

NÁVRH A HODNOTENIE LOGISTICKÉHO SYSTÉMU **DESIGN AND EVALUATION OF THE LOGISTICS SYSTEM**

Radovan SVITEK, Martin KRAJČOVIČ, Radovan FURMANN, Radovan SKOKAN

ABSTRAKT

Podniky sú primárne zamerané na zvyšovanie efektívnosti interných procesov. Výrobné závody preto potrebujú realistický obraz o svojom súčasnom stave, rizikách a príležitostiach, aby sa neohrozila ich prítomnosť na trhu a efektívne riadili ich procesy. To všetko bude možné len prostredníctvom implementácie nových technológií a transformáciou súčasných tovární pomocou digitalizácie. Táto kombinácia musí byť založená na plánovaní, ktoré v súčasnosti poskytujú interaktívne softvérové plánovacie systémy. Článok sa zaoberá oblasťou využitia softvérového riešenia pre analýzu a plánovanie výrobných a logistických systémov.

Kľúčové slová

Priemyselné inžinierstvo, projektovanie výroby, softvérové riešenie, produktivita, efektívnosť.

ABSTRACT

Businesses are primarily focused on improving the efficiency of internal processes. Therefore, production plants need a realistic picture of their current status. All this will only be possible through the implementation of new technologies and the transformation of existing factories through digitization. This combination must be based on planning that is currently provided by interactive software scheduling systems. The article deals with the use of software solutions for the analysis and planning of production and logistics systems.

Keywords

Industrial engineering, manufacturing design, software solutions, productivity, efficiency.

ÚVOD

Logistika je stále motorom úspechu priemyselných organizácií na svetových trhoch. Súčasnú úsilie moderných projektantov logistických systémov je pri navrhovaní týchto systémov brať do úvahy schopnosť rýchleho prispôsobenia sa meniacim sa podmienkam na trhu (požiadavky zákazníkov). Je potrebné rýchlo zmeniť štruktúru a organizáciu výroby, čo je často časovo náročné a nákladné (Dulina, Bartanusova, 2014).

V modernej priemyselnej praxi sa neustále navrhujú inovatívne riešenia na zlepšenie procesov alebo celých výrobných alebo logistických systémov (Gregor a kol., 2018). Aby bolo možné implementovať nové technológie, spoločnosti musia byť schopné kombinovať využívanie najnovších a dostupných technológií. Pri ich používaní je nevyhnutné, aby si podniky uvedomovali súčasné trendy vývoja.

1. PROBLÉMY V SÚČASNÝCH VÝROBNÝCH DISPOZÍCIÁCH

Zabezpečenie kontinuity a kvality výroby vedie časť organizácií k premýšľaniu o súčasnom stave logistických a výrobných systémov. Manažmentu chýbajú údaje, informácie, metódy a nástroje jasného rozhodovania. Problém je v tom, že plánovanie - riadenie výroby a logistiky je založené na princípoch, ktoré sa používajú viac ako sto rokov. V priebehu posledných dvadsiatich rokov sa úspešne uplatňovali zásady Lean Management a Six Sigma - továrne naozaj pokročili. Dnes to však už nestačí. Kombinácia týchto princípov s

digitalizáciou prináša úplne novú kvalitu údajov potrebných pre rozhodovanie (Miebach, Müller, 2006).

1.1 NÁVRH VÝROBNÝCH A LOGISTICKÝCH SYSTÉMOV, SÚVISIACE PROBLÉMY

V súčasnosti sa vo výrobných organizáciách zaoberajúcich sa výrobou osobnej a prevádzkovej bezpečnosti v automobiloch prejavujú problémy súvisiace s návrhom logistických systémov. Medzi hlavné problémy sa zaradzujú (Gregor a kol., 2018):

- Nepresné plánovanie z dôvodu nepresných alebo neúplných údajov.
- Chýbajúci alebo nevykonný software, nedostatky v informačnom toku.
- Chyby človeka vyplývajúce z nedostatočného systému práce, chýbajúcich pravidiel, motivácie.
- Predimenzované, poddimenzované kapacity (pracovníci, manipulačná technika, plochy, sklady).
- Problematické získavanie dát, nedostatočná validita a neaktuálnosť dát.
- Neefektívne obaly, chýbajúce baliace predpisy, nedostatočný prehľad o toku materiálu.

