov (lokálna mena v Lichtenštajnsku).

Jednotlivé položky a ceny vo finálnom návrhu sa môžu ešte v budúcnosti mierne líšiť v závislosti od obdobia, v ktorom dôjde k uzatvoreniu obchodno-dodávateľskej zmluvy. Konečnú cenu nákladov ovplyvňuje aj aktuálny výmenný kurz medzi menovým párom EUR voči CHF, nakoľko región DACH² pokrýva obchodné zastúpenie v Nemecku.

²Označenie pre zoskupenie krajín Nemecka, Rakúska, Švajčiarska a Lichtenštajnska.

5.2 Úspory

Zdroj úspor plynie z nákladov, ktoré sú v súčasnosti spojené so mzdami zamestnancov obsluhujúcich transportné objednávky manuálne. Počas každej smeny zabezpečuje vykonávanie prepravných objednávok jeden operátor výroby. V prípade 3 smenného pracovného cyklu sa už jedná o mzdové náklady na 3 zamestnancov, pričom priemerná hrubá ročná mzda v Lichtenštajnsku sa u operátorov výroby pohybuje na úrovni 72 600. Pri výpočte redukcie mzdových nákladov je však potrebné zohľadniť aj nevyhnutnú prítomnosť stálej technickej podpory, ktorý dohliada na bezproblémový chod medzioperačnej dopravy a v prípade technického problému je okamžite pripravená zasiahnuť. Hrubá mzda takéhoto pracovníka sa pohybuje na priemernej úrovni 84 960 CHF ročne. Tento náklad znižuje celkové úspory spojené so mzdami zamestnancov.

Výpočet úspor			
Mzdové náklady			
Položka	Hodnota	Jednotka	
1 operátor výroby (=1 smena)	72 600	CHF/rok	
3 operátori výroby (=3 smeny)	217 800	CHF/rok	
1 pracovník internej technickej podpory	84 960	CHF/rok	
Redukcia mzdových nákladov	132 840	CHF/rok	
Operačné náklady			
	AGV	paletový vozík	
Položka	Hodnota	Hodnota	Jednotka
Upgrade softvéru cez OEM	1000	0	CHF/rok
Servis hardvéru cez OEM	7000	500	CHF/rok
Pohotovostná externá technická podpora	12000	0	CHF/rok
Náhradné diely	3500	200	CHF/rok
Spolu	23 500	700	CHF/rok
Redukcia operačných nákladov		-22 800	CHF/rok
Celková redukcia nákladov		110 040	CHF/rok

Obr. 5.2: Mzdové úspory

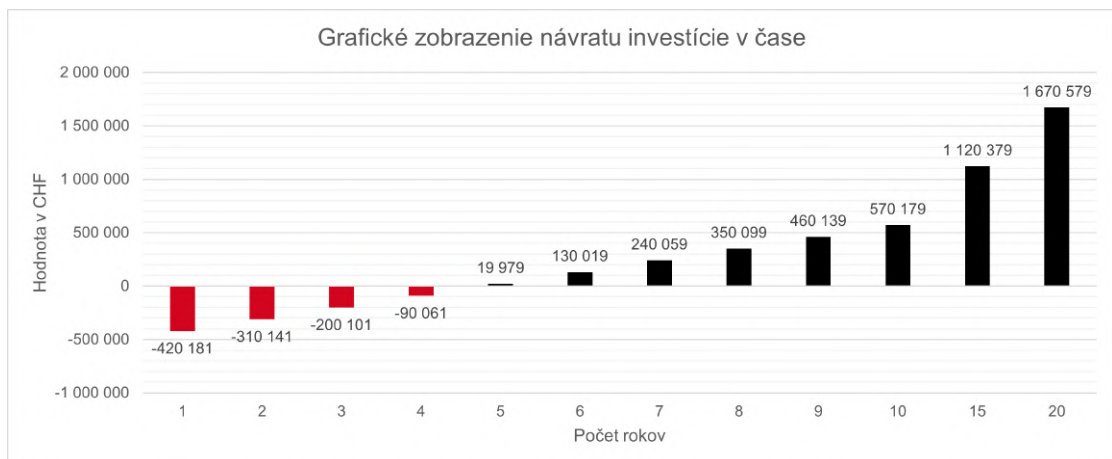
Ďalším faktorom ovplyvňujúcim návratnosť investície môžu byť operačné náklady, do ktorých spadajú položky spojené so servisom použitého hardvéru a softvéru. V prípade softvérových systémov sa jedná hlavne o pravidelnú aktualizáciu a inštaláciu novších verzií, ktoré nespádajú do licenčných poplatkov hradených v nákladovej kalkulácii. U hardvérových komponentov je potrebné zohľadniť hlavne mechanické opotrebenie jednotlivých komponentov (napr. častú výmenu navrhnutých polyuretánových kolies) a paušálne ročné poplatky spojené s využitím externej technickej podpory v prípade vážnej poruchy. Pri výpočte redukcie operačných ná-

kladov v rámci tohto projektu dosahuje táto kalkúlia záporných hodnôt (22 800 CHF ročne) – nedochádza k úspore, ale naopak k nárastu nákladov. Je to v dôsledku porovnávania relatívnej jednoduchšej transportnej techniky (paletových vozíkov) využívanej v súčasnosti so sofistikovanou technológiou AGV.

