

Příloha č.4 - Tabulka transpondérů

Tabulka transpondérů

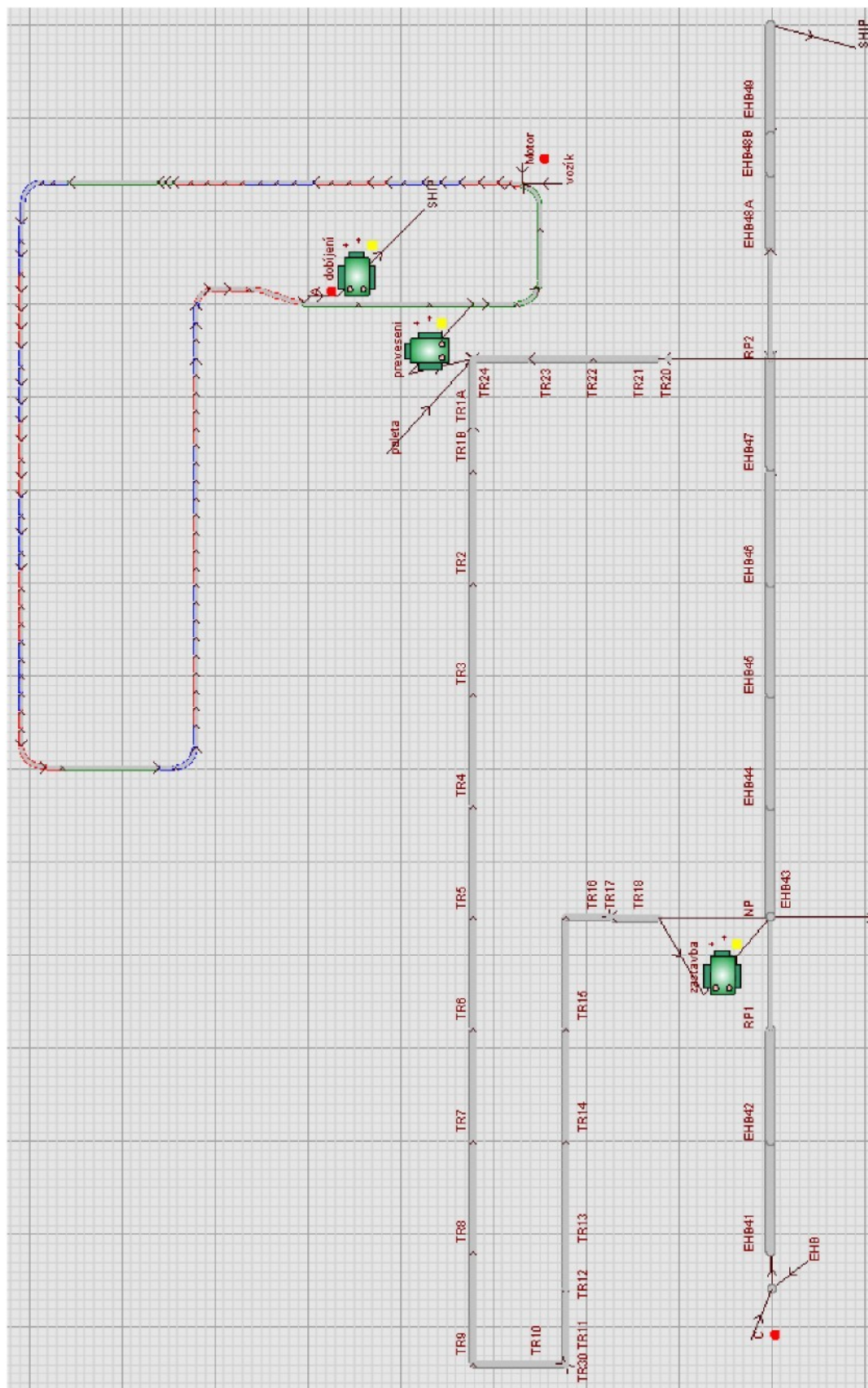
Vysvětlivky: Čís. = číslo transpondéru - Takt = číslo taktu - Rychl. = rychlost - blok = číslo bloku
PBx = číslo předcházejícího bloku

Nr	Takt	Rychl	Blok	PB1	PB2	PB3		
1	1	28	1	96	97		časová délka taktu -test	
2	1	28	2	1	96	97		
3	1	28	3	2	1	96		
4	1	28	4	3	2	1		
5	2	28	5	4	3	2	časová délka taktu -test	
6	2	28	6	5	4	3		
7	2	28	7	6	5	4		
8	2	28	8	7	6	5		
9	3	28	9	8	7	6	časová délka taktu -test	
10	3	28	10	9	8	7		
11	3	28	11	10	9	8		
12	3	28	12	11	10	9		
13	4	28	13	12	11	10	časová délka taktu -test	
14	4	28	14	13	12	11		
15	4	28	15	14	13	12		
16	4	28	16	15	14	13		
17	5	28	17	16	15	14	časová délka taktu -test	
18	5	28	18	17	16	15		
19	5	28	19	18	17	16		
190	5	28	190	19	18	17		
191	5	28	191	190	19	18	časová délka taktu -test	
132	5	28	132	191	190	19	blikač a signalizační světla zapnuta	
20	5	170	20	132	191	19	rychlá jízda	
21	6	28	21	191	190		blikač a signalizační světla vypnuta	
22	6	28	22	21	191	190		
102	6	28	122	22	21			
23	6	28	23	122	22			
24	6	28	24	23	122			
101	6	28	121	24	23			
25	7	28	25	121	24		časová délka taktu -test	
26	7	28	26	25	121	24		
27	7	28	27	26	25	121		
28	7	28	28	27	26	25		
29	8	28	29	28	27	26	časová délka taktu -test	
30	8	28	30	29	28	27		
31	8	28	31	30	29	28		
32	8	28	32	31	30	29		
33	9	28	33	32	31	30	časová délka taktu -test	

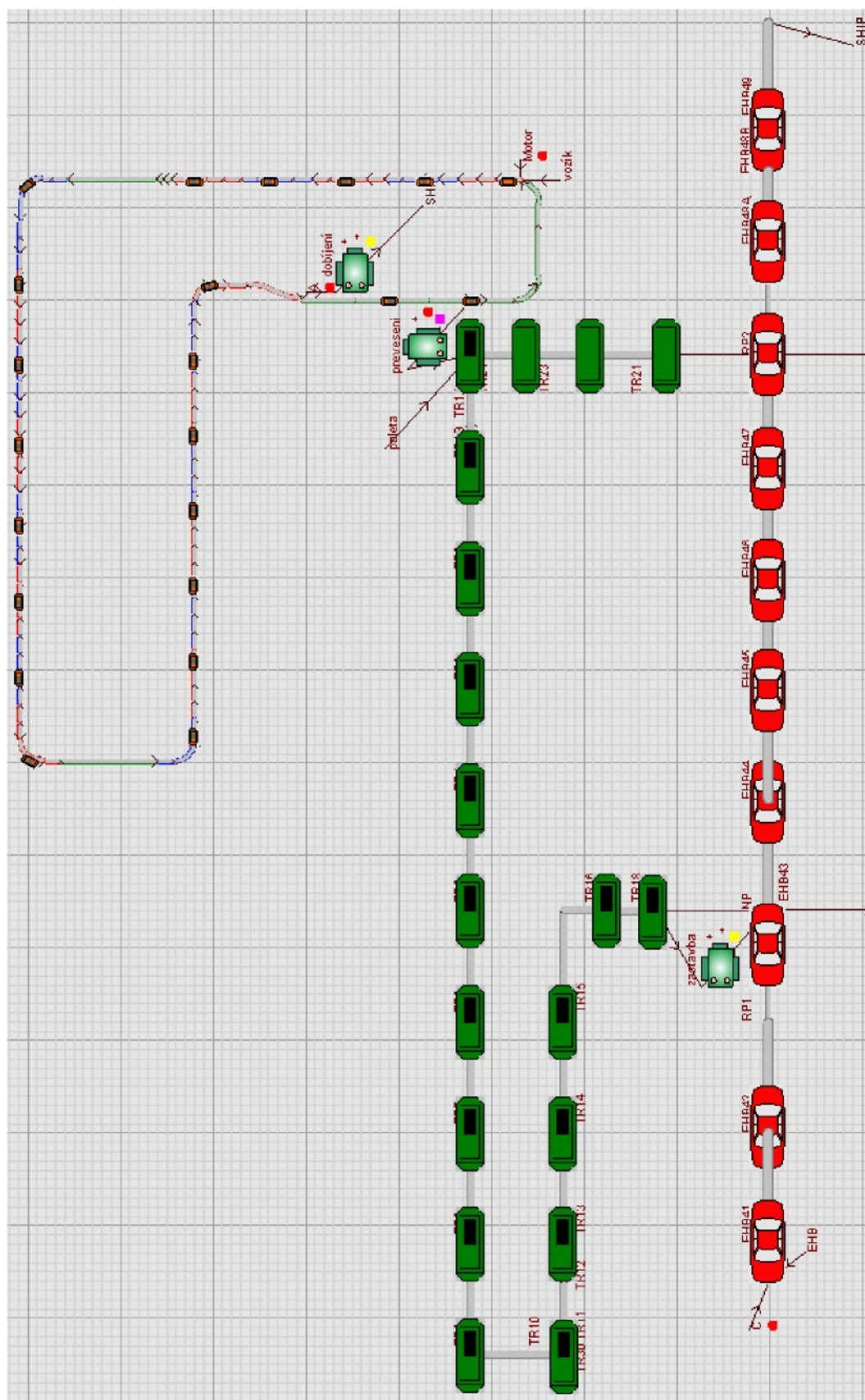
Nr	Takt	Rychl	Blok	PB1	PB2	PB3		
34	9	28	34	33	32	31		
35	9	28	35	34	33	32		
36	9	28	36	35	34	33		
37	10	28	37	36	35	34	časová délka taktu -test	
38	10	28	38	37	36	35		
39	10	28	39	38	37	36		
40	10	28	40	39	38	37		
41	11	28	41	40	39	38	časová délka taktu -test	
42	11	28	42	41	40	39		
43	11	28	43	42	41	40		
44	11	28	44	43	42	41		
45	12	28	45	44	43	42	časová délka taktu -test	
46	12	28	46	45	44	43		
47	12	28	47	46	45	44		
48	12	28	48	47	46	45		
49	13	28	49	49	47	46	časová délka taktu -test	
205	13	28	205	49	48	47		
50	13	28	50	205	49			
133	13	28	52	50	49		blikač a signalizační světla zapnuta	
52	13	170	52	50			rychlá jízda	
53	14	28	53	52			blikač a signalizační světla vypnuta	
54	14	28	54	53	52			
55	14	28	55	54	53			
56	14	28	56	55	54	53		
57	15	28	57	56	55	54	časová délka taktu -test	
58	15	28	58	57	56	55		
59	15	28	59	58	57	56		
60	15	28	60	59	58	57		
61	16	28	61	60	59	58	časová délka taktu -test	
62	16	28	62	61	60	59		
63	16	28	63	62	61	60		
64	16	28	64	63	62	61		
65	17	28	65	64	63	62	časová délka taktu -test	
66	17	28	66	65	64	63		
67	17	28	67	66	65	64		
68	17	28	68	67	66	65		
69	18	28	69	68	67	66	časová délka taktu -test	
70	18	28	70	69	68	67		

Nr	Takt	Speed	Blok	SB1	SB2	SB3		
71	18	28	71	70	69	68		
72	18	28	72	71	70	69		
73	19	28	73	72	71	70	časová délka taktu -test	
74	19	28	74	73	72	71		
75	19	28	75	74	73	72		
76	19	28	76	75	74	73	test baterie	
77	20	28	77	76	75	74	časová délka taktu -test	
78	20	28	78	77	76	75		
79	20	28	79	78	77	76		
80	20	28	80	79	78	77		
81	21	28	81	80	79	78	časová délka taktu -test	
82	21	28	82	81	80	79		
83	21	28	83	82	81	80	zkouška připravení baterie	
84	21	90	84	83	82	81	nastavení rychlosti baterie	
87	22	120	87	84			nastavení rychlosti předání a výměny baterií	
89	23	120	89	87			čekací prostor před předávkou	
107	23	120	107	89			předávka – odebrání agregátu	
95	24	120	95	107			předávka-start	
93	24	120	93	95	107		předávka – prázdný stojan posadit	
108	----	120	108	93			přejezd k taktu 1 vyrovnávací prostor 2	
96	----	120	96	108			přejezd k taktu 1 vyrovnávací prostor 1	