2. SOFTVÉROVÉ RIEŠENIE PRE NÁVRH A HODNOTENIE LOGISTICKÉHO SYSTÉMU

Osvedčené metodické postupy, ktoré boli na vysokej úrovni, sú dnes doplnené o nové technológie. Projektovanie, spočíva vlastne v zbere informácií, ich spracovaní, tvorbe analýz, hľadaní najlepšieho návrhu a jeho overení. Je to starý známy metodický postup, ale nové technologické možnosti mu dávajú úplne iný rozmer a pridanú hodnotu (Fusko, 2018). Digitálna kópia reálneho systému sa analyzuje za pomoci softvérového nástroja jednoduchšie, ako by sa táto analýza vypracovávala v minulosti.

Softvérové riešenie Ceit Table, predstavuje nástroj pre návrh výrobného a logistického systému v 3D prostredí. Systém obsahuje funkcie a pracovné moduly prostredníctvom ktorých uľahčí prácu a rozhodovanie pri návrhu výrobných dispozícií a logistických systémov. Projektovanie logistických systémov v tomto softvéry spočíva na úplnom začiatku zo spracovania vstupných údajov. Základné vstupné údaje potrebné pre analýzu logistického a výrobného systému je možné rozdeliť do nasledujúcich kategórií, údajov o:

- Dieloch: číslo a názov dielu, hmotnosť dielu, typ balenia, počet kusov v balení, dĺžka, šírka, výška balenia, čistá hmotnosť balenia a stohovateľnosť.
- Výrobných procesoch: výrobný postup so základnými informáciami (číslo operácie, názov operácie, jednotkový čas výroby, pracovisko / stroj na ktorom bude operácia vykonávaná.
- Disponibilných časoch jednotlivých kategórií výrobných zdrojov (stoj pracovisko, pracovník), počte hodín za zmenu, počte využitelných dní za rok.
- Aktuálnych zásobovacích plánoch logistiky, miest zastávok, počte pracovníkov a počte manipulačnej techniky. (Hodoň a kol., 2018)

Zo zozbieraných údajov sa preto následne vytvára externý súbor údajov, ktorý sa importuje do prostredia softvéru (obr. 1). Takýto zdroj údajov o dieloch sa nazýva BOM (Bill Of Material), týmto spôsobom je následne možné priamo pridelovať diely na opracovanie podľa výrobného postupu.

ČísloDielu	NazovDielu	HmotnostDielu	TypBalenia	MnozstvoVBaleni	DizkaBalenia	
1	Číslo dielu	Názov dielu	Hmotnosť dielu	Typ balenia	Ks v balení	Dĺžka
2	52701-D7200	Aufnahmebock E3	0.010000	007102	300.000000	1200.000000
3	52701-D7210	Bremsabdeckblech HA links 18" - 20" E3	0.010000	003147	500.000000	297.000000
4	52701-D7010	Bremsabdeckblech HA rechts 18" - 20" E3	0.001000	003147	900.000000	297.000000
5	52701-D7300	Bremsabdeckblech VA links 18" - 20" E3	0.001000	003147	1900.000000	297.000000
6	55100-D3050	Bremsabdeckblech VA rechts 18" - 20" E3	0.001000	003147	1900.000000	297.000000
7	55210-D3050	Bremsleitungen E3	3.520000	111970	60.000000	1600.000000
8	55220-D3050	Bremssattel HA links 20" E3	3.520000	111970	60.000000	1600.000000
9	55300-F1510	Bremssattel HA rechts 18" und 19" E3	2.720000	111970	60.000000	1600.000000
10	55300-J7CA0	Bremssattel HA rechts 20" E3	0.010000	006280	90.000000	594.000000
11	55300-J7AA0	Bremssattel VA links 20" E3	0.010000	007102	600.000000	1200.000000
12	55300-J7CB0	Bremssattel VA rechts 18" und 19" E3	2.310000	111970	60.000000	1600.000000
13	55300-J7AC0	Bremssattel VA rechts 20" E3	0.010000	007102	500.000000	1200.000000
14	55260-G4AA0	Bremsscheibe GG HA rechts E3	0.900000	111940	900.000000	1200.000000
15	55300-F1530	Bremsscheibe GG HA Turbo links E3	2.720000	111970	60.000000	1600.000000
16	55300-F1550	Bremsscheibe GG VA links E3	2.720000	111902	500.000000	1000.000000
17	55300-J7BA0	Bremsscheibe GG VA rechts E3	2.310000	1119252	20.000000	1800.000000