Po sčítaní redukcie mzdových a operačných nákladov dochádza ku konečnej kalkulácii redukcie nákladov. V prípade zavedenia medzioperačnej dopravy pomocou systému AGV vo výrobnjej linke je výsledok výpočtu celkovej redukcie stanovený na 110 040 CHF za kalendárny rok.

5.3 Vyhodnotenie

Jeden z argumentov v prospech rozhodnutia o zavedení medzioperačnej dopravy pomocou systému AGV je celková miera návratu investície v priebehu garantovanej životnosti vozidiel AGV. Tá vyplýva z porovnania nákladovej tabuľky a redukcie mzdových a operačných nákladov (obr. 5.3).



Obr. 5.3: Grafické zobrazenie doby návratu investície

Z výsledkov finančnej analýzy a výpočtu doby návratu investície je zrejmé, že návratnosť sa predpokladá po uplynutí 5 rokov od spustenia projektu. Z toho vyplýva, že prvé 4 roky sa budú náklady amortizovať a postupne výnosy z úspor na mzdových nákladoch pokryjú finančné výdavky spojené so zavedením medzioperačnej dopravy. To by umožnilo splniť zadaný cieľ dosiahnuť amortizačné obdobie 5 rokov. Je zrejmé, že rozhodujúci vplyv na návratnosť finančnej investície má práve výška nákladov spojená so mzdami zamestnancov.

Záver

Priemysel 4.0 pretavuje snahy a myšlienky digitalizácie a virtuálizácie výrobného procesu do podoby tzv. inteligentných tovární, ktoré integrujú moderné inovácie, digitálne technológie spolu s technologicky vyspelými strojmi a zariadeniami. Ich vzájomné prepojenie a komunikáciu zabezpečujú sofistikované nástroje pre správu a manažment výrobného podniku, čím sa dosahuje úroveň autonómnej výroby. Vďaka technologickým procesom, ktoré podporuje Priemysel 4.0 je produktivita výroby v inteligentných továrňach maximálne efektívna, flexibilná a optimalizovaná na základe individuálnych požiadaviek zákazníka. Diplomová práca v prvej kapitole uvádza technológie, systémy a procesy, ktoré spadajú do tohto kontextu a sú podrobnejšie opísané. Okrem samotnej výroby je však potrebné zohľadniť aj proces zásobovania výrobných zariadení potrebným materiálom na výrobu a prepravu hotových alebo čiastočne hotových výrobkov na iné miesto vo výrobnom závode. Takýto transport sa nazýva medzioperačná doprava a podniky, ktoré plánujú povýšiť svoj výrobný proces v súlade s myšlienkou Priemyslu 4.0 sa jedná o kľúčovú časť celého výrobného cyklu priamo ovplyvňujúcu produktivitu výroby.

Táto diplomová práca stojí na základe interného projektu spoločnosti Hilti s cieľom povýšenia aktuálne manuálne zabezpečovaného medzioperačného transportu na plne automatizovaný spôsob zásobovania a prepravy materiálu či produktov, rešpektujúc princípy štvrtej priemyselnej revolúcie. Dlhodobým zámerom Hilti je totiž postupná transformácia svojho výrobného závodu P1 na Priemysel 4.0. Táto zmena však nemôže byť z finančných, sociálno-spoločenských, infraštrukturálnych a technologických dôvodov realizovaná nárazovo. Pre kontinuálny prechod sa vedenie firmy Hilti rozhodlo odštartovať v P1 pilotný projekt racionalizácie a modernizácie medzioperačnej dopravy vo výrobnej linke P1ES. Inicializačná fáza projektu, ktorá je reprezentovaná touto diplomovou prácou, sa orientuje na vytvorenie komplexného návrhu obsluhy prepravných požiadaviek v rámci toku materiálu a produktov medzi jednotlivými výrobnými zariadeniami a transportnými bodmi. Pre pochopenie nevyhnutných zmien a vytvorenie návrhu bola vykonaná analýza súčasného stavu medzioperačnej dopravy, výrobného procesu a samotného materiálového toku. Z nej plynie, že pre zavedenie automatizovanej prepravy je možné nahradiť pri vykonávaní prepravných úloh operátorov výroby systémom AGV. Infraštruktúra a technologická pripravenosť linky P1ES umožňuje implementáciu a pohyb vozidiel AGV.

Definované špecifické podmienky výrobného závodu P1 kladú podmienky na výber vhodného typu vozidla AGV, na základe ktorých je predstavený konkrétny model vysokozdvížneho vozidla AGV schopný plniť transportné úlohy nie len na linke P1ES, ale v budúcnosti aj v iných častiach výrobného areálu P1E. Zakomponovanie systému AGV do medzioperačnej dopravy v zmysle Priemyslu 4.0 vyžaduje integritu

existujúcich a navrhovaných systémov, tak aby bol predstavený ucelený automati-začný koncept implementovateľný. Dodávateľ systému AGV preto okrem samotných vozidiel AGV ponúka softvérové a systémové riešenia pre riadenie a ovládanie vozidiel. Tieto systémy sú schopné prijímať a vykonávať požiadavky od nadradeného systému riadenia podniku ERP/MES, ktorý je už vo výrobní továrni zavedený. Vzájomnú komunikáciu systémov a zariadení predstavuje návrh sieťovej architektúry s využitím technológie WLAN.