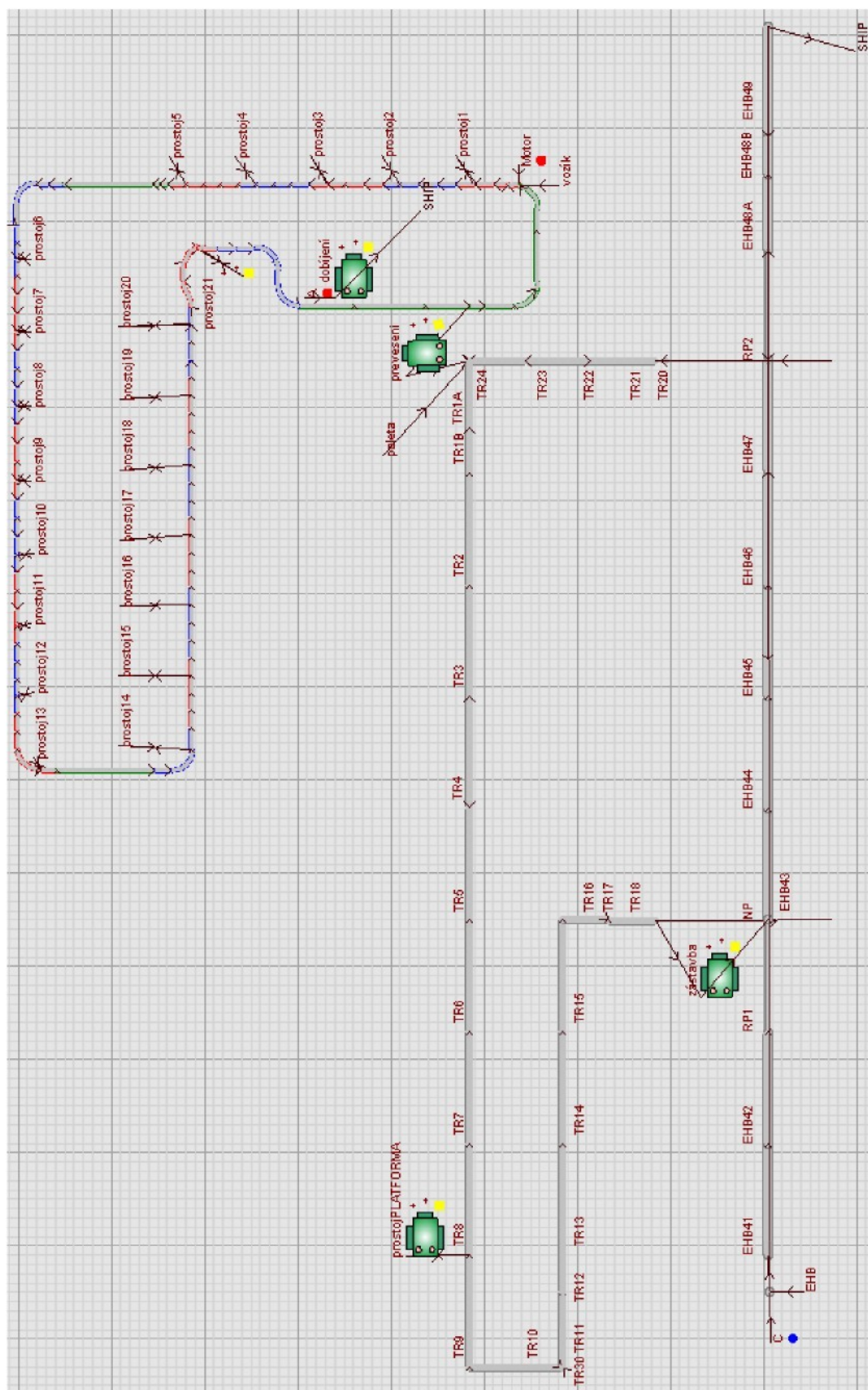
Příloha č.8 - nezaplňný model a v



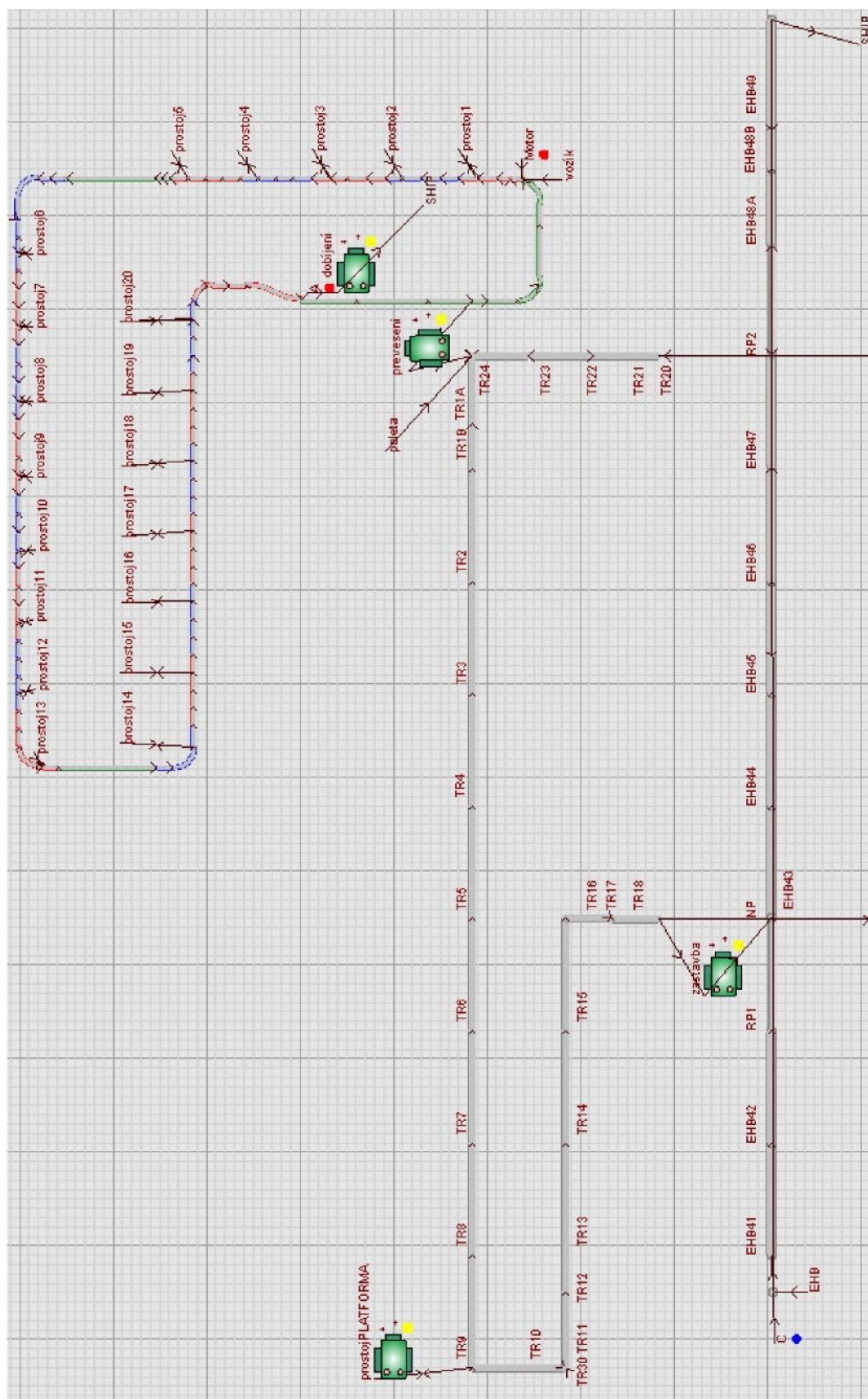
Příloha č.9 - zahřátý model



Příloha č.10 - model alternativy A



Příloha č.11 – model .alternativy B



Technická Univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor: Výrobní systémy

Zaměření: Pružné výrobní systémy ve strojírenství

Ověření plánovaného konceptu navýšení výrobních kapacit s podporou diskrétní simulace

KVS – VS – 181

Ondřej Lada

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing. František Manlig

Konzultant diplomové práce: Ing. Jan Vavruška

Počet stran: 66

Počet příloh: 11

Počet obrázků: 35

Počet tabulek: 7

Počet grafů: 6

Počet modelů

nebo jiných příloh: 5

v Liberci 4.6.2009

Diplomová práce KVS – VS – 181

**Téma: Ověření plánované koncepce navýšení výrobních kapacit s podporou
diskrétní simulace**

ANOTACE:

Diplomová práce je zaměřena na aplikaci metody diskrétní počítačové simulace dynamických systémů jako nástroje pro podporu rozhodování při ověřování plánovaného konceptu navýšení výroby ve firmě Škoda Auto a.s. v Mladé Boleslavi.

V práci jsou pomocí diskrétní simulace na modelu studované linky předmontáže a zástavby agregátu v hale M13-montáž A5 ověřeny navrhované alternativy a vliv provedených změn na propustnost celého simulovaného systému. Řešená problematika se týká nalezení optimálního umístění nové operace na zmiňované montážní lince. V závěru práce je doporučena jedna z navrhovaných alternativ k realizaci.

Desetinné třídění:

Klíčová slova: Simulace, Diskrétní simulace, Dopravníkové systémy,
Dopravníky

Zpracovatel: TU v Liberci, Katedra výrobních systémů

Dokončení: 2009

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 66

Počet příloh: 11

Počet obrázků: 35

Počet tabulek: 7

Počet grafů: 6

Počet modelů

nebo jiných příloh: 5

**Téma: Verification of the planned conception of the industrial production capacity
increase with the discrete simulation support**

THEME:

The thesis is focused on the application of the discrete computer simulation method of dynamic systems as an instrument for the support of decision-taking during the verification of the planned production increase conception in Skoda Auto a.s. Company in Mlada Boleslav.

In the thesis the proposed alternatives and the influence of the implemented modifications on the transmittance of the whole simulated system are proved by means of discrete simulation on the model of the studied pre-assembly line and unit assembly line in the factory building M13 - A5 assembly. The solved problems are related to the finding of the optimum position of the new assembly operation on the mentioned assembly line. At the close of the thesis one of the proposed alternatives is recommended for realization.

Desetinné třídění:

Keywords: Simulation, Discrete simulation, Conveyor systems,
Conveyor-belts

Zpracovatel: TU v Liberci, Katedra výrobních systémů

Dokončení: 2009

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 66

Počet příloh: 11

Počet obrázků: 35

Počet tabulek: 7

Počet grafů: 6

Počet modelů

nebo jiných příloh: 5

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřním potřebám školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.)

Jsem si vědom, že užit své diplomové práce či poskytnout licenci k jinému využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů vynaložených univerzitou na vyhotovení díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 4.6.2009

.....

Ondřej Lada

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Liberci, dne 4.6.2009

.....

Ondřej Lada

Poděkování

Je mojí milou povinností vyjádřit zde poděkování všem, jejichž zásluhou bylo možné tuto diplomovou práci uskutečnit.

Děkuji panu Doc.Dr.Ing. Františku Manligovi za vedení diplomové práce.

Děkuji panu Ing. Janu Vavruškovi za ochotu, poskytnuté rady a konzultace.

Děkuji Ing. Vladimíru Karpetovi za poskytnuté informace a rady.

Děkuji firmě Škoda-Auto a.s. Mladá Boleslav za poskytnutí prostoru a dokumentace využité při diplomové práci.

Velké poděkování patří mým rodičům a blízkým, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Obsah

1	Úvod.....	11
1.1	Škoda Auto a.s.	11
1.2	Cíle diplomové práce.....	13
2	Úvod do problematiky	14
2.1	Simulace.....	14
2.1.1	Základní pojmy v simulaci	15
2.1.2	Proč simulovat	16
2.1.3	Nedostatky simulace.....	17
2.1.4	Oblasti využití simulace.....	17
2.1.5	Simulační Software.....	18
2.2	Metodika simulace.....	23
2.2.1	Definice projektu	25
2.2.2	Tvorba modelu a testování.....	25
2.2.3	Experimentování	28
2.2.4	Dokončení projektu.....	29
2.3	Dopravníkové systémy v automobilovém průmyslu	31
2.3.1	Skidové dopravníky	31
2.3.2	Vozíkové dopravníky.....	32
2.3.3	Závěsové dopravníky.....	34
3	Popis současného a plánovaného stavu	35
3.1	Současný stav montážní linky.....	35
3.1.1	Struktura montážní linky	35
3.1.2	Předmontáž agregátu.....	38
3.1.3	Předmontáž podvozku.....	41
3.1.4	Dopravník EHB	43
3.2	Plánovaný stav na montážní lince.....	43
3.2.1	Alternativa A.....	44
3.2.2	Alternativa B.....	45
4	Analýza současného stavu pomocí počítačové simulace.....	46
4.1	Popis struktury a logiky modelu	46
4.1.1	Struktura modelu.....	46
4.1.2	Logika řízení modelu	48
4.2	Verifikace a validace základního modelu.....	51
4.3	Popis a výstupy experimentů na základním modelu.....	53
4.3.1	Vliv prostojů na propustnost systému.....	53
4.3.2	Optimální počet vozíků.....	56
5	Zhodnocení navrhovaných alternativ.....	57
5.1	Popis změn modelu podle alternativ A a B.....	57
5.1.1	Alternativa A.....	57
5.1.2	Alternativa B.....	58
5.2	Technické změny potřebné k realizaci.....	58
5.2.1	Alternativa A.....	58
5.2.2	Alternativa B.....	59
5.3	Výsledky simulačních experimentů navrhovaných alternativ	60
5.4	Porovnání alternativ.....	62

6	Závěr	63
7	Seznam literatury	64
8	Seznam příloh	66

Seznam použitých zkratek a symbolů

AGV – zkratka anglického názvu „Automated Guided vehicle“, bezobslužné dopravní systémy

ASAP – Akciová společnost pro automobilový průmysl

AZNP – Automobilový závod národní podnik

CAD – „Computer-Aided Design“, počítačová podpora konstruování

CAM – „Computer-Aided Manufacturing“, počítačová podpora výroby

EHB – Závěsový dopravník na transport karoserií vozů ve firmě Škoda Auto

FiFo – prioritní pravidlo „First-in-First-out“

FTS – zkratka německého názvu „Fahrloses Transport-System“, bezobslužné dopravní systém

MTTR – „Mean Time To Repair“, střední doba trvání poruchy

MTBF – „Mean Time Between Failures“, střední doba mezi poruchami

SKD – „Semi-Knocked Down“, vozy v částečném stavu smontování určené k vývozu (vypravená karoserie, hnací agregát, podvozkové orgány, výfukové potrubí, drobné montážní díly a provozní kapaliny)

v – rychlost [m/min]

1 Úvod

V dnešní hektické době s dynamicky měnícím se trhem a stále většími požadavky zákazníků je pro podniky důležité udržet si konkurenceschopnost a schopnost rychle reagovat na změny. To vyžaduje rychlá rozhodnutí, ne všechna rychlá rozhodnutí však musí být i správná. Pro eliminaci rizik nesprávných rozhodnutí nám mohou pomoci některé nástroje pro podporu rozhodování, jako je např. diskrétní simulace. Tato diplomová práce se zabývá využitím metody diskrétní simulace dynamických systémů při analýze, řešení a ověřování plánovaných konceptů na montážních linkách.