Obr. 1 Vytvorený externý zdroj údajov BOM (Bill Of Material) – vlastný výskum

Z údajov o výrobných procesoch sa vytvára externý súbor (obr. 2) s názvom BOO (Bill of Operations). Tieto operácie sa podľa pracovného postupu pridelujú jednotlivým pracoviskám.

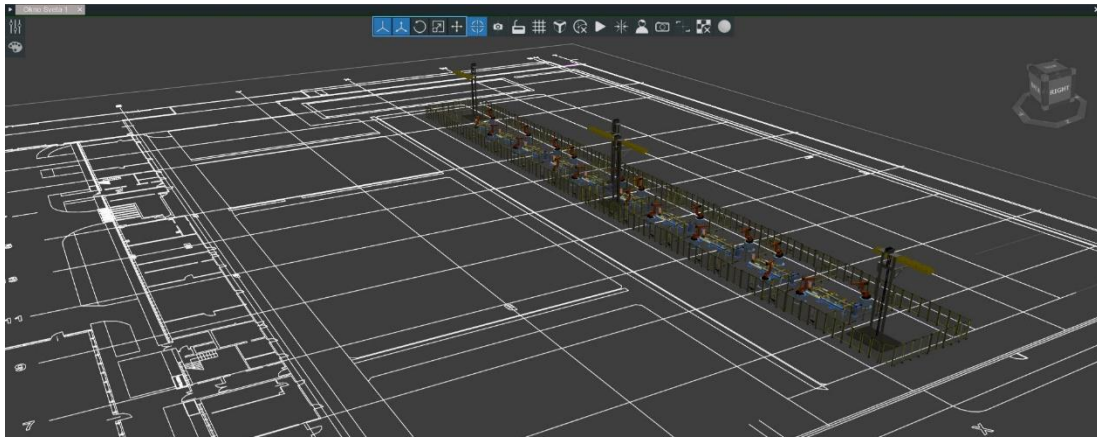
Takt	Číslo O	Název Operace	PDM	EBR	Plánaf	Plán. F-Zeit	Číslo dielu	Množství	
1	Takt	Č.op.	Název op.	PDM:	EBR:	Plánaf:	Plán. F-Zeit	Č.dílu	Množství
2	1.000	1001.0	Operacia_01	PDM.6C0.971/485	100.0	Planovac_01	10.250000	xyz0001	1.000000
3	1.000	1002.0	Operacia_02	PDM.6C0.971/485	100.0	Planovac_02	9.850000	xyz0002	1.000000
4	1.000	1003.0	Operacia_03	PDM.6C0.971/485	100.0	Planovac_03	15.800000	xyz0003	1.000000
5	1.000	1004.0	Operacia_04	PDM.6C0.971/485	100.0	Planovac_04	22.800000	xyz0004	1.000000
6	2.00	1005.0	Operacia_05	PDM.6C0.971/485	100.0	Planovac_05	12.800000	xyz0005	1.000000
7	2.00	1006.0	Operacia_06	PDM.6C0.971/485	100.0	Planovac_06	2.890000	xyz0006	1.000000
8	2.00	1007.0	Operacia_07	PDM.6C0.971/485	100.0	Planovac_07	27.230000	xyz0007	1.000000
9	2.00	1008.0	Operacia_08	PDM.6C0.971/485	100.0	Planovac_08	12.400000	xyz0008	1.000000
10	2.00	1009.0	Operacia_09	PDM.6C0.971/486	100.0	Planovac_09	7.580000	xyz0009	1.000000
11	3.00	1010.0	Operacia_10	PDM.6C0.971/487	100.0	Planovac_10	7.980000	xyz0010	1.000000
12	3.00	1011.0	Operacia_11	PDM.6C0.971/488	100.0	Planovac_11	9.250000	xyz0011	1.000000
13	3.00	1012.0	Operacia_12	PDM.6C0.971/489	100.0	Planovac_12	11.800000	xyz0012	1.000000
14	3.00	1013.0	Operacia_13	PDM.6C0.971/490	100.0	Planovac_13	4.650000	xyz0013	1.000000
15	3.00	1014.0	Operacia_14	PDM.6C0.971/491	100.0	Planovac_14	5.980000	xyz0014	1.000000
16	3.00	1015.0	Operacia_15	PDM.6C0.971/492	100.0	Planovac_15	12.300000	xyz0015	1.000000
17	3.00	1016.0	Operacia_16	PDM.6C0.971/493	100.0	Planovac_16	15.700000	xyz0016	1.000000
18	3.00	1017.0	Operacia_17	PDM.6C0.971/494	100.0	Planovac_17	14.870000	xyz0017	1.000000