Predpokladom pre využitie prepravnej technológie AGV je výpočet potrebného množstva vozidiel. Na základe vytvorenej transportnej matice zobrazujúcej intenzitu transportu bola vykonaná kalkulácia kapacitného plánovania s využitím AGV. Z výsledkov je zrejmé, že jedno vozidlo by pri súčasnej intenzite produkcie a manuálnom spôsobe výmeny batérie bolo postačujúce. To sa však nezlučuje s princípom Priemyslu 4.0 a preto projekt uvažuje iba o automatizovanom spôsobe nabíjania s využitím nabíjajúcich staníc s kontaktmi umiestnenými v podlahe. Pri takomto nabíjaní sa znižuje dostupnosť vozidla počas doby nabíjania a preto kapacita prepravy dosiahne 102%, čo znamená, že jedno vozidlo je v tomto prípade nepostačujúce. V prípade využitia dvoch vozidiel a automatizovaného spôsobu nabíjania je celkové zaťaženie systému 81%. Z uvedeného porovnania vzišla potreba zaobstarania 2 kusov vozidiel AGV, pričom 2 vozidlá poskytujú dostatočnú rezervu (napr. v prípade krátkodobej poruchy). Súčasťou návrhu je ďalej aj vytvorený návrh transportných trás, po ktorý sa budú môcť vozidla AGV pohybovať pri vykonávaní svojich úloh. Stanovené transportné pravidla riešia správanie vozidiel v špecifických situáciách tak, aby bola zachovaná plynulosť dopravy s dôrazom na bezpečnosť.

Pred spustením implementačnej fázy medzioperačnej dopravy pomocou systému AGV na linke P1ES je potrebné odstrániť existujúce infraštrukturálne nedostatky, ktoré sú zachytené na obrázkoch. Návrh v rámci tejto práce predstavuje aj možnosti odstránenia uvedených nedostatkov, ktoré firma Hilti zabezpečí na svoje náklady nevzťahujúce sa do celkových nákladov spojených so spustením projektu.

Podstatnou a záverečnou časťou diplomovej práce je finančná analýza spojená s realizáciou projektu. Predstavený komplexný návrh bol priebežne konzultovaný s dodávateľskou spoločnosťou zvoleného systému AGV a po skompletizovaní všetkých potrebných hardvérových a softvérových produktov bola dodávateľom vytvorená kalkulácia nákladov stanovená po prepočte na viac ako 12 mil. CZK. Je pochopiteľné, že každá spoločnosť uvažujúca o transformácii na Priemysel 4.0 hľadá za nevyhnutnými investíciami aj dlhodobú návratnosť. Tá vychádza v prípade tohto projektu z úspory mzdových nákladov. Vysoká hodinová mzda v Lichtenštajnsku umožňuje pomerne vysokú mieru redukcie nákladov, po zohľadnení operačných nákladov je to v prepočte zhruba 2,8 mil. CZK. Po vyhodnotení nevyhnutných nákladov a plánovaných úspor vznikol odhadovaný výpočet doby amortizácie počiatkovej investície. Tá

bola stanovená ako návratná po uplynutí 4 rokov od realizácie projektu. Podmienkou spoločnosti Hilti pre spustenie implementačnej časti projektu bolo dosiahnutie amortizačnej doby kratšej ako 5 rokov, čo návrh obsiahnutý v tejto diplomovej práci spĺňa. Projekt je teda považovaný za realizovateľný a jeho spustenie bude po finálnom rozhodnutí vedenia firmy Hilti naplánované najskôr na štvrtý kvartál roku 2021.

Literatúra

- [1] *World Economic Forum Annual Meeting 2016: Mastering the Fourth Industrial Revolution* [online]. World Economic Forum, 2016 [cit. 25. 11. 2020]. Dostupné z URL:
<http://www3.weforum.org/docs/WEF_AM16_Report.pdf>.
- [2] OSTERRIEDER, Philipp, Lukas BUDDE a Thomas FRIEDLI. The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics* [online]. 2020, 221, 1-16 [cit. 29. 11. 2020]. ISSN 09255273. Dostupné z URL:
<<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0925527319302865?token=0A3A6FE736775A7374C815E06CD76F1777AC20AB7A52B1E00DA0309998A372E89F33F27C448DB77D490F2101A1A67CA7>>.
- [3] MABKHOT, Mohammed, Abdulrahman AL-AHMARI, Bashir SALAH a His-ham ALKHALEFAH. Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective. *Machines* [online]. 2018, 6 (2)[cit. 30. 11. 2020]. ISSN 2075-1702. Dostupné z URL:
<www.mdpi.com/2075-1702/6/2/23>.
- [4] AHDAVINEJAD, Mohammad Saeid, Mohammadreza REZVAN, Mohammadamin BAREKATAIN, Peyman ADIBI, Payam BARNAGHI a Amit P. SHETH. Machine learning for internet of things data analysis: a survey. *Digital Communications and Networks* [online]. 2018, (4), 161-175 [cit. 27. 11. 2020]. ISSN 23528648. Dostupné z URL:
<<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S235286481730247X?token=D5BCC7B38744422B4312FDB08644165244F49D72D30ECFB3EEC49285F92E71FF5CDD13ABCE318BA96DE19D0D8D31C337>>.
- [5] OUSSOUS, Ahmed, Fatima-Zahra BENJELLOUN, Ayoub AIT LAHCEN a Samir BELFKIH. Big Data technologies: A survey. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* [online]. 2018, 30(4), 431-448 [cit. 29. 11. 2020]. ISSN 13191578. Dostupné z URL:
<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1319157817300034>>.
- [6] XU, Li Da a Lian DUAN. Big data for cyber physical systems in industry 4.0: A survey. *Enterprise Information Systems* [online]. 2018, 13(2), 148-169 [cit. 30. 11. 2020]. ISSN 1751-7575. Dostupné z URL:
<<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17517575.2018.1442934>>.