Úvodní část diplomové práce je věnována teorii počítačové simulaci a dopravníkovým systémům využívaných v automobilovém průmyslu.

V praktické části je práce zaměřena na uplatnění metody diskrétní simulace dynamických systémů. Problematika se týká hledání optimálního umístění nové operace a ověření plánovaného konceptu dle požadavků a specifikací zadavatele. V diplomové práci je zkoumána linka předmontáže a zástavby agregátu v montážním závodě Hala M13-montáž A5 ve firmě Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav. Na modelu zkoumaného úseku montáže byly ověřeny navrhované alternativy umístění nového pracoviště, které problematiku řeší s ohledem na výrobní takt montážních linek a požadovanou denní produkci.

1.1 Škoda Auto a.s.

Akciová společnost Škoda Auto je jedním z předních světoznámých výrobců osobních automobilů a členem skupiny Volkswagen Group, i přesto si zachovává svou Image a firemní značku. Je jedním z největších právních subjektů v naší republice a zaměstnává cca 20.000 zaměstnanců ve třech výrobních závodech. V Mladé Boleslavi se nachází hlavní závod firmy a dva pobočné závody jsou v Kvasinách a Vrchlabí. V současné době produkuje firma Škoda Auto v těchto závodech vozy modelových řad Fabie, Octavie, Roomster a Superb. [1]

Historie firmy

Počátkem prosince roku 1895 začali mechanik Václav Laurin a knihkupec Václav Klement vyrábět v Mladé Boleslavi jízdní kola (Obrázek 1). Roku 1899 zahájil podnik Laurin & Klement výrobu motocyklů doprovázenou úspěchy v mezinárodních soutěžích. V roce 1905 přešli Laurin a Klement postupně na výrobu automobilů. První automobil Voiturette A byl velkým prodejním úspěchem a firmě zajistil stabilní



Obrázek 1 - V.Laurin a V.Klement [1]

postavení na postupně se rozvíjejícím mezinárodním trhu vozidel. Produkce se podstatně rozšířila a záhy překročila rámec rodinného podniku. V roce 1907 byla uskutečněna přeměna na akciovou společnost. Ve dvacátých letech se projevila potřeba sloučení podniku se silným průmyslovým partnerem a roce 1925 došlo ke sloučení s podnikem Škoda Plzeň, což znamenalo konec

značky Laurin & Klement. Již v roce 1930 se produkce automobilů v rámci koncernu Škoda opět vyčlenila jako samostatná akciová společnost pro automobilový průmysl (ASAP), které se po odeznění světové hospodářské krize podařilo uspět na mezinárodním automobilovém trhu modelem Škoda Popular. V období německé okupace byl výrobní program orientován především na potřeby Německa. Po 2. světové válce byla společnost přeměněna na národní podnik s označením AZNP Škoda. Počátkem sedmdesátých let nastala permanentní stagnace hospodářského systému, která poznamenala také mladoboleslavské automobilové závody, a to i přes jejich vedoucí postavení na východoevropském trhu. Nový průlom zaznamenala výroba teprve se zavedením modelové řady Škoda Favorit v roce 1987. Po politickém převratu v roce 1989 začala vláda Československé republiky a vedení firmy Škoda v Mladé Boleslavi hledat v nových podmínkách tržního hospodářství silného zahraničního partnera, který by zajistil svými zkušenostmi a investicemi mezinárodní konkurenceschopnost. V prosinci 1990 se vláda rozhodla pro spolupráci s německým koncernem Volkswagen. 16. dubna 1991 zahájil svou činnost společný podnik Škoda, automobilová a.s., jenž se stal vedle firem VW, Audi a Seat čtvrtou značkou koncernu. [1]

1.2 Cíle diplomové práce

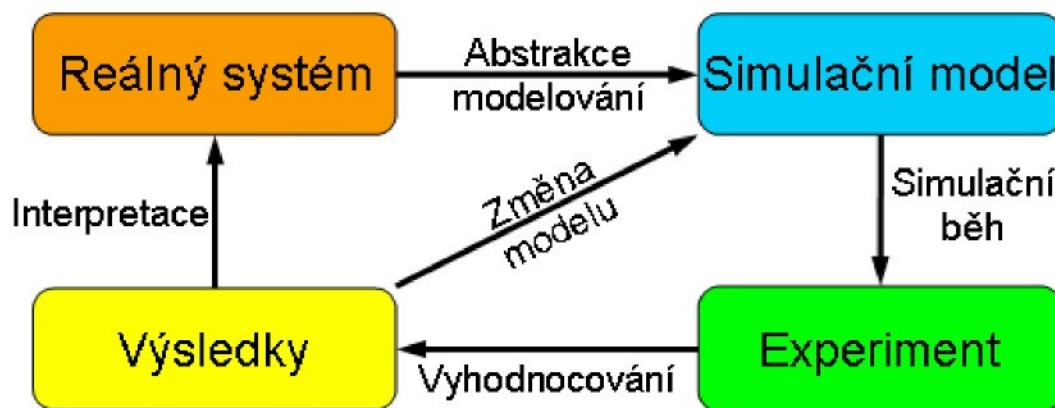
Hlavním cílem této diplomové práce bylo ověření plánovaného konceptu navýšení výrobních kapacit pomocí diskrétní simulace a uplatnění výstupů z diskrétní simulace v procesu rozhodování. Ověření plánovaného konceptu spočívalo v provedení simulačních experimentů na základním modelu zkoumaného systému a prověřením vlivu změn vyplývajících z navrhovaných alternativ konceptu na propustnost zkoumaného systému. Na základě takto získaných poznatků bude v závěru diplomové práce doporučena vhodnější alternativa plánovaného konceptu k realizaci. V neposlední řadě bylo dílčím cílem a očekáváním této diplomové práce, stejně jako i všech simulačních projektů, vytvoření základního modelu zkoumaného systému tak, aby bylo možné jeho pozdější opětovné využit.

2 Úvod do problematiky

Tato část diplomové práce je zaměřena na teoretické znalosti v oblastech počítačové simulace diskrétních událostí a dopravníkové systémy využívaných v automobilovém průmyslu k zajištění materiálových toků.

2.1 Simulace

Pod pojmem *počítačová simulace* se obecně rozumí vytvoření simulačního modelu zkoumaného procesu a experimentování s ním, viz obrázek 2 .[2][3][6][7]



Obrázek 2 - Princip simulace [6]

Tvorba modelu je proces transformace zkoumaného reálného systému do podoby modelu. Transformace je prováděna abstrakcí našich znalostí zkoumaného systému a vnáší do modelu únosnou míru zjednodušení. Zjednodušení, které tu máme na mysli, se netýká hlavních parametrů a proměnných zkoumaného systému. Práce s modelem napomáhá lepšímu pochopení chování studovaného systému a pomocí simulačních experimentů provedených na modelu je možné ověřit plánované koncepce a vlivy změn v systému. Simulace je tedy i metoda analýzy složitých dynamických procesů a nástroj pro podporu rozhodování [2][3][4][6].

2.1.1 Základní pojmy v simulaci

Při definování termínu simulace narazíme na základní pojmy jako je např. systém či model a na pojmy s nimi spjaté, které je potřeba znát. [2]

Systém

Pojem *systém* je užíván v mnoha oborech a jeho význam se může nepatrně lišit. Obecně je možné systém definovat jako množinu vzájemně propojených prvků, která má vstupní a výstupní vazbu na své okolí. V simulaci systémem chápeme část reálného světa, který je cílem našeho zkoumání (např. výrobní linky, výrobní a logistické procesy, atd.). [2][3]

Podle způsobu vnímání času dělíme systémy na [2]:

- **statické** – systém, ve kterém se čas zanedbává
- **dynamické** – čas se v systému zanedbává (dvě události nastaly současně nebo jedna dříve než druhá)

Simulace se zabývá pouze dynamickými systémy.

Model

Slovo *model* je všeobecně známé a je chápáno jako předloha budoucího výrobku či v měřítku zmenšené znázornění reálného objektu. V případě simulace je model chápán jako reprezentace reálného systému na základě námi zvolených abstrakcí, který je sestaven za pomoci nashromážděných informací o zkoumaném systému. [2]

Podle charakteru procesu dělíme modely na [2]:

- **deterministické** – v modelu nejsou zahrnuty náhodné proměnné
- **stochastické** – zkoumaný problém nebo metoda řešení má náhodný charakter

Podle způsobu zachycení faktoru času v modelu je dělíme na [2]:

- **se spojitými změnami** – hodnoty atributů v modelu se v čase mění souvisle
- **s diskrétními změnami** – změny v čase nejsou spojité, ale mění se skokem
- **kombinované** – vlastnosti typické pro oba předchozí modely

2.1.2 Proč simulovat

Počítačová simulace přináší odpovědi na spoustu otázek a důvody proč využívat počítačovou simulaci můžeme shrnout do následujících bodů [6][8]:

- Simulace umožňuje řešit velmi složité systémy, které jsou pomocí analytických metod neřešitelné nebo by využití těchto metod vedlo k přílišnému zjednodušení.
- Simulace umožňuje zkoumání systému a jeho chování v reálném, zrychleném a zpomaleném čase. Díky tomu je možné několika týdenní či měsíční průběh výroby odsimulovat během pár minut.
- Simulace poskytuje komplexní pohled na zkoumaný problém. Dále model dovoluje sledování různých parametrů systému a vzájemné vazby jednotlivých subsystémů.
- Simulace nabízí detailnější přehled o podnikových procesech. V modelu lze využít grafické prvky pro lepší znázornění výsledků a pomocí animace je možné vizualizovat průběh simulace.
- Sledování průběhu simulace modelu napomáhá lepšímu chápání reálného systému. Lze sledovat vliv změn jednotlivých parametrů na chování ostatních veličin i na zkoumaný systém jako celek.
- Poznatky z tvorby simulačního modelu mohou vést k návrhům optimalizace zkoumaného systému. Tvorba simulačních modelů není možná bez důkladné analýzy a může tak odhalit rezervy systému již na počátku projektu.
- Simulace umožňuje ověření různých variant řešení. Tím je možné minimalizovat rizika chybných rozhodnutí a zahrnout do navrhovaných variant nečekané události.
- Vytvořený simulační model je možné opakovaně využívat v dalších činnostech podniku, jako např. řízení, optimalizační procesy či školení pracovníků.
- Simulace vede k týmové a tvůrčí práci.

2.1.3 Nedostatky simulace

Jako první nedostatek, který na simulaci podniky sledují, je počáteční investice. I přes narůstající využívání simulace jsou investice na pořízení simulačního softwaru poměrně vysoké. Do počátečních investic je nezbytné započítat nejen pořizovací cenu softwaru, ale i náklady na školení a výpočetní techniku. [12]

Tvorba simulačního modelu je vysoce náročná, k tomu je zapotřebí kvalifikovaný personál. To má přímo za následek nárůst mzdových nákladů na provoz simulačního pracoviště. V neposlední řadě může nedostatečná kvalifikace vést k chybné interpretaci výsledků získaných ze simulačních experimentů. [12]

Na základě těchto faktů je nutné před zavedením simulace do procesů rozhodování a optimalizace v podniku důkladně zvážit možné přínosy a návratnost této investice.

2.1.4 Oblasti využití simulace

Možnost uplatnění počítačové simulace je v dnešní době velmi široká. Simulaci lze aplikovat na řešení celé řady úloh v oblasti projekční, logistické, personální, podnikové strategie, ale i v oblastech medicíny, fyziky a mnoha dalších. Jinými slovy: „simulovat je možné téměř vše“. Pro názornost jsou zde uvedeny některé příklady využití [6][8] :

- plánování a řízení výroby – operativní plánování s ohledem na aktuální situaci
- dimenzování montážních systémů a jejich zásobování
- simulace dopravy v podniku, dílně nebo přímo na pracovišti
- přezkoumání investic výrobních zařízení a jejich využitelnost
- stanovení normy obsluhy při změně výrobních kapacit
- ověření vhodnosti nasazení robotizovaných systémů a řešení kolizních stavů
- návrh podnikové strategie dle předpokládaného vývoje trhu
- simulace materiálového toku a procesů v podniku

Využití počítačové simulace v procesu rozhodování přináší možnost nalézt odpovědi na klíčové otázky, jako např. [9]:

Dodržíme termín zakázky a jaký vliv bude mít přijetí této zakázky?