Obr. 2 Importovaný externý zdroj údajov o výrobných procesoch BOO (Bill Of Operations) – vlastný výskum

Klasické projektovanie výrobných a logistických systémov je vďaka použitiu moderných digitálnych technológií a postupov oveľa flexibilnejšie a efektívnejšie. Vytvorenie digitálnej kópie reálneho výrobného a logistického systému v softvérovom nástroji spočíva v importovaní súčasného výkresu výrobnéj dispozície do ktorého sa následne vkladajú jednotlivé 3D objekty. Vytvorené objekty výrobnéj dispozície vložené do systému Ceit Table nie sú len o samotnej tvorbe z hľadiska klasického modelovania v grafických softvéroch, model stroja v tomto

systéme predstavuje parametrický objekt, ktorý je zložený z viacerých obsahov. Tieto obsahy umožňujú objektom vzájomne komunikovať a pridelovať im operácie a diely na opracovanie z vytvoreného externého zdroja údajov BOM, BOO.

Modelovanie výrobného systému teda prebieha na základe aktuálneho stavu. Po parametrizácii jednotlivých objektov sa modeluje priestorová dispozícia za pomoci vloženého výkresu výrobnej dispozície (obr. 3). Na základe predchádzajúcich krokov softvér dokáže už pri rozmiestňovaní objektov sprostredkovať informácie o veľkosti plôch, ich zastavanej a nezastavanej časti, vizualizuje potrebnú obslužnú zónu daného objektu a pod.



Obr. 3 Vytváranie digitálnej kópie systému na základe aktuálneho stavu – vlastný výskum

Po naprojektovaní výrobnej dispozície je nutné prejsť k plánovaniu logistického zásobovania. Modelovanie logistického systému prebieha na základe aktuálneho zásobovacieho plánu spoločnosti.