- [7] LIDONG, Wang a Wang GUANGHUI. Big Data in Cyber-Physical Systems, Digital Manufacturing and Industry 4.0. *International Journal of Engineering and Manufacturing* [online]. 2016, 6(4), 1-8 [cit. 12. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<http://www.mecs-press.org/ijem/ijem-v6-n4/v6n4-1.html>>.
- [8] SALLES, Rafael, CODA Felipe, SILVA Jose, FILHO Diolinom, MIYAGI Paulo a JUNQUEIRA Fabricio. Requirements Analysis for Machine to Machine Integration within Industry 4.0. *2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications* [online]. IEEE International Conference, 2018, 7 [cit. 7. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8627324>>.
- [9] Industry 4.0 solutions: Ingredients to make Industry 4.0 a reality. *Texas Instruments* [online]. Texas Instruments Incorporated, c1995-2020 [cit. 8. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://www.ti.com/applications/industrial/industry-4-0.html>>.
- [10] 5 Clear Benefits of Digital Twins and Their Place in the Modern Factory. *Global Electronic Services* [online]. Global Electronic Services, c2020 [cit. 8. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://gesrepair.com/5-clear-benefits-of-digital-twins-and-their-place-in-the-modern-factory/>>.
- [11] FINCH, Caleb. Manufacturing with VR Becoming a (Virtual) Reality. *QAD* [online]. 2018, 25.9.2018 [cit. 6. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://www.qad.com/blog/2018/09/manufacturing-vr-becoming-virtual-reality>>.
- [12] CALVO, Jorge. Augmented Reality: Exponential Technologies in the Smart Factory. *Strategy 4.0: Business transformation toward the fourth industrial revolution* [online]. Francisco: Jorge Calvo, 2018, 11. 10. 2018 [cit. 6. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<http://strategy4.org/my-blog/augmented-reality-exponential-technologies-in-the-smart-factory>>.
- [13] HTUN, Zin Min a Frolov Evgeny BORISOVICH. Intergrated Production System using ERP and MES. *2019 2nd International Conference of Intelligent Robotic and Control Engineering (IRCE)* [online]. Singapore: IEEE, 2019, s. 32-36 [cit. 13. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9107555/>>.

- [14] Co je to SCADA?: Dokumentace SCADA systému PROMOTIC 9.0.13. *Promotic: SCADA visualization software* [online]. Ostrava: c MICROSYS [cit. 13. 12. 2020]. Dostupné z URL: <<https://www.promotic.eu/cz/pmdoc/WhatIsPromotic/WhatIsScada.htm>>.
- [15] RAPTIS, Theofanis P., Andrea PASSARELLA a Marco CONTI. Data Management in Industry 4.0: State of the Art and Open Challenges. *IEEE Access* [online]. 2019, 7, 97052-97093 [cit. 16. 12. 2020]. ISSN 2169-3536. Dostupné z URL: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8764545/>>.
- [16] LONG, F., P. ZEILER a B. BERTSCHE. Modelling the flexibility of production systems in Industry 4.0 for analysing their productivity and availability with high-level Petri nets. *IFAC-PapersOnLine* [online]. 2017, 50(1), 5680-5687 [cit. 15. 12. 2020]. ISSN 24058963. Dostupné z URL: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896317316087>>.
- [17] GRANILLO-MACÍAS, Rafael, Isaias SIM-N-MARMOLEJO, Isidro J. GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ a Jorge ZUNO-SILVA. TRACEABILITY IN INDUSTRY 4.0: A CASE STUDY IN THE METALMECHANICAL SECTOR. *Acta logistica – International Scientific Journal about Logistics* [online]. Acta logistica, 2020, 6 s. [cit. 15. 12. 2020]. ISSN 1339-5629. Dostupné z URL: <http://actalogistica.eu/issues/2020/II_2020_04_Granillo-Macias_Simon-Marmolejo_Gonzalez-Hernandez_Zuno-Silva.pdf>.
- [18] CULOT, Giovanna, Fabio FATTORI, Matteo PODRECCA a Marco SARTOR. Addressing Industry 4.0 Cybersecurity Challenges. *IEEE Engineering Management Review* [online]. 2019, 47(3), 79-86 [cit. 15. 12. 2020]. ISSN 0360-8581. Dostupné z URL: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8758411/>>.
- [19] CORALLO, Angelo, Mariangela LAZOI a Marianna LEZZI. Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts. *Computers in Industry* [online]. Elsevier, 2020, 114, 15 [cit. 15. 12. 2020]. ISSN 01663615. Dostupné z URL: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166361519304427>>
- [20] AUTOMATED GUIDED VEHICLES: ABOUT AGVS. *Loadmaster* [online]. c2021 [cit. 7. 3. 2021]. Dostupné z URL: <<https://www.lodamaster.com/en/solutions/automated-guided-vehicles>>