Jak velká je současná rozpracovanost výroby a jaká je průběžná doba výroby jednotlivých výrobků?

Kde jsou rezervy a úzká místa našeho podniku a jsou opravdu zapotřebí další investice pro dodržení navýšení výrobních kapacit?

Jak ovlivní porucha či výpadek určitého provozu celkovou výrobu?

2.1.5 Simulační Software

Rozvoj výpočetní techniky umožnil realizaci počítačové simulace. Simulační model je počítačový program provádějící velké množství výpočtů, který je zobrazen v uživatelském prostředí závislém na použitém simulačním prostředku. Hranice a možnosti počítačové simulace jsou dány rozvojem výpočetní techniky a programování.[3][7]

Alternativy programovacích prostředků [3]:

- obecný programovací jazyk

Tvorba simulačního modelu v obecném programovacím jazyce, jako je např.

Pascal nebo C++, je poměrně vyjímečná možnost. Jedná se o složitý a časově náročný způsob tvorby simulačního modelu, jehož jediná výhoda je naprostá flexibilita tvorby.

- simulační programovací jazyk

Je to programovací jazyk, který vznikl speciálně pro požadavky na tvorbu simulačních modelů. Simulační programovací jazyk (software) již v sobě obsahuje struktury (prvky), které umožní uživateli poměrně snadno a rychle vytvářet modely.

- ostatní jazyky a programy

Pro některé aplikace neobsahující dynamické prvky a pro určité typy simulačních modelů může být vhodnější použití jiných programovacích

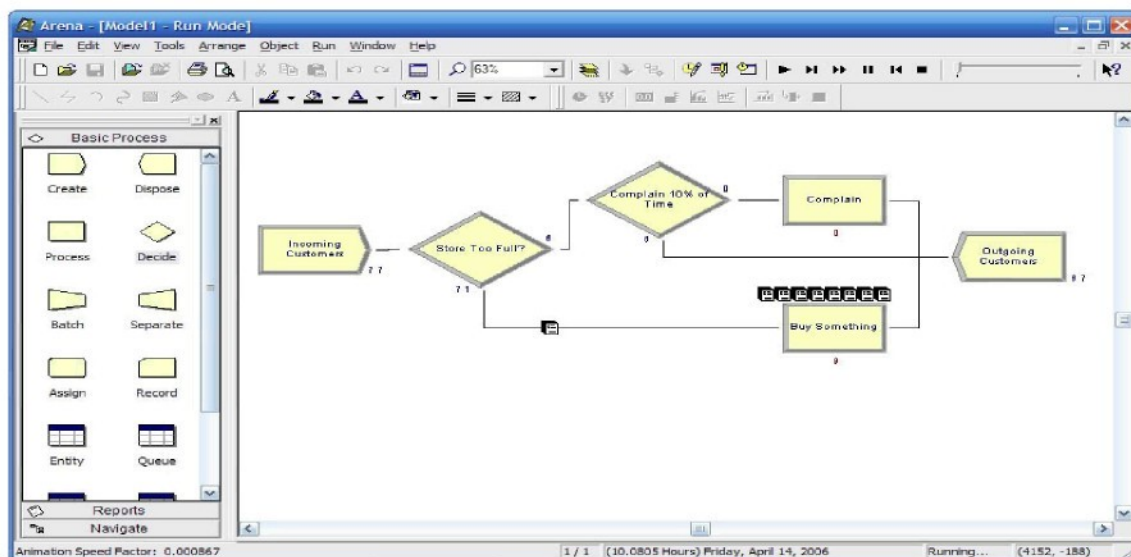
prostředků než simulačního programovacího jazyka. Jedná se především o matematické a technické výpočetní systémy, jako je např. program MATLAB s nadstavbou SIMULINK od společnosti MathWorks.

Produkty pro diskrétní simulaci

Většina simulačních produktů má formu vizuálního interaktivního modelovacího systému. V tomto systému je programování do maximální míry nahrazeno operacemi s předdefinovanými prvky v uživatelsky přátelském grafickém prostředí s možností využití obecného programování pro tvorbu specifických procesů. Samozřejmostí je znázornění simulačního běhu namodelovaného systému a grafické zpracování výsledků simulace. [3][7][14]

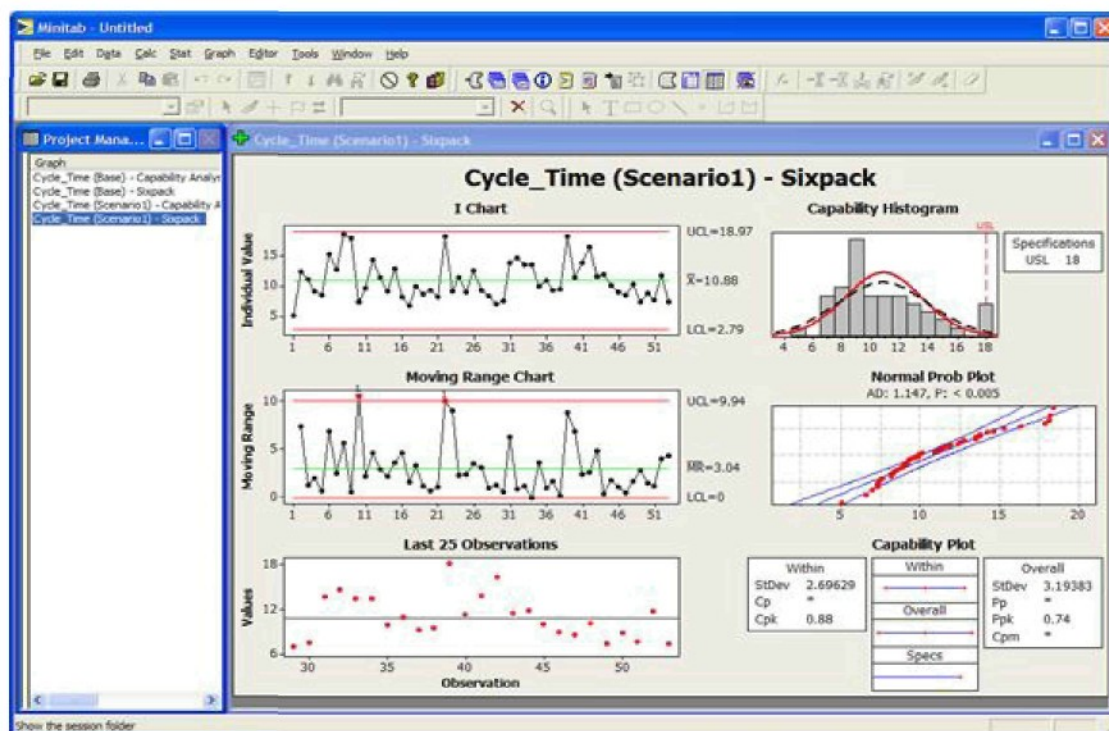
Zde je uvedeno pro ilustraci několik produktů:

Arena (Obrázek 3) je produktem od firmy Rockwell Automation (původně vyvinut firmou Systems Modeling Corporation). Arena je obecným simulačním jazykem pro průmyslové aplikace a business process reengineering, který je součástí integrované rodiny produktů Arena pro manažerské rozhodování a kontinuální zlepšování kvality. Arena je grafickým/animačním systémem založeným na principech hierarchického modelování.



Obrázek 3 - Simulační program Arena [15]

ProModel (Obrázek 4) od firmy Promodel Corporation je simulačním produktem pro diskrétní simulaci, který je určen k hodnocení, plánování a projektování výrobních, skladovacích a logistických systémů. V České Republice distribuuje simulační software ProModel firma Proverbs.



Obrázek 4 - Simulační program ProModel [16]

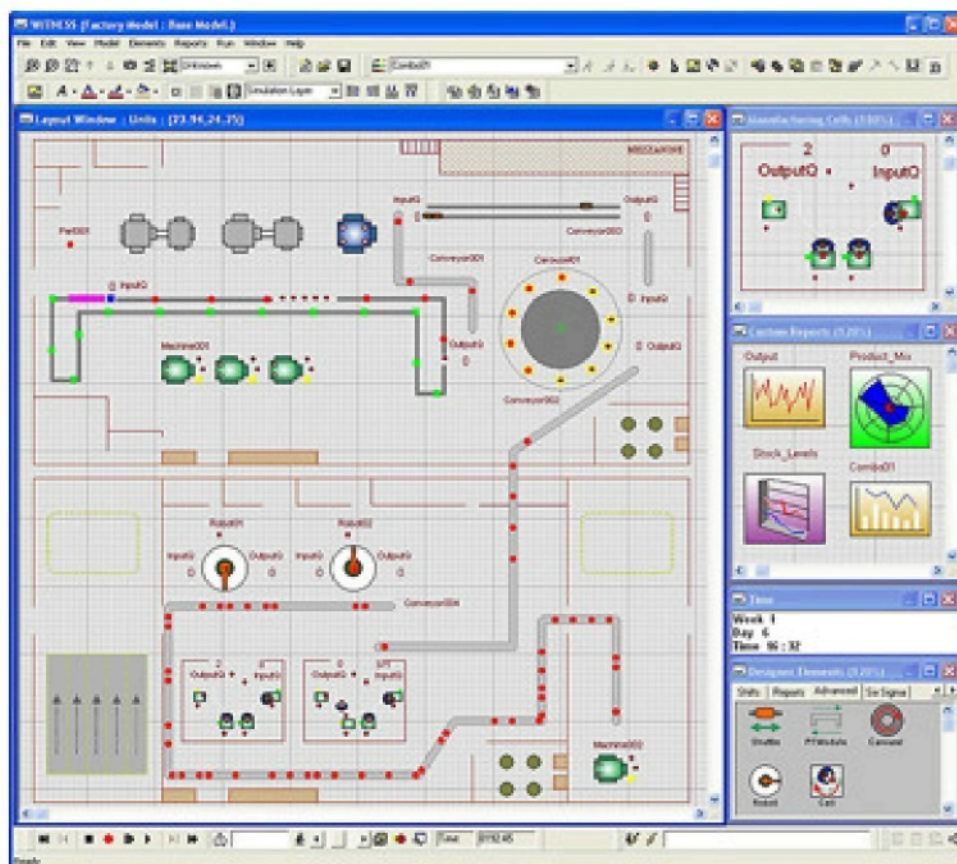
Simul8 (Obrázek 5), který je produktem stejnojmenné firmy Simul8 Corporation, je simulačním programem určeným především pro modelování podnikových procesů. Program je založen na diskrétní simulaci a umožňuje poměrně snadnou tvorbu simulačních modelů zkoumaných podnikových procesů a systémů.



Obrázek 5 - Simulační program Simul 8 [17]

Witness (Obrázek 6) je simulačním produktem od britské firmy Lanner Group, kterou na českém trhu zastupuje firma HUMUSOFT. Witness je určen zejména pro simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů. Jádrem systému Witness doplňují moduly pro optimalizaci procesů, zobrazení v prostředí virtuální reality, pro snadnou oboustrannou výměnu informací mezi nástroji Witness a Microsoft VISIO, propojení s CAD/CAM systémy, dokumentaci modelů a získání znalostí z rozsáhlých souborů dat. Podrobnější informace o systému Witness jsou popsány v následující kapitole. Prediktivní technologie a simulační metody poutají stále více pozornosti odborníků v mnoha oblastech.

Witness existuje ve dvou oborových verzích - pro oblast výroby a logistiky je určena verze "Manufacturing Performance Edition", pro oblast služeb je to verze "Service and Process Performance Edition".