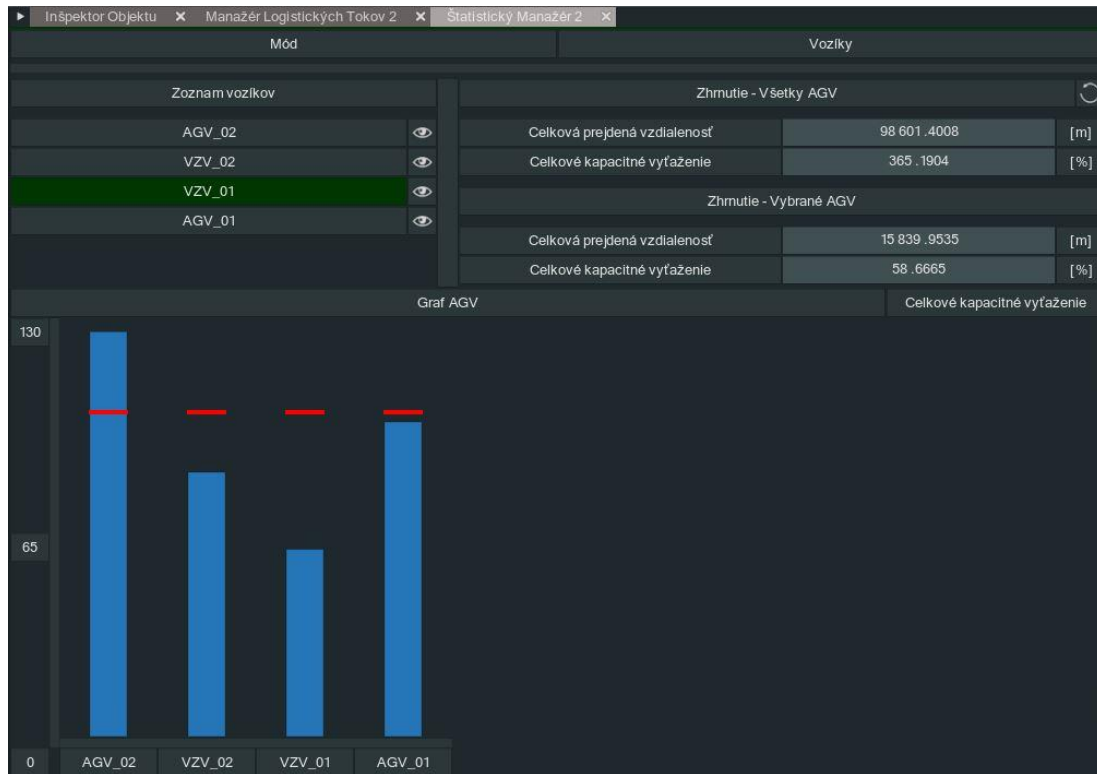
Namodelovaním logistického systému vieme preveriť navrhnutý výrobný systém z hľadiska logistiky. V softvérovom riešení je modelovanie toku materiálu riešené za pomoci nástroja v podobe šachovnicovej tabuľky prepravných vzťahov (odkiaľ - kam). Na obr. 4 je možné vidieť, že v štruktúre tabuľky sú zapísané pracoviská v riadkoch (odosielateľské pracoviská) a v stĺpcoch tabuľky (prijímateľské pracoviská).

Active logistic map:	LogisticMap			
Odosielateľ	Cieľ			
Hľadať ... (meno odosielateľa)	Hľadať ... (meno cieľa)			
Table size [9;9]	9Y0199373	9Y0199373	9Y0615611	9Y0615611
9Y0199373				
9Y0199373				
9Y0615611				
9Y0615611				
9Y0615403				
9Y0615403E				
9Y0615611				
9Y0615611				
Supermarket_01	9Y0199373_Tok	9Y0199373_Tok	9Y0615611_Tok	9Y0615611_Tok

Obr. 4 Šachovnicová tabuľka prepravných vzťahov odkiaľ – kam – vlastný výskum

Po vytvorení jednotlivých materiálových tokov a zásobovacích okruhov je možné tieto toky a okruhy pridelovať jednotlivým obslužným manipulačným prostriedkom. Je dôležité podotknúť, že každý prepravný či manipulačný prvok (objekt) je parametrizovaný. Priradzujú sa im parametre akými sú: rýchlosť, disponibilný čas, potreba nabíjania, maximálna prepravovaná hmotnosť, ťažnosť zariadenia a pod..

Po pridelení jednotlivých okruhov zariadeniam, softvér na základe vzájomnej interakcie parametrických objektov sprostredkúva informácie o kapacitnom vyťažení a celkovej prejdenej vzdialenosti manipulačných prostriedkov. Na obr. 5 je zobrazený nástroj v softvéri Ceit Table na vyhodnotenie dopravných prostriedkov použitých v logistickom systéme.