- [21] RAYNER, Rachel. AGV NAVIGATION METHODS 2: VIRTUAL PATH FOLLOWING. *BlueBotics: Your Vehicle Navigation Partner* [online]. BlueBotics, c2021 [cit. 19. 4. 2021]. Dostupné z URL: [<https://bluebotics.com/de/agv-navigation-methods-virtual-path-following/>](https://bluebotics.com/de/agv-navigation-methods-virtual-path-following/)
- [22] AGV Monitorovací a riadiaci systém (MCS): Control System. In: *CEIT* [online]. Asseco CEIT, c2021 [cit. 15. 4. 2021]. Dostupné z URL: [<https://www.asseco-ceit.com/sk/agv-systemy/riadiaci-system/>](https://www.asseco-ceit.com/sk/agv-systemy/riadiaci-system/)
- [23] ADAMEC, Ján. Ako správne vybrať AGV? In: *Daily Automation* [online]. Daily Automation, c2021 [cit. 15. 4. 2021]. Dostupné z URL: [<https://www.dailyautomation.sk/ako-spravne-vybrat-agv/>](https://www.dailyautomation.sk/ako-spravne-vybrat-agv/)
- [24] KÖHLER, Tomáš. *Návrh automatického vozíku AGV*. Brno, 2017. Diplomová práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojnínho inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.
- [25] Protecting automated guided vehicles (AGVs). *Sick: Sensor for intelligence* [online]. Sick, c2021 [cit. 17. 3. 2021]. Dostupné z URL: [.<https://www.sick.com/ag/en/end-of-line-packaging/automated-guided-vehicle-agv/protecting-automated-guided-vehicles-agvs/c/p514344>](https://www.sick.com/ag/en/end-of-line-packaging/automated-guided-vehicle-agv/protecting-automated-guided-vehicles-agvs/c/p514344).
- [26] Understanding AGV Safety Systems (standards, sensors, rules) What's important to know? *AGV network: The AGV ROBOT and AMR Technology Webpage* [online]. [cit. 17. 3. 2021]. Dostupné z URL: [.<https://www.agvnetwork.com/index.php/9-agv-news/35-seegrid-develops-vision-navigation-system-for-autonomous-driving-cars#measures-devices>](https://www.agvnetwork.com/index.php/9-agv-news/35-seegrid-develops-vision-navigation-system-for-autonomous-driving-cars#measures-devices).
- [27] *ISO 3691-4:2020: Industrial trucks – Safety requirements and verification. Part 4: Driverless industrial trucks and their systems* [online]. ISO (the International Organization for Standardization), c2020. [cit. 17. 3. 2021]. Dostupné z URL: [.<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3691:-4:ed-1:v1:en>](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3691:-4:ed-1:v1:en)
- [28] The role of AGV forklift in Industry 4.0. *AGV blog: AGV Knowledge Website* [online]. agvblog, c2020 [cit. 17. 4. 2021]. Dostupné z URL: [.<http://www.agvblog.com/754.html>](http://www.agvblog.com/754.html).

- [29] Company profile. *Hilti* [online]. c2021 [cit. 8. 3. 2021]. Dostupné z URL:
<<https://www.hilti.group/content/hilti/CP/XX/en/company/corporate-information/company-profile.html>>
- [30] E'wms® Warehouse Management System: Warehouse Control and Management Software for Material Handling Systems. *Dematic* [online]. Dematic, c2021 [cit. 18. 4. 2021]. Dostupné z URL:
<<https://www.dematic.com/en/software/legacy-systems/ewms/>>.
- [31] Goods identification and traceability with bar code scanners. *Sick: Sensor Intelligence* [online]. Sick, c2021 [cit. 18. 4. 2021]. Dostupné z URL:
<<https://www.sick.com/at/en/industries/industrial-vehicles/mobile-platforms/automated-guided-vehicles/identification/goods-identification-and-traceability-with-bar-code-scanners/c/p613549>>.
- [32] CLV6 series. *Bar code scanners: Product information* [online]. 2021:Sick, 1-108 [cit. 18. 4. 2021]. Dostupné z URL:
<https://cdn.sick.com/media/docs/8/68/468/product_information_clv6_series_intelligent_solutions_for_logistics_and_automation_en_im0052468.pdf>.
- [33] Poklop na šachtu. *Sklolaminátové nádrže* [online]. Oravský Podzámok: Sklolaminátové žumpy, nádrže na úžitkovú vodu, septiky a vodomerné šachty, c2021 [cit. 13. 7. 2021]. Dostupné z URL:
<<https://sklolaminatovenadrze.sk/produkt/elementor-3049/>>.
- [34] Odvodňovací žlab, ktorý odolá aj extrémnemu zaťaženiu: ACO DRAIN® S 100 K - S 300 K Powerlock. *ACO* [online]. Bratislava: ACO Stavební prvky, c2021 [cit. 15. 7. 2021]. Dostupné z URL:
<<https://www.aco.sk/produkty/aco-drain-liniové-odvodnenie/aco-s-100k-s300k>>.