Obrázek 6 - Simulační program Witness [14]

2.2 Metodika simulace

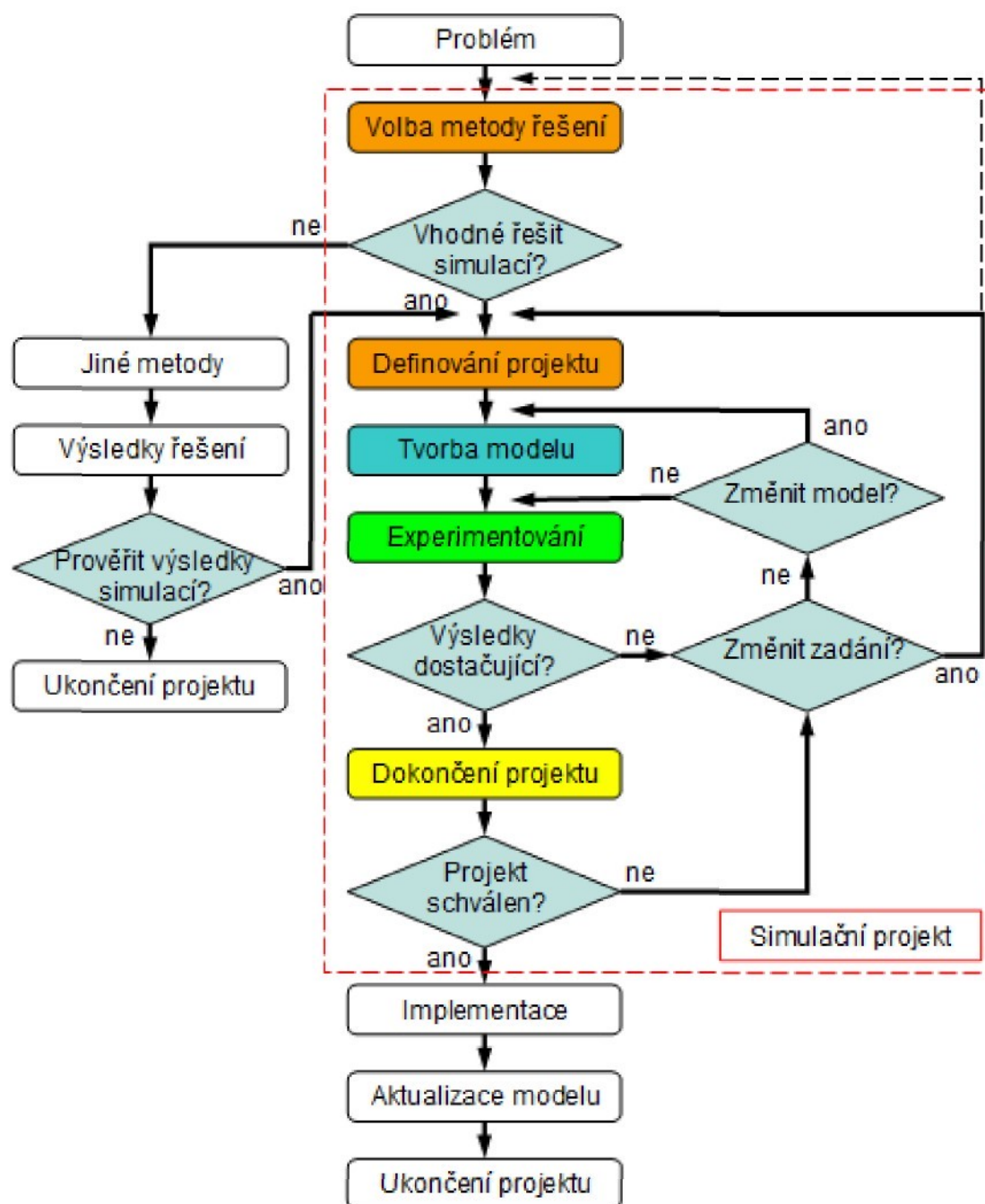
Simulační projekt můžeme obecně rozdělit do čtyř základních etap, přičemž se každá z těchto etap simulačního projektu dále dělí na dílčí operace. Toto rozdělení ovšem není pevně dané a v literatuře je možné nalézt různé varianty, které jsou však obsahově podobné. Přeskočení nebo podcenění některé z fází a operací simulačního projektu může ve výjimečných případech přinést časovou a finanční úsporu, většinou je však efekt negativní a dochází k zdržení a celkovému prodražení projektu. [2][3]

Struktura simulačního projektu:

- **Definice problému:**
 - analýza problému
 - definice a rozsah simulačního projektu
- **Tvorba modelu a testování:**
 - analýza systému a sběr dat
 - tvorba modelu
 - validace
 - verifikace
- **Experimentování:**
 - simulační experiment
 - optimalizace
 - zhodnocení výsledků simulace
- **Dokončení projektu:**
 - projektová dokumentace
 - prezentace výsledků

Uvedená struktura simulačního projektu je jednou z mnoha variant, které lze nalézt v odborné literatuře. Liší se především pojmenováním základních etap a detailností v jejich rozdělení na dílčí operace, logická posloupnost operací zůstává shodná. Hlavní etapy a jejich části budou popsány v následujících kapitolách. [3]

Na Obrázku 7 je zobrazen vývojový diagram simulačního projektu, je zde znázorněna logická posloupnost operací a fáze rozhodování v průběhu zpracování projektu. Pole „Aktualizace modelu“ ve vývojovém diagramu napovídá, že simulační projekt nikdy zcela nezaniká a je součástí nepřetržitého procesu zlepšování.[2]



Obrázek 7 - Vývojový diagram simulačního projektu [9]

2.2.1 Definice projektu

Základem pro tvorbu projektu je důkladná analýza problému. V případě modelování systémů je součástí analýzy seznámení se se strukturou, funkcí jednotlivých částí a všemi probíhajícími procesy v daném systému. Po jednoznačném pochopení problematiky můžeme přistoupit k definování a určení rozsahu problému, stanovení cílů řešení a rozdělení na dílčí problémy, kterými se budeme zabývat. Dalším krokem na počátku projektu je volba základní metody a postupu řešení problémů, dílčích cílů a jejich priorit spolu s navržením alternativních metod. To také znamená stanovit, zda a v jaké fázi projektu je vhodné použít počítačovou simulaci nebo zda při řešení problému vystačí jiná, časově méně náročná metoda. V případech, kdy se k řešení problému využívá jiná metoda než počítačová simulace, je často potřeba takto získané výsledky ověřit na působení dynamických a stochastických vlivů. I v případě, kdy máme více variant řešení problému, může být vhodné tato řešení pomocí simulace vyzkoušet a porovnat. [2][3][8][10]

Této části by se měla věnovat zvláštní pozornost. Důkladným definováním projektu, vhodnou volbou strategie zpracování projektu, lze výrazně snížit časové a finanční náklady dílčích operací a celého projektu. [10]

2.2.2 Tvorba modelu a testování

Tuto etapu lze rozdělit do 2 až 4 operací, záleží na pojetí realizačním týmem:

- analýza systému a sběr dat
- tvorba modelu
- validace
- verifikace

Přičemž analýza systému a sběr dat s tvorbou modelu a validace s verifikací mohou být chápány jako jedna operace.

Tvorba modelu

Pro tvorbu simulačního modelu je nutné získání vstupních údajů. Jedná se o definování prvků v systému a jejich vazeb, sběr dat a analýzu pravděpodobnostních

rozdělení náhodných veličin. Zde je pro správnost modelu důležité se pozorně věnovat části sběru a zpracování dat. [2]

Postup přeměny znalostí o pozorovaném systému a definovaném problému do podoby simulačního modelu se dá rozdělit do několika kroků, při kterých definujeme tzv. pojmový model. Pojmový model je spojovacím článkem mezi našimi znalostmi reálného systému a simulačním modelem a je mírou abstrakce daného procesu. Míra abstrakce určuje přesnost a složitost modelu, čím přesnější tím složitější. Kroky transformace znalostí [2][4][11]:

Specifikace účelu vytvářeného modelu:

- zhodnocení – určení, zda navrhované změny vyhovují stanoveným kritériím
- porovnání – srovnání efektů variant činnosti systému
- citlivostní analýza – určení faktorů podstatně ovlivňujících studovaný systém
- optimalizace – určení takové kombinace úrovní faktorů, které povedou k optimální hodnotě určeného kritéria

Popis prostředků a funkcí, vztahy, chování a vlastnosti systému.

Pro stanovení cíle modelovaného systému je nutné identifikovat jeho prvky, stanovit zda má být součástí modelovaného systému, či patřit do podstatného okolí. S tím souvisí i výběr vnějších a vnitřních proměnných, přičemž některé bývají přímo určeny cílem modelu. To znamená, že obsahují informace, které chceme přímo od modelu získat. Možné popisy systému:

- **Verbální popis** – nejméně přesný, zato snadno pochopitelný. Základ pro složitější pojmenování.
- **Matematický popis** – nejpřesnější a jednoznačný popis.
- **Schématický popis** – využíván u systémů se specifickou strukturou (elektrické systémy). Popis je jednoznačný za předpokladu správné specifikace komponentů a propojení ve struktuře.
- **Vývojový diagram** – využívá se, pokud je možné chování systému znázornit graficky jako sekvenční posloupnost konání akcí s možností větvení.

Zjednodušení systému.

Tvorba validních, nejjednodušších modelů se může chápat jako proces přidávání dalších komponentů a proměnných do velmi jednoduchého modelu nebo jako zjednodušování validních, ale příliš složitých modelů. Nalezení rovnováhy mezi složitostí a validitou modelů je podstatný krok k získání ideálního modelu pro splnění cílů simulačního projektu. Ideálně vyvážený model se nazývá základní model. Ten vzhledem k míře zjednodušení reprezentuje chování zkoumaného systému.

Validace

Pod pojmem validace rozumíme ověření správnosti modelu a ve vztahu systém-model je důležitým hlediskem. Validita modelu se posuzuje dosaženou mírou shody mezi daty získanými z reálného systému a daty z odsimulovaného modelu. Podle dosažené validity může být model [2][3] :

- replikativně validní – reprodukuje data z reálného systému
- prediktivně validní – model poskytuje data předtím, než je poskytuje systém
- strukturně validní – model nejen reprodukuje pozorovaná data, ale také odráží činnost reálného systému

Verifikace

Verifikace je jinými slovy ověření platnosti modelu. Jde o ověření, zda vyprojektovaný systém splňuje stanovené požadavky a dá se realizovat.[2][3]

Aby bylo možné model verifikovat nebo validovat, je nutné prokázat jeho pravdivost. Důkaz pravdivosti v sobě zahrnuje[2]:

- stanovení množiny kritérií pro rozlišení, které modely jsou pravdivé a nepravdivé
- schopnost aplikovat tato kritéria na daný model

Při verifikaci je třeba ověřit správnost:

- logické a obsahové stránky modelu (vztahy, parametry,)

- převodu modelu do programu (logické chyby modelů)
- formální správnost programu (ladění simulace)

Tato část verifikace je nevyhnutelným předpokladem pro další krok a tím je prověření adekvátnosti modelu a zkoumaného systému. To může být provedeno následujícími postupy:

- **Racionalistický přístup** – Vychází z hypotézy, že model je jednoduchým systémem logických dedukcí, vycházejících z předpokladů, které jsou platné.
- **Empirický přístup** – Nezkoumá se vnitřní struktura simulačního modelu, ale výsledky skrze něj dosažené.
- **Pozitivně ekonomický přístup** – Zdůrazňuje, že validita modelu nezávisí jen na validitě předpokladů, ze kterých model vychází, ale spíše na schopnosti modelu predikovat chování závislých proměnných, které jsou v modelu.
- **Vicestupňová verifikace** – Jedná se o shrnutí, uspořádání a přizpůsobení tří předešlých postupů.

Pokud se při ověřování správnosti či pravdivosti modelu zaznamená neúspěch, je nutné se vrátit ke krokům, které již byly absolvovány. Způsob a rozsah korekce závisí především na charakteru a závažnosti nesrovnalostí. [2]

2.2.3 Experimentování

Experimentování se simulačním modelem poskytuje informace o chování daného systému, které nám pomáhají při nalezení nejlepší varianty řešení.

Simulační experiment

Po validaci a verifikaci simulačního modelu je teprve možné ho využít na řešení zkoumaného problému. Tím je myšleno provedení simulačního experimentu a následná analýza získaných výsledků. Simulační experiment na modelu odhaluje množství charakteristických parametrů a informací o chování zkoumaného systému. [2][3]

Simulační experiment musí být předem naplánovaný tak, abychom vyhodnocením výsledků získali smysluplné informace. Dalším úkolem je vyloučení

nežádoucích vlivů na výsledky simulace. Jde o vlivy [2]:

- počátečních podmínek
- rozptylů náhodných proměnných
- doby „zahřívání“ modelu

Optimalizace

Optimalizace je jednou z forem simulačního experimentu, spočívá v cílené změně hodnot parametrů modelu tak, aby se dosáhlo nejlepších možných hodnot zkoumaných veličin a požadovaných cílů projektu. [2][9]

Zhodnocení výsledků simulace

Výstupem simulačního projektu je soubor číselných hodnot náhodných veličin, které je třeba pomocí metod matematické statistiky zpracovat do požadovaných charakteristik. Výsledky experimentů mají často tvar středních hodnot zkoumaných veličin, jako například průměrné prostoje, průměrné náklady, průměrné využití stroje, atd. [2]

2.2.4 Dokončení projektu

Úspěšné dokončení projektu není podmíněno pouze správným postupem v předešlých etapách, ale v podstatné míře i završením simulačního projektu. To znamená, že tvůrčí tým projektu musí umět komunikovat a musí být schopen své myšlenky a závěry „prodat“ potenciálním uživatelům. [2][3]

Projektová dokumentace

Kompletní projektová dokumentace je důležitá pro zachování poznatků a je zárukou důvěryhodnosti tvůrčího týmu projektu. Výsledky simulačních studií by měly být zdokumentovány ve srozumitelné formě pro snadnou aplikaci výsledků uživatelem na zkoumaný problém. [2][9]

Prezentace výsledků

Zde je nutné řídit se poznáním, že i sebelepší nápad nemusí být doceněn, pokud není náležitě prezentován.