Obr. 5 Kapacitné vyhodnotenie manipulačných a transportných prostriedkov – vlastný výskum

Graf nachádzajúci sa v obr. 5, ktorí sme analyzovali za pomoci softvérového nástroja hovorí o tom v akej miere sú kapacitne využitú jednotlivé manipulačné prostriedky na základe aktuálneho zásobovacieho plánu logistiky. Problém kapacitného vyťaženia manipulačných prostriedkov presnejšie znázorňuje tab. 1. Z výsledkov analýzy sa taktiež potvrdili spomínané problémy logistických systémov v spoločnosti ako sú:

- Nedostatočný prehľad o toku materiálu.
- Problematické získavanie dát, nedostatočná validita a neaktuálnosť dát.
- Chýbajúci alebo nevykonný software, nedostatky v informačnom toku.
- Nepresné plánovanie z dôvodu nepresných alebo neplných údajov.
- Predimenzované alebo poddimenzované kapacity – ľudia, dopravná technika.

Tab. 1 Kapacitné vyťaženie manipulačných prostriedkov (aktuálny stav systému)

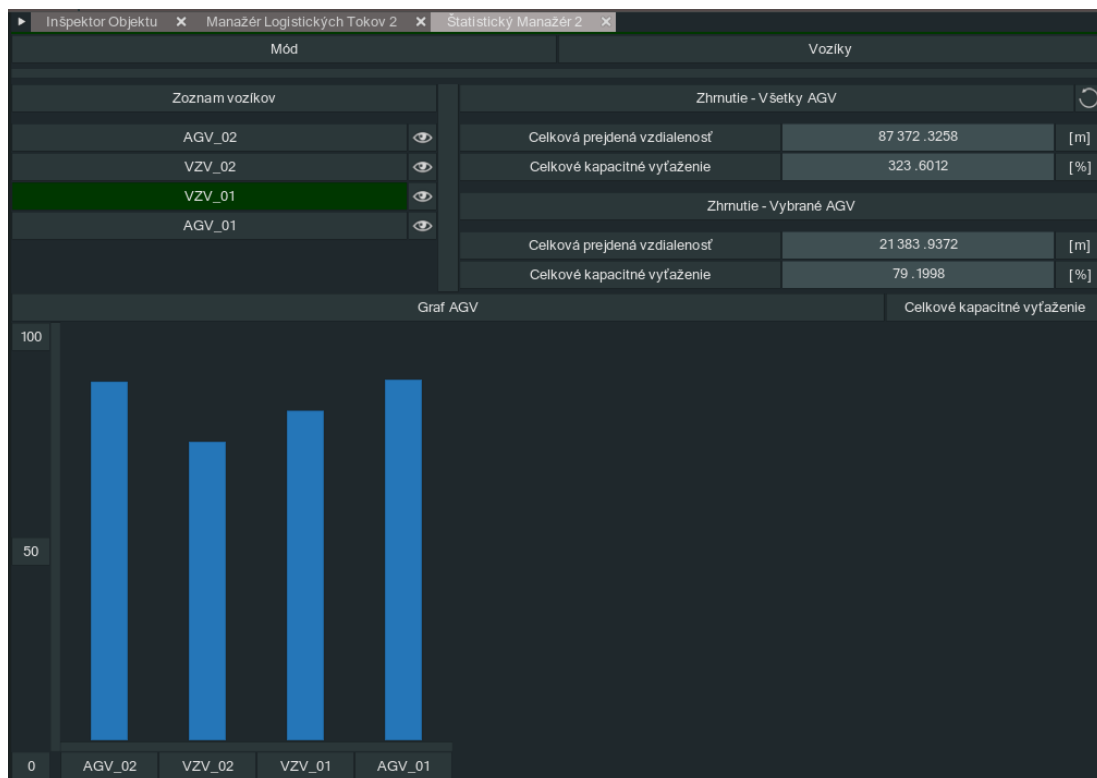
Názov vozíka	Celková prejdená vzdialenosť [m]	Celkové kapacitné vyťaženie [%]
AGV_01	26 480,62	98,08
AGV_02	34 003,95	125,94
VZV_01	15 839,95	58,67
VZV_02	22 276,88	82,51

Nástroj obsahuje funkcie a pracovné moduly prostredníctvom ktorých uľahčí prácu a rozhodovanie pri návrhu nového logistického systému a zásobovacích plánov logistiky. Po zadaní vstupných parametrov sme ich prostredníctvom nástroja interaktívne vyhodnotili, vzhľadom na stav a povahu výrobných dispozícií.