Zoznam symbolov a skratiek

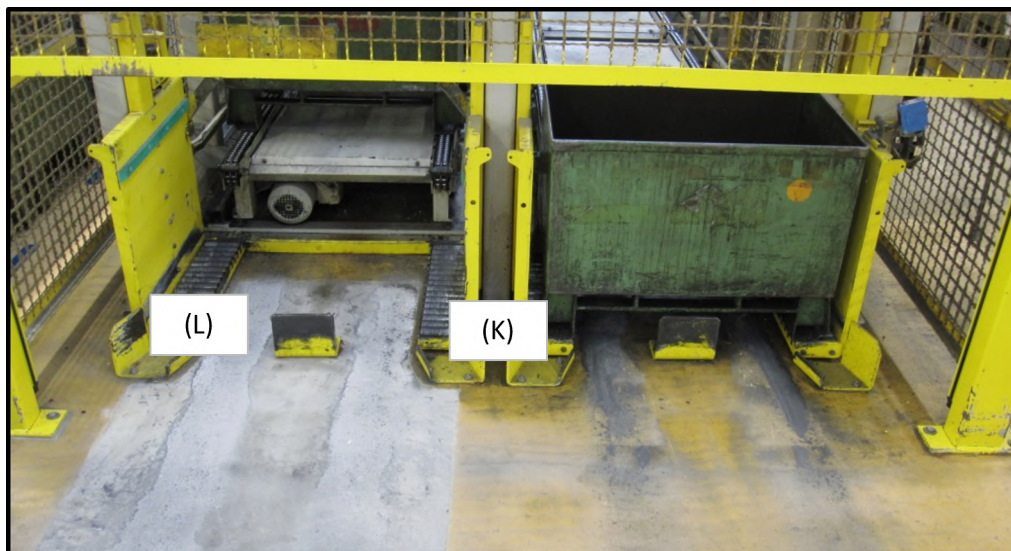
3D	Three Dimensions
AGV	Automated guided vehicles
AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
CPS	Cyber-Physical Systems
ERP	Enterprise Resource Planning
FIFO	First In First Out
GPS	Global Positioning System
HMI	Human Machine Interface
IoT	Internet of Things
IT	Information Technology
LPWAN	Low Power Wide Area Network
MES	Manufacturing Execution Systems
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OPC	Open Platform Communications
PLC	Programmable Logic Controller
QR	Quick Response
RFID	Radio Frequency IDentificator
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SLAM	Simultaneous Localization And Mapping
UML	Unified Modeling Language
VR	Virtual Reality