Při prezentaci výsledků jakýchkoliv projektů se dává přednost využívání grafického znázornění (grafy, obrázky, schémata, videa) před slovním popisem a to z těchto důvodů:

- grafické znázornění šetří čas a umožňuje prezentaci v přesné ale zkrácené podobě
- lidé dávají přednost prohlížení obrázků před čtením

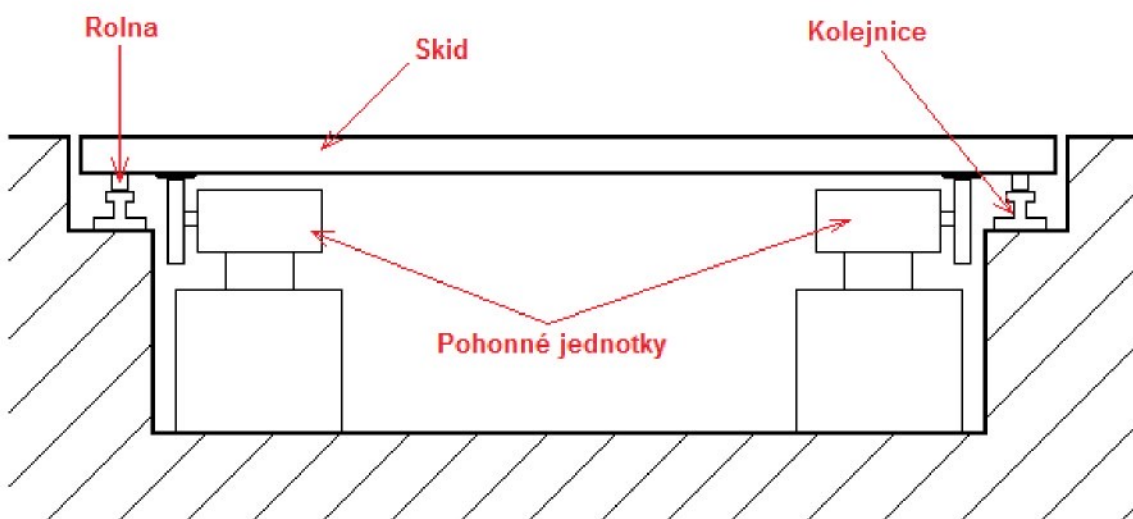
„Jeden obrázek má cemu tisíce slov.“
- grafy jsou vhodný způsob zdůraznění závěrů a sumarizace výsledků. [2]

2.3 Dopravníkové systémy v automobilovém průmyslu

Vzhledem k rozsahu tematiky dopravníkových systémů jsou následující kapitoly pouze stručným seznámením s tím, co lze nalézt na montážních linkách automobilového průmyslu.

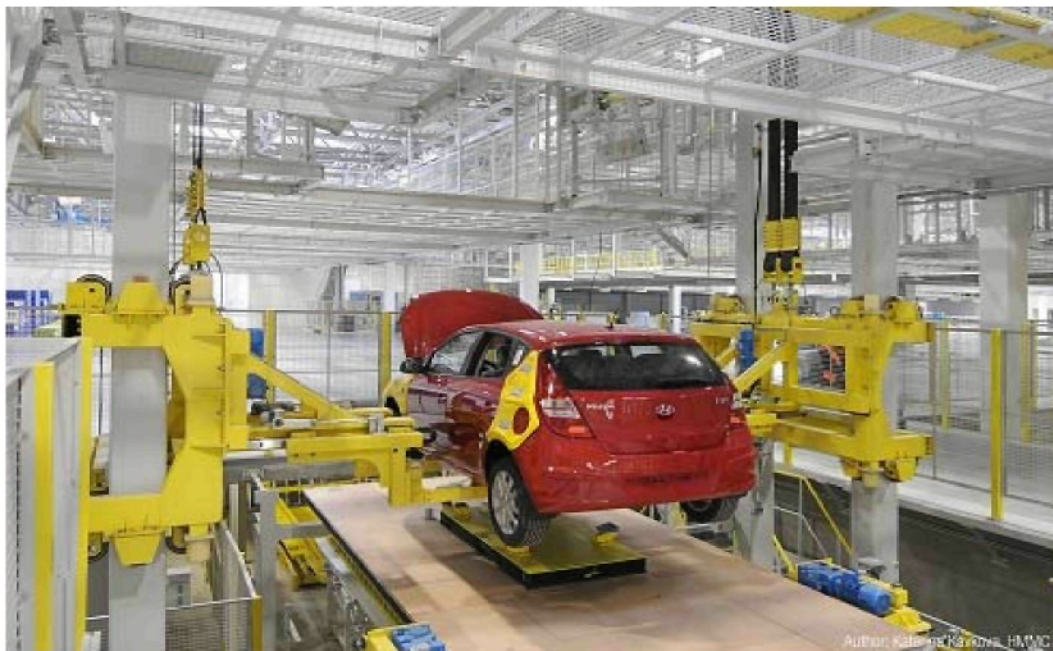
2.3.1 Skidové dopravníky

Dopravník tvoří řetězec samostatných skidů, které se pohybují po kolejnicích v dráze dopravníku. Ta je umístěna pod úrovní podlahy tak, aby vrchní plocha skidu s podlahou tvořila rovinu. Šířka dráhy odpovídá šířce skidu. Pohyb skidů zajišťují dvojice pohonných jednotek umístěných v úrovni kolejnic dráhy v přední části větve dopravníku. Počet dvojic pohonných jednotek závisí na délce větve dopravníku a počtu skidů (viz Obrázek 8).



Obrázek 8 - Schéma dráhy skidového dopravníku

Skid je pevný ocelový rám z vrchní strany pokrytý deskami po celé ploše tak, aby umožňovaly chůzi po povrchu a unesly váhu dospělého člověka. Ze spodní strany je skid vybaven 4-6 rolnami s jejichž pomocí se pohybuje po kolejnicích dopravníku. Rozměry skidů závisí na místě uplatnění, v automobilovém průmyslu, kde se skidové dopravníky používají, má skid rozměry cca 6 m délku a 3 m šířku (Obrázek 9).



Obrázek 9 - Skidový dopravník [18]

2.3.2 Vozíkové dopravníky

Vozíkové dopravníky jsou známy především pod názvem FTS nebo AGV. FTS což znamená „bezobslužné dopravní systémy“. Tento systém lze uplatnit na dopravu materiálu v logistice nebo na dopravníky montážních linek (Obrázek 10, 11).



Obrázek 10 - Vozík FTS [18]

Jedná se o samostatné elektrické vozíky s řízenou přední nápravou a senzorem transpondérů. Vozík je v přední části vybaven bezpečnostními prvky, jako je fotobuňka nebo citlivý tlakový spínač, aby nedošlo k pracovnímu úrazu či kolizi s jiným vozíkem. Velikost vozíku závisí na rozměrech a množství přepravovaného materiálu nebo dílu.



Obrázek 11 - Dopravník FTS [18]

Typ řízení vozíku odpovídá způsobu konstrukce dráhy dopravníku:

Kamerový systém řízení

Vozík je řízen kamerovým systémem, který vyhodnocuje tloušťku a křivost černé vodící linie na podlaze. Linie má tvar linky dopravníku a po celé délce jsou umístěny vysílače, tzv. transpondéry. Transpondéry mají rozestupy dle požadavků na logiku řízení a tvoří systém kontroly polohy vozíku na dráze.

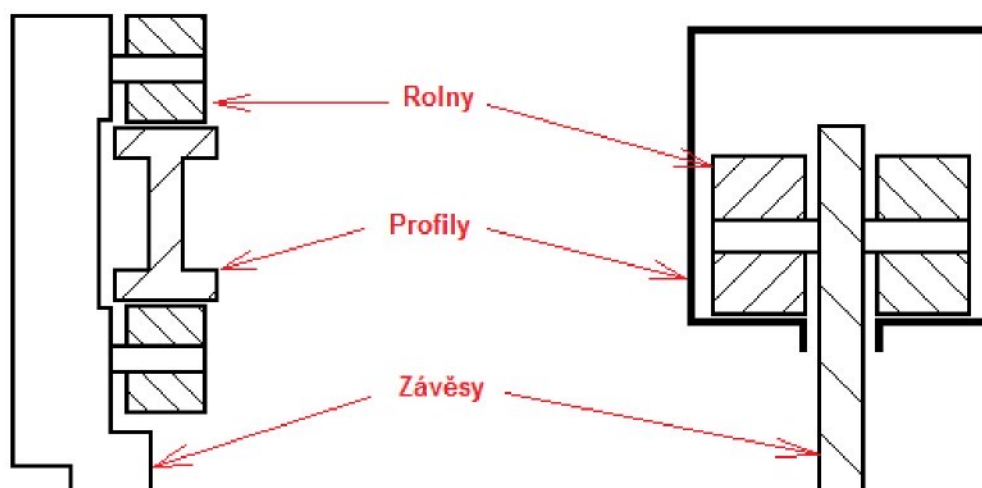
Indukční systém řízení

Dráha dopravníku je tvořena elektrickým vedením položeným v podlaze a řízení vozíků je na principu elektromagnetické indukce. Systém kontroly polohy vozíků na trati je také řešen transpondéry jako v případě kamerového řízení.

2.3.3 Závěsové dopravníky

Hlavní princip závěsových dopravníků spočívá v dráze zavěšené na stropní konstrukci haly, na které se pohybují zavěšené transportní prvky (zavěsy).

Dráha dopravníku je tvořena masivními T nebo I profily pro těžké přepravované díly, např. karoserie nebo Cockpit. Pro lehčí transportované díly, jako jsou sedačky či dveře, je možné využít uzavřené tenkostěnné profily (viz Obrázek 12).



Obrázek 13 - Schéma pojezdu závěsů

Závěsy jsou samostatné transportní prvky vybavené pohonnou a řídicí jednotkou. Tvary závěsů závisí na přepravovaném dílu, způsobu uchycení a možnosti přístupu vzhledem k prováděným pracovním operacím (viz Obrázek 13, 14).



Obrázek 14 - Závěsový Dopravník [18]



Obrázek 12 - Závěs dveří [18]

3 Popis současného a plánovaného stavu

Pro vytvoření funkčního simulačního modelu je důležité důkladné poznání zkoumaného systému. K tomu je zapotřebí sběr dat jako jsou měření, sledování dat z řídicího systému, projektová a výkresová dokumentace, layouts a také pozorování reálného systému v činnosti.

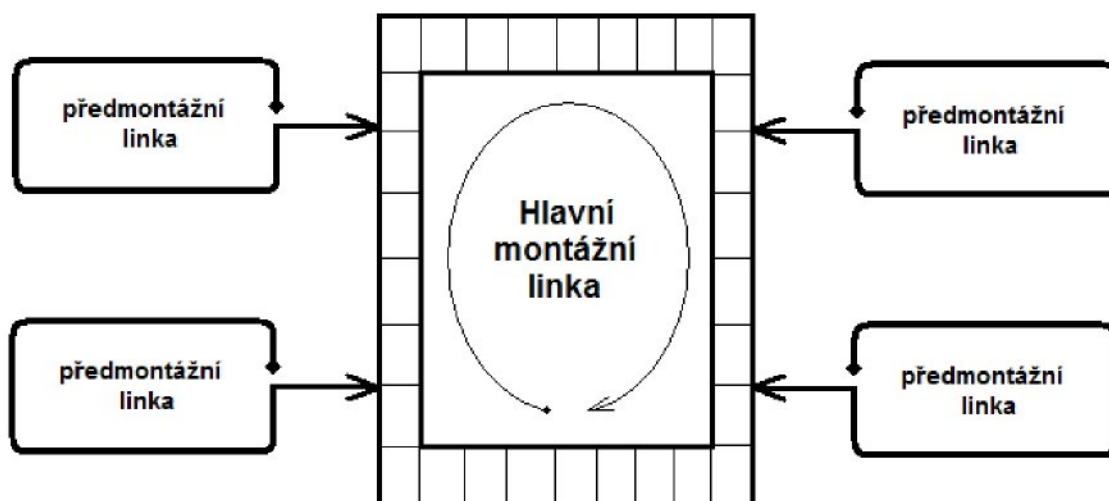
Problematika diplomové práce se vztahuje k lince předmontáže a zástavby agregátu v hale M13-montáž A5 ve firmě Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav (příloha č.1 – Layout předmontáže a zástavby agregátu - neveřejná příloha). Je zde řešen problém umístění nové operace montáže atrap náprav na agregáty vozu SKD. Dle koncepce zadavatele přicházejí v úvahu dvě alternativy umístění této operace vzhledem k technologickému postupu montáže a fyzickým možnostem linky předmontáže. O lince předmontáže a navrhovaných alternativách se dozvíme více v následujících kapitolách.

3.1 Současný stav montážní linky

V době zpracování diplomové práce byla nastavena plánovaná produkce montážní linky haly M13 na 900 vozů/den při třisměnném provozu a pěti pracovních dnech v týdnu. Dle informací poskytnutých firmou Škoda Auto je pro výše uvedenou produkci pracovní takt hlavní montážní linky 1,4 minuty a celková využitelnost (disponibilita) 95%. To odpovídá přibližně 30 minutám prostojů na směnu.

3.1.1 Struktura montážní linky

Montážní linka je rozdělena na hlavní montážní linku a na tak zvané linky předmontáží. Tyto dílčí montáže jsou napojeny dle technologického postupu na hlavní linku (viz Obrázek 15). Na těchto předmontážích se kompletují rozměrnější a složitější části vozu (cockpit, agregát, dveře, frontend a sedačky), které je nemožné nebo příliš komplikované montovat na hlavní lince. Takto smontované části se poté montují (zastavují) do karoserie vozu.