Za pomoci nástroja sme vytvorili niekoľko variantov zásobovacích plánov. Po vykonaní akejkoľvek zmeny systém interaktívne vyhodnotil jej dopad a prepočítal výsledne parametre navrhovaného logistického systému. V systéme zásobovania sa menilo:

- Rozloženie zásobovania dielov rovnomerne na jednotlivé logistické prostriedky podľa analyzovanej frekvencie spotreby dielov na pracoviskách.
- Smer a orientácia jednotlivých transportných ciest v systéme. Hľadanie najoptimálnejšie spojnice medzi zdrojom a cieľom.
- Typy baliacich predpisov jednotlivých spotrebovávaných dielov.

Na základe uvedených zmien bolo možné navrhnúť optimálny plán zásobovania pre jednotlivé použité logistické prostriedky. Na obr. 6 je možné vidieť vyhodnotenie ich kapacitného využitia po realizovaných zmenách.



Obr. 6 Kapacitné vyhodnotenie manipulačných a transportných prostriedkov – vlastný výskum

V tab. 2 je uvedené vyťaženie jednotlivých logistických zariadení po realizovaných zmenách. Rozloženie jednotlivých dielov na základe analyzovanej frekvencie spotreby na jednotlivých pracoviskách nám umožnilo optimálnejšie rozložiť úlohy zásobovania a tak rovnomernejšie vyťažiť jednotlivé prostriedky v logistickom systéme.

Zmena smeru a orientácie jednotlivých transportných ciest v systéme nám umožnilo skrátiť celkovú prejdenú vzdialenosť jednotlivých prostriedkov a nájsť tak najoptimálnejšie spojnice medzi zdrojom a cieľom spotreby daného dielu. K podielu na skrátení celkovej prejdenej vzdialenosti mala vplyv aj zmena typov baliacich jednotiek jednotlivých spotrebovávaných dielov, čo spôsobilo zníženie frekvencie navážania.

Tab. 2 Kapacitné vyťaženie manipulačných a transportných prostriedkov (po uplatnení zmien)

Názov vozíka	Celková prejdená vzdialenosť [m]	Celkové kapacitné vyťaženie [%]
AGV_01	23 365,25	86,54
AGV_02	23 256,22	86,13
VZV_01	21 383,94	79,20
VZV_02	19 366,91	71,73

Výrobnú dispozíciu novej haly dnes nie je problém vytvoriť, ale odlaďovať procesy v reálnej prevádzke je nielen práčne, ale hlavne veľmi nákladné. Navyše niektoré kolízie by mohli ostať neodhalené, čo by neskôr spôsobovalo problémy. S použitím parametrického plánovacieho systému však je možné identifikovať a odstrániť nedostatky už pri plánovaní. Následná vizualizácia potom umožňuje poslednú kontrolu. Mnohé závody si skutočnosť, že moderné technológie a pokročilé prístupy nám dávajú možnosť ohromného náskoku neuvedomujú. Spôsob akým efektívne optimalizovať materiálový tok vo výrobnom systéme majú za úlohu určiť a definovať pracovníci plánovania, tím odborníkov sa následne podieľa spoločne na plánovacích workshopoch, či už pri projektovaní nových alebo re - dizajne starých výrobných systémov. Ich úlohou je naplánovať, počítať, meniť a následne prepočítavať, neustále vylepšovať a opäť prehodnocovať.