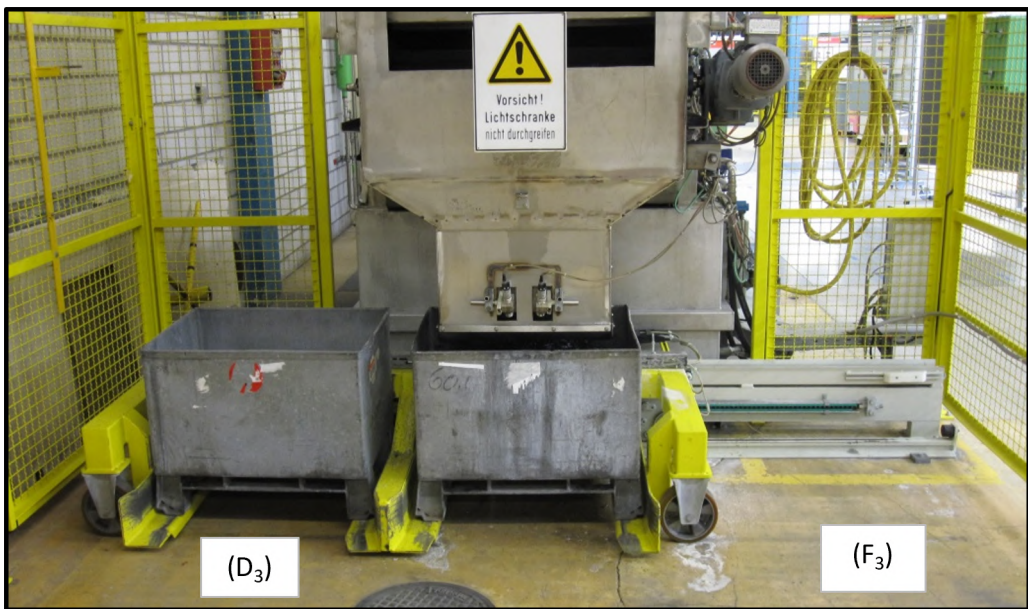
Zoznam príloh

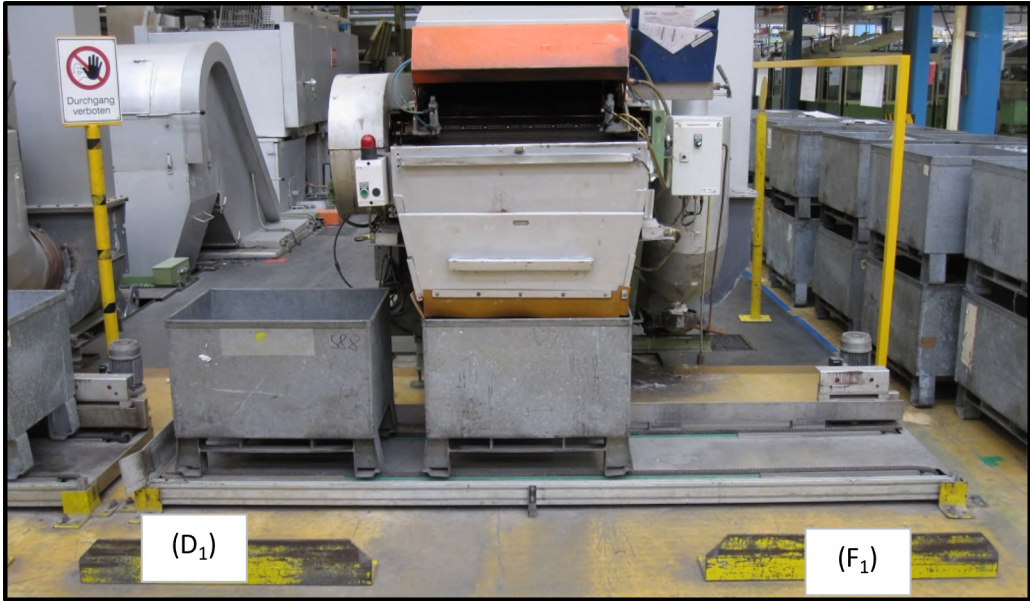
A	Rozmery a tvar prepravného kontajnera	116
B	Fotografie z výrobnéj linky P1ES	117
	B.1 Nakladacie a vykladacie body	117
	B.2 Rozmery rámp	120
C	Obsah elektronickej prílohy	122