Obrázek 15 - Schéma montážní linky

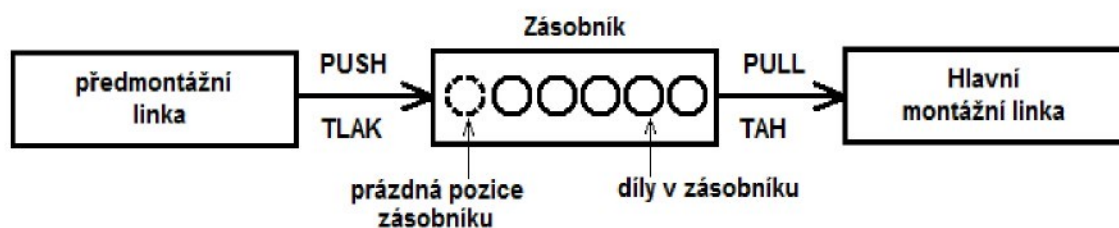
Mezi jednotlivými předmontážemi a hlavní linkou jsou umístěny zásobníky. V zásobnících je tvořena fronta dílů, které slouží pro vyrovnávání drobných prostojů na předmontážích tak, aby nedošlo k zastavení hlavní linky. Také vytváří časový prostor pro řešení složitějších poruch na linkách předmontáže. Problém nastává v případě prostoje na hlavní montážní lince nebo při tak dlouhém prostoji na předmontáži, že došlo k vyprázdnění vyrovnávacího zásobníku. Prostoj hlavní montáže nebo její zastavení vlivem čekání či blokace způsobuje pokles produkce. K případu vyprázdnění zásobníků může dojít za určitou dobu i při krátkodobých prostojích, pokud nebude nějakým způsobem udržováno jejich zaplnění. Toho jde docílit rozdílnými takty mezi hlavní montáží a předmontáží. Pokud má být zásobník neustále doplňován musí být pracovní takt předmontáže kratší než takt hlavní montáže. V našem případě jsou pracovní takty na hlavní lince 1,4 minuty, 1,3 minuty na předmontáži agregátu a technická využitelnost se pohybuje okolo 98% (viz. tabulka. 1.).

Přehled vstupních dat systému		
Plánovaná produkce		900 vozů / den
Směnnost montáže		3 směnný režim
		přestávky 30 min.
Nominální časový fond montáže		22,5 hod / den = 1350 min. / den
Takty montáže		
	hlavní montáž	1,4 min. = 84 s
	předmontáž	1,3 min. = 78 s
Využitelnost		
	hlavní montáž	95%
	předmontáž	98%

tabulka 1 - Vstupní data systému

Z toho vyplývá základní logika obecně platná pro většinu takto strukturované montážní linky:

- všechny dílčí předmontážní linky musí pracovat v kratším taktu než hlavní montážní linka
- vzájemná vazba mezi předmontáží a zásobníkem je dána systémem tlaku (Push) a mezi zásobníkem a hlavní montážní linkou systémem tahu (Pull) (Obrázek 16)



Obrázek 16 - Schéma vazby zásobníku na okolí

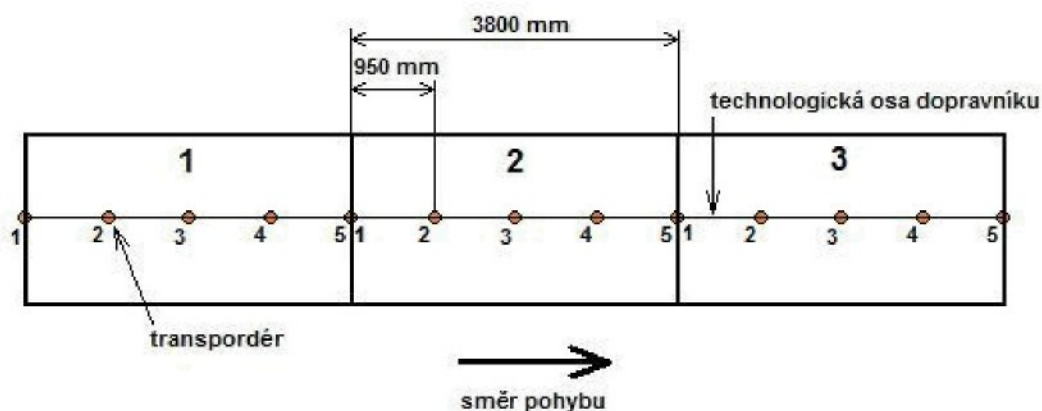
- zásobníky jsou řízeny prioritním pravidlem FiFo (First in First out – první vstupující díl do zásobníku je také první vystupující díl ze zásobníku)

Jak již bylo úvodem řečeno, diplomová práce se věnuje předmontáži a zástavbě agregátu v hale M13-montáž A5 (příloha č.1 – Layout předmontáže a zástavby agregátu - neveřejná příloha). Linku předmontáže a zástavby agregátu lze rozdělit na tři samostatné dopravníky, které na sebe navazují (příloha č.2 – Layout rozdělení úseku linky - neveřejná příloha). První částí je předmontáž agregátu tvořená FTS dopravníkem, v layoutu modře označeno. Pracovištěm převěšování agregátu je spojen řetězový dopravník předmontážních platforem pro kompletaci podvozku a jeho přípravu k zástavbě s dopravníkem předmontáže agregátu. Tento řetězový dopravník, vyznačen zeleně, je druhou částí linky předmontáže. Poslední část tvoří dopravník EHB. Tato část je v layoutu znázorněná červeně.

3.1.2 Předmontáž agregátu

Linka předmontáže je tvořena FTS dopravníkem. Jedná se o skupinu kamerově řízených bezobslužných vozíků vybavených senzorem transpordérů (viz kapitola 4.3.2). Vzhledem ke konstrukčnímu řešení linky je třeba popsat systém kontroly polohy vozíku na trati, vzhledem k přímé návaznosti na logikou řízení vozíků. Systém kontroly polohy vozíků na dráze dopravníku je řešen pomocí rádiového signálu a systému kontrolních transpordérů umístěných v podlaze. Transpordéry vysílají informace, které senzor umístěný v přední části vozíku při přejezdu načte a odešle řídicí jednotce. Díky těmto informacím zná systém polohu každého vozíku na trati a může na základě logiky řízení posílat příkazy pohonné jednotce vozíku.

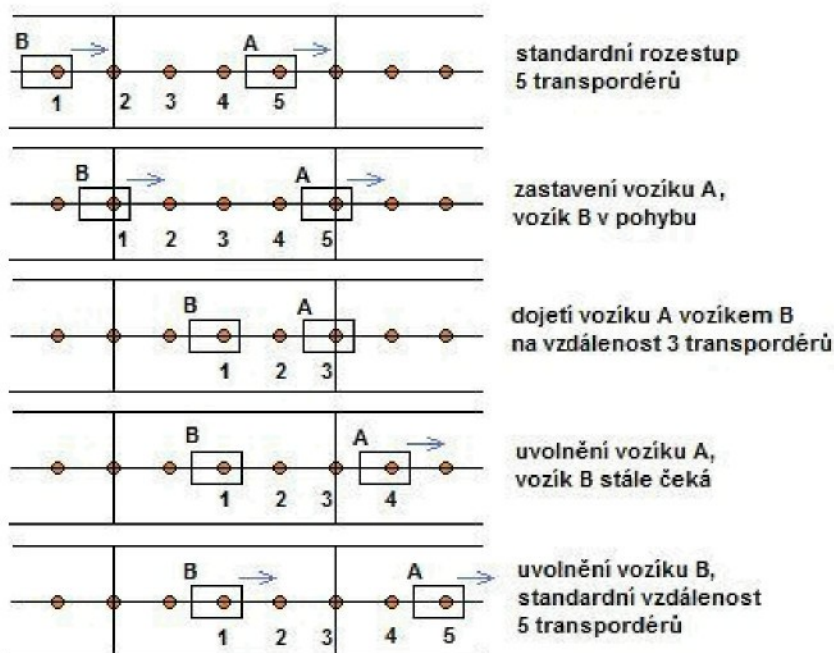
Dráhu linky lze rozdělit do několika částí, dle způsobu chování systému na daném úseku (příloha č.3 – Layout rozdělení předmontáže agregátu - neveřejná příloha). První částí jsou oblasti montážních taktů (takty 1-5, 7-12 a 15-21). V těchto částech je standardní délka taktu 3800 mm a na taktu je umístěno 5 transpordérů s rozestupy 950 mm (viz Obrázek 17).



Obrázek 17 - Schéma taktu předmontáže

Systém se zde chová podle následující logiky:

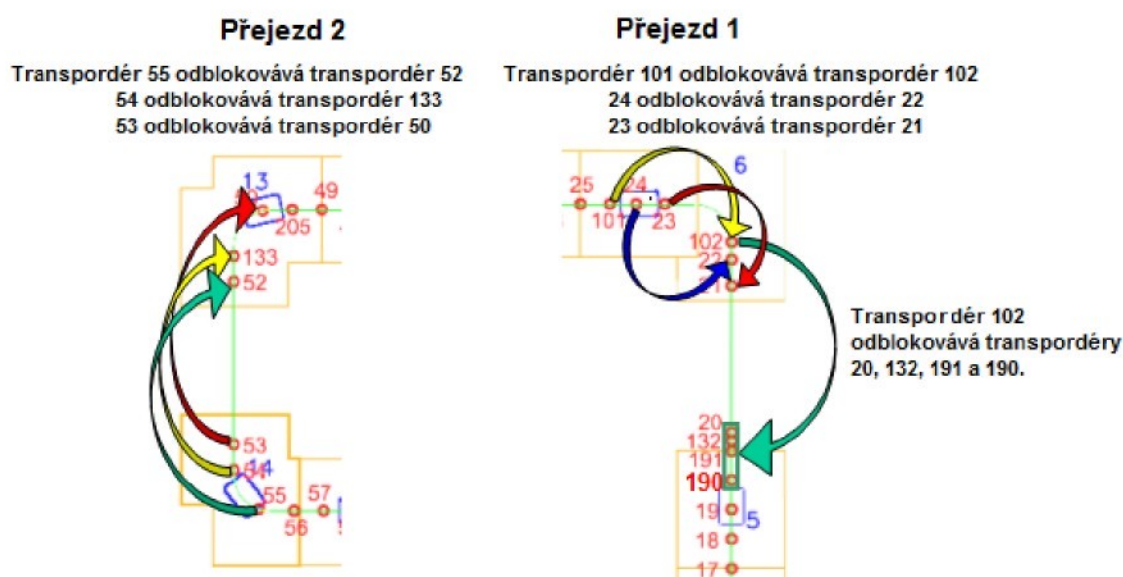
- Vozíky se pohybují kontinuálně konstantní rychlostí $v = 2,92 \text{ m/min}$ a se standardním rozestupem 5 transpondérů.
- Při zastavení vozíku A se vozík B může přiblížit na vzdálenost 3 transpondérů, tedy $2 \times 950 \text{ mm}$. Po uvolnění vozíku A se vozík B opět rozjede po dosažení standardního rozestupu 5 transpondérů mezi vozíky (viz Obrázek 18).



Obrázek 18 - Schéma sjíždění vozíků předmontáže

Druhou částí jsou přejezdy vozíků přes komunikaci, na kterých se vozík pohybuje vyšší rychlostí (rychloposuvem, $v = 17,79 \text{ m/min}$). Na předmontážní lince jsou dva přejezdy, první je mezi takty 5 a 6 a druhý mezi takty 13 a 14. Jak je patrné ze schématických obrázků přejezdů (Obrázek 19), logika řízení se zde od první části liší. Rozdíl nespočívá pouze ve změně rychlosti, ale i v uvolňování transpondérů.

- Změna rychlosti vozíku na prvním přejezdu nastává mezi transpondéry 20 a 21, na druhém přejezdu mezi transpondéry 52 a 53.
- K uvolňování transpondérů dochází na taktech 6, 13 a 14 ve vzdálenosti 4 transpondérů, tedy o 1 transpondér dříve než standardně.



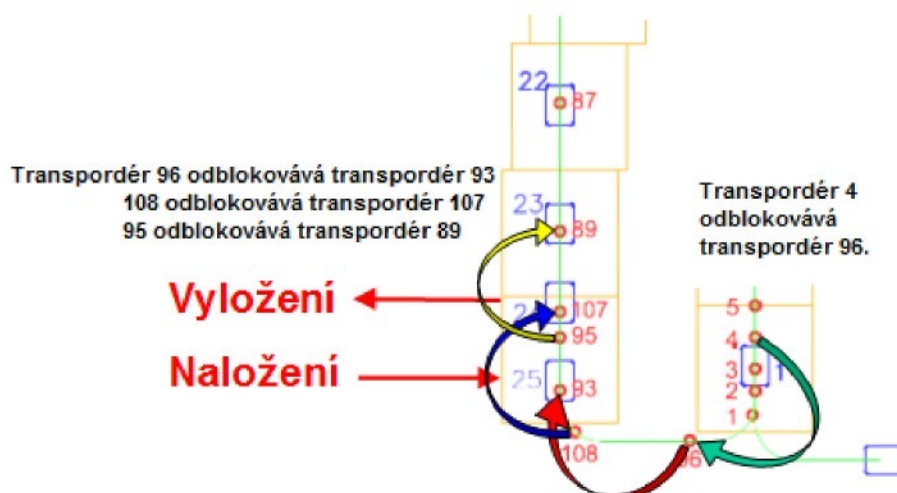
Obrázek 19 - Schéma uvolňování transpondérů přejezdů [13]

Tato logika platí pouze v oblastech prvního přejezdu (přejezd + takt 6, transpondéry 190 až 25) a v oblasti druhého přejezdu (takt 13 + přejezd + takt 14, transpondéry 48 až 56).