Softvérové riešenie CEIT Table predstavuje nástroj pre návrh výrobného a logistického systému v 3D prostredí. Systém obsahuje funkcie a pracovné moduly prostredníctvom ktorých uľahčí prácu a rozhodovanie pri návrhu výrobných dispozícií a logistických systémov. Samotné projektovanie výrobných a logistických systémov sa realizuje prostredníctvom 2D/3D modelov. Po zadaní vstupných parametrov ich systém vyhodnotí vzhľadom na stav a povahu projektovanej výrobnéj dispozície. Po vykonaní akejkoľvek zmeny systém vyhodnotí danú zmenu a prepočíta výsledne parametre navrhovaného výrobného a logistického systému. Pre potreby projektovania logistických konceptov v kontexte Industry 4.0 systém umožňuje generovať logistické väzby pre všetky typy manipulačnej techniky (človek, ťahač, VZV, FTS/AGV) a vykresľovať ich prostredníctvom materiálových, transportných tokov a kapacitne ich preveriť a nadimenzovať (Ceit Table, 2019).

Na základe výsledkov spomenutých v tomto článku tím konštatuje, že softvérové riešenie, ktoré bolo výsledkom predošlého výskumu dokážeme použiť pri riešení komplexných logistických problémov.

ZÁVER

Nové funkcionality softvérových riešení sú v súčasnosti už nevyhnutné pri tvorbe a vyhodnocovaní návrhu zložitých výrobných a logistických štruktúr. Softvérové riešenia, ktoré podnecujú vzájomnú komunikáciu a interakciu jednotlivých objektov systému ponúkajú efektívny nástroj pre tvorbu návrhu, ktorý je možné následne meniť bez náročnej zmeny každého prvku systému. To znamená, že zmenou prvku systému sa prepočítajú jednotlivé parametre a vzťahy medzi ostatnými objektami systému. Systém tak pružne reaguje na zmeny a s jeho pomocou je možné určiť ako zadané zmeny ovplyvnia systém v širšom chápaní. Teda podporný projektovací nástroj so vzájomne prepojenými a komunikujúcimi prvkami dokáže sprostredkovať informácie a spätnú väzbu v procese vytvárania zmien pre ďalšie rozhodovanie priemyselných organizácií.

„Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0488“

LITERATÚRA

- Ceit Table, 2019. *Ceit Table ver. 3.2.1.* – technická dokumentácia (Užívateľský manuál). Spoločnosť Ceit a.s., 2019, p. 129.
- DULINA, Ľ., BARTANUSOVA, M., 2014. CAVE design using in digital factory. In: *Procedia Engineering* [elektronický zdroj] : international symposium on intelligent manufacturing and automation, DAAAM 2014; Vienna; Austria; 26 November 2014 through 29 November 2014. - ISSN 1877-7058. - Vol. 100, (2015), online, s. 291-298.
- FUSKO, M.: Manažerstvo údržby – digitalizácia a spolupráca. In: *Národné fórum údržby 2018*, 29.05.2018-30.05.2018, Slovensko. Národné fórum údržby 2018: zborník prednášok – Žilina (Slovensko): Žilinská univerzita, 2018. – ISBN 978-80-554-1445-4, s. 178-187.
- GREGOR, M., HODOŇ, R., BIŇASOVÁ, V., DULINA, Ľ., GAŠO, M., 2018. Design of simulation-emulation logistics system. In: *MM Science Journal*. – Prague (Česko): MM publishing – No. 3 (2018), pp. 2498-2502. ISSN 1803-1269.
- HODOŇ, R., BIŇASOVÁ, V., PODHORA, P., 2018. *Simulation – emulation logistics system*. In: *InvEnt 2018: Industrial Engineering – Invention for Enterprise*, p. (34-38). ISBN 978-80-89865-08-6.
- MIEBACH, J., MÜLLER, P., 2006. *Intralogistik – Potentiale, Perspektiven, Prognosen*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, 2006. ISBN 978-3-540-29657-7.

Kontaktné údaje autorov:

Radovan Svitek, Ing.

Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
radovan.svitek@fstroj.uniza.sk

Martin Krajčovič, doc., Ing., PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
martin.krajcovic@fstroj.uniza.sk

Radovan Furmann, Ing., PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
radovan.furmann@fstroj.uniza.sk

Radovan Skokan, Ing.

Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
radovan.skokan@fstroj.uniza.sk