B Fotografie z výrobní linky P1ES

B.1 Nakladacie a vykladacie body

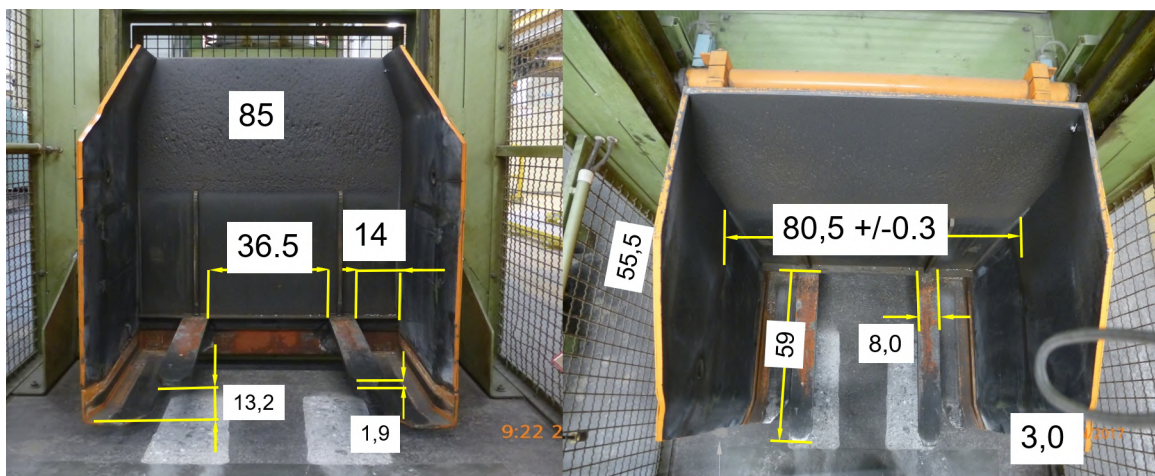




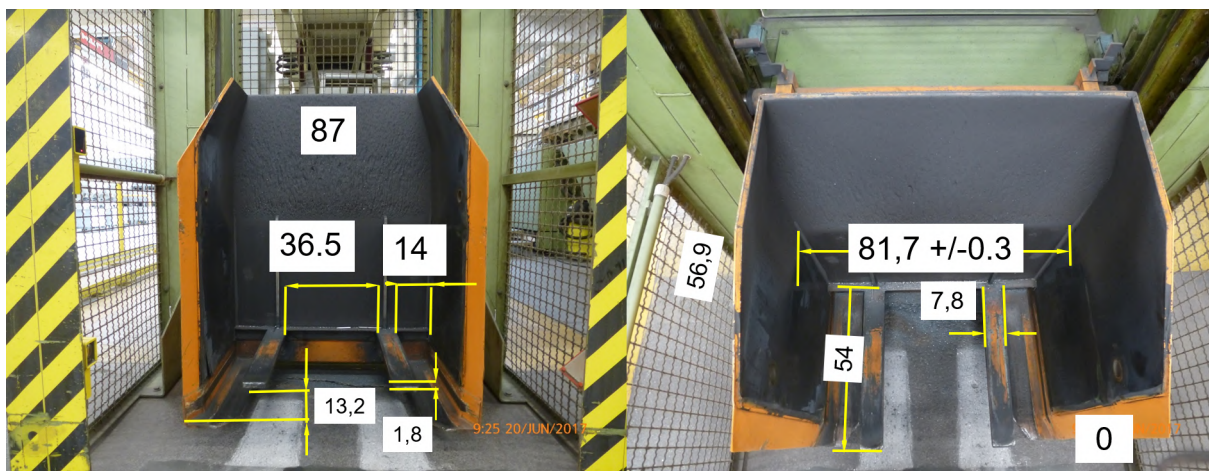


B.2 Rozmery rámp

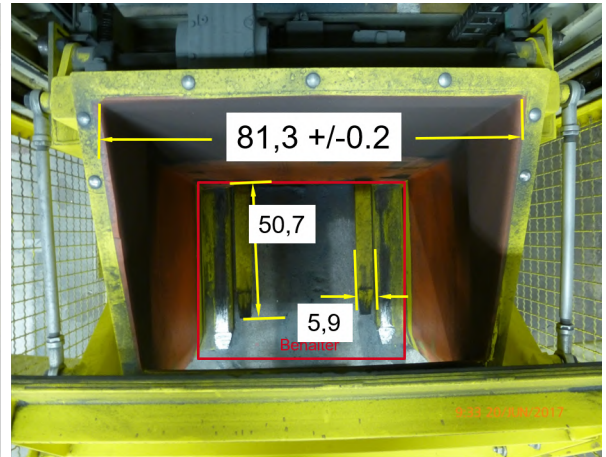
Pracovisko Safed 3 (rampa A2)



Pracovisko Safed 4 (rampa A1)



Pracovisko Kohnle (rampa A3)



C Obsah elektronickej prílohy

Súčasťou diplomovej práce sú súbory, ktoré sa nachádzajú v adresári s názvom DP príloha. Sú to konkrétne:

1. **transportna matica** – súbor obsahuje transportnú maticu vytvorenú v programe Microsoft Excel, ktorá znázorňuje tok prepravovaného nákladu smerom od zdrojových k cieľovým transportným bodom. Navyše, každý uvedený tok obsahuje informáciu o počte transportov za mesiac. Výsledok tohto pozorovania a údaje z matice slúžia pre výpočet kapacitného plánovania,
2. **kapacitne planovanie AGV** – v tomto súbore možno nájsť výpočet kapacitného plánovania pre automatizovaný kontajnerový transport vo výrobnjej linke P1ES prostredníctvom systému AGV. Všetky výstupné údaje sú matematicky určené na základe teoretických výpočtových vzťahov uvedených v texte práce. Cieľom tabuľkového súboru vytvoreného v programe Microsoft Excel je prehľadná kalkulácia potrebného počtu vozidiel AGV a celkové zaťaženie systému pre návrh medzioperačnej dopravy vo výrobnjej linke P1ES,
3. **podorys P1ES** – súbor obsahujúci pôdorys výrobnjej linky P1ES s výrobnými strojmi a valcovými dopravníkmi, na ktoré sa ukladajú prepravné kontajnery. Náčrt obsahuje aj okolité výrobné linky na južnej a západnej strane smerom od linky P1ES pre podrobnejšie zobrazenie okolia. Na severnej a východnej strane smerom od linky P1ES sa nachádza stena oddeľujúca P1ES od zvyšku výrobnjej oblasti P1E. Súbor bol vytvorený v programe AutoCAD a finálny náhľad bol exportovaný do súboru PDF,
4. **podorys P1E** – PDF súbor zobrazujúci celé spektrum výrobných liniek vo výrobnjej časti P1E na jednom pôdoryse. Príloha slúži pre lepšie pochopenie priestorového rozloženia tohto areálu.
5. **transportne trasy** – návrh a zakreslenie transportných trás do pôdorysu výrobnjej linky P1ES. Tento súbor vo formáte PDF má slúžiť pre grafickú ilustráciu navrhnutých dopravných trás a verne zobrazovať ich trajektóriu. Súčasťou návrhu je aj označenie oblastí (červenou farbou), kde nie je možné dodržať dostatočnú bezpečnostnú vzdialenosť od okolitých objektov, čo musí byť pri realizácii projektu zohľadnené,
6. **financne zhodnotenie** – na základe navrhnutého počtu vozidiel AGV, zvolených systémov a technológii, bola spolu s poskytnutými údajmi od spoločnosti Dematic vytvorená matematická analýza v programe Microsoft Excel s cieľom zhodnotiť finančné náklady spojené s realizačnou fázou navrhnutého riešenia a doba návratu investície. Výsledkom sú prehľadné tabuľky a graf.