Poslední částí linky je úsek taktů 22 až 25 a volné vyrovnávací pozice mezi takty 25 a 1 (transpondéry 87 až 1). Při dosažení transpondéru 84 vozíkem, dojde k nastavení vyšší pojezdové rychlosti na $v = 9,4 \text{ m/min}$. Na taktu 22 (transpondér 87) je umístěna dobíjecí stanice napájecích baterií. Při každém projetí vozíku je dobíjecí stanicí

zkontrolován stav baterie. Pokud stav vybití baterie překročí stanovenou mez je baterie stanici vyměněna. Dále dojde na pozici dobíjecí stanice k zvýšení pojezdové rychlosti na $v = 12,56 \text{ m/min}$. Takt 23 slouží jako čekací pozice před pracovištěm převěšování agregátu, které je umístěno na taktu 24. K převěšení zkompletovaného agregátu dojde na transpordéru 107. Na taktu 25 (transpordér 93) je na vozík umístěn prázdný stojan agregátu z linky předmontáže podvozku. Obě operace probíhají v taktu montáže. Na úseku mezi takty 25 a 1 (transpordéry 108 a 96) jsou vyrovnávací pozice bez pracovních operací s pojezdovou rychlostí vozíku $v = 12,56 \text{ m/min}$. Na transpordéru 1 dojde k opětovné změně rychlosti vozíku na rychlost taktu montáže.

Uvolňování transpordérů této části předmontáže je znázorněno na Obrázku 20.



Obrázek 20 - Schéma uvolňování transpordérů [13]

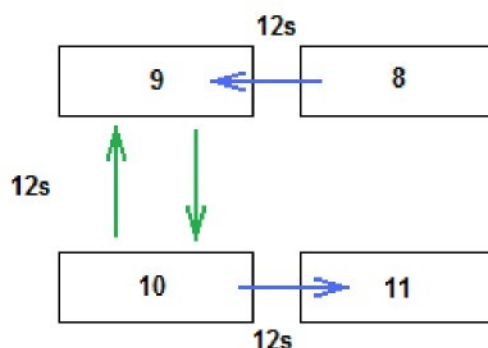
Veškeré informace o uvolňování transpordérů a rychlostech lze nalézt v interní dokumentaci firmy Škoda Auto a.s. Tabulka transpordérů příloha 4.

3.1.3 Předmontáž podvozku

Předmontáž podvozku je druhým dopravníkem zkoumaného úseku montážní linky. Je řešen řetězovým dopravníkem, na kterém se pohybují předmontážní platformy podvozku. Dopravník lze rozdělit na část montážních taktů, zásobníku, zástavby a část přejezdů (příloha č.5 - Layout rozdělení předmontáže podvozku - neveřejná příloha).

Montážní část dopravníku je dána pozicemi 1 až 8, kde se připravuje agregát a součásti podvozku pro zástavbu. Zde se platformy pohybují přerušovaně na základě potvrzení operátora o provedení pracovní operace. Po potvrzení všech osmi operací se celý úsek dopravníku (8 platforem) posune naráz o jednu pozici. Takt 1,3 minuty je na těchto pracovištích součtem času potřebného pro vykonání operace a časem přesunu platformy o jednu pozici.

Pozice 9 a 10 je prvním přejezdem, spojuje montážní část dopravníku se zásobníkem před zástavbou. Přejezd je vybaven posuvným stopem a dvěma typy pohonů, první typ je párový a zajišťuje přesun platformy mezi pozicemi 8 a 9 a současně mezi pozicemi 10 a 11. Druhý typ pohonů přesouvá stůl s platformou z pozice 9 na pozici 10 a poté se vrací zpět (Obrázek 21). Pohyby zajišťované oběma typy pohonu nemohou probíhat současně.



Obrázek 21 - Schéma prvního přejezdu předmontáže podvozku

Část zásobníku tvoří pozice 10 až 14. Zásobník je řízen logikou popisovanou v kapitole 5.1.1 :

- prioritní pravidlo FiFo
- do zásobníku jsou díly tlačeny a ze zásobníku jsou odebírány dle rychlosti na hlavní montáži (viz Obrázek 16)

Druhý přejezd spojuje zásobník a zástavbu agregátu a tvoří ho tři pozice. První pozice přejezdu slouží také jako poslední pozice zásobníku. Na třetí pozici přejezdu je umístěn zdvihací stůl, který zajišťuje zajištění platformy do karoserie vozu. Čas potřebný pro zajištění a předání platformy činí 27s, poté se stůl přesune do spodní polohy za 21s.

Rozdíl mezi časy přesunů je dán nižší dojezdovou rychlostí při ustavování podvozku do karoserie.

Zástavba je druhým úsekem dopravníku s montážním taktem, probíhá zde smontování podvozku a agregátu s karoserií vozu. Dopravník se zde chová obdobně jako v první montážní části. Platformy spolu se závěsy EHB se zde pohybují přerušovaně a takt je dán časem operace a přejezdu o jednu pozici. Zástavba je dána pěti pozicemi, kde první a poslední pozice slouží k zajetí a vyjetí platformy podvozku z karoserie.

Poslední částí dopravníku podvozku je poslední přejezd, na kterém se prázdný skid přesouvá z karoserie a pracoviště převěšování. Přejezd tvoří 3 pozice, první je zvedací stůl a na třetí pozici dojde k převěšení prázdného stojanu agregátu na předmontážní vozík. Časy přesunu prázdné platformy z horní do spodní polohy a návrat stolu do výchozí pozice jsou shodné a činí 21s.

3.1.4 Dopravník EHB

Dopravník EHB je závěsný dopravník, na kterém se kontinuálně pohybují závěsy s uchycenou karoserií vozu. Závěsy jsou dva spojené rámy, které svým tvarem připomínají obrácené písmeno „C“, vybavené pohonem a řídicí jednotkou LJU. Na zkoumaném úseku montážní linky je pouze část dopravníku EHB. Přesněji řečeno, jedná se o úsek zástavby agregátu do karoserie, tzv. svatba, a dva takty s jednou volnou pozicí rychloposunu před a za zástavbou (příloha č.6 - Layout rozdělení dopravníku EHB - neveřejná příloha). V částech před a za zástavbou se závěsy pohybují plynule konstantní rychlostí danou taktem hlavní montáže, který je 1,4 minuty. V případě zastavení dopravníku EHB jsou závěsy vybaveny koncovými spínači, tak aby nedošlo ke kolizi vozů nebo úrazu.

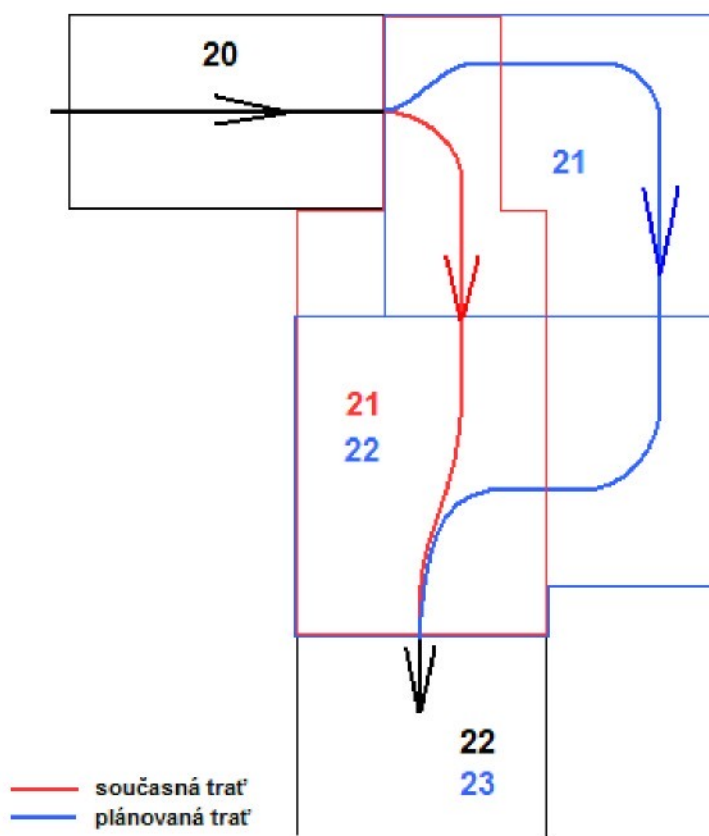
3.2 Plánovaný stav na montážní lince

Dle plánovaného konceptu firmou Škoda Auto přicházejí v úvahu 2 alternativy umístění nové operace montáže atrap náprav vozů SKD. První alternativa spočívá v umístění nové operace na linku předmontáže agregátu. Druhá alternativa navrhuje

umístit novou operaci na linku předmontáže podvozku (příloha č.7 - Layout umístění alternativ - neveřejná příloha).

3.2.1 Alternativa A

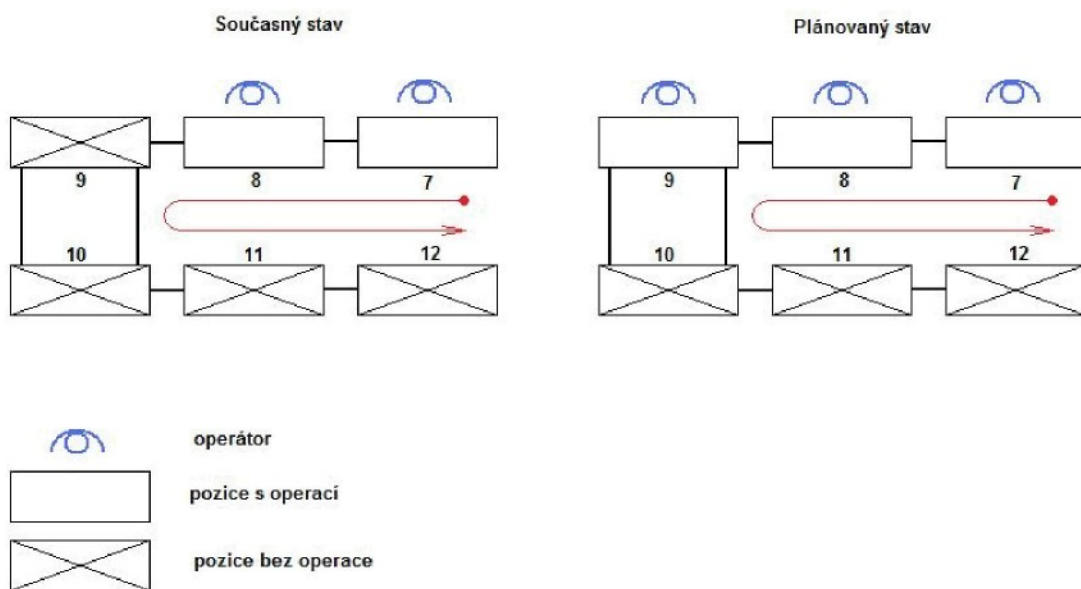
V této alternativě je plánované umístění nové operace montáže na lince předmontáže agregátu v oblasti taktů 20 a 21. Jedná se o koncovou část linky předmontáže. V současnosti jsou všechny takty časově plně vytížené, což nedává prostor pro zapracování nové operace. V důsledku toho je nutné stávající dráhu FTS dopravníku rozšířit o délku jednoho taktu, tedy 3800 mm. Na Obrázku 22 je schématicky znázorněna úprava dráhy FTS dopravníku.



Obrázek 22 - Schéma alternativy A

3.2.2 Alternativa B

Tato alternativa uvažuje o možnosti přidání nové operace montáže atrap náprav na linku předmontáže podvozku v oblasti prvního přejezdu. S přihlédnutím k uspořádání dopravníku v oblasti přejezdu přichází v úvahu umístění této operace na pozici 9, první pozici přejezdu. V návrhu se vzhledem k nedostatku prostoru nepočítá s prodloužením dopravníku, ale jen s technickými změnami systému prvního přejezdu. Přidání operace na volnou pozici dle schématického Obrázku 23.



Obrázek 23 - Schéma alternativy B

4 Analýza současného stavu pomocí počítačové simulace

Tato kapitola se věnuje popisu struktury a chování základního modelu zkoumaného systému. Po ověření funkčnosti modelu byla provedena validace a verifikace. Model byl poté upraven dle navrhovaných alternativ plánovaného konceptu. Na modelech alternativ byly provedeny experimenty a získány statistiky pro jejich vyhodnocení.

4.1 Popis struktury a logiky modelu

Při tvorbě modelu předmontáže a zástavby agregátu bylo využito simulačního programu Witness od firmy Lanner.

4.1.1 Struktura modelu

Základním stavebním kamenem modelu jsou prvky trať (Track) a vozík (Vehicle). Stejně jako reálný systém je i model tvořen třemi vzájemně propojenými dopravníky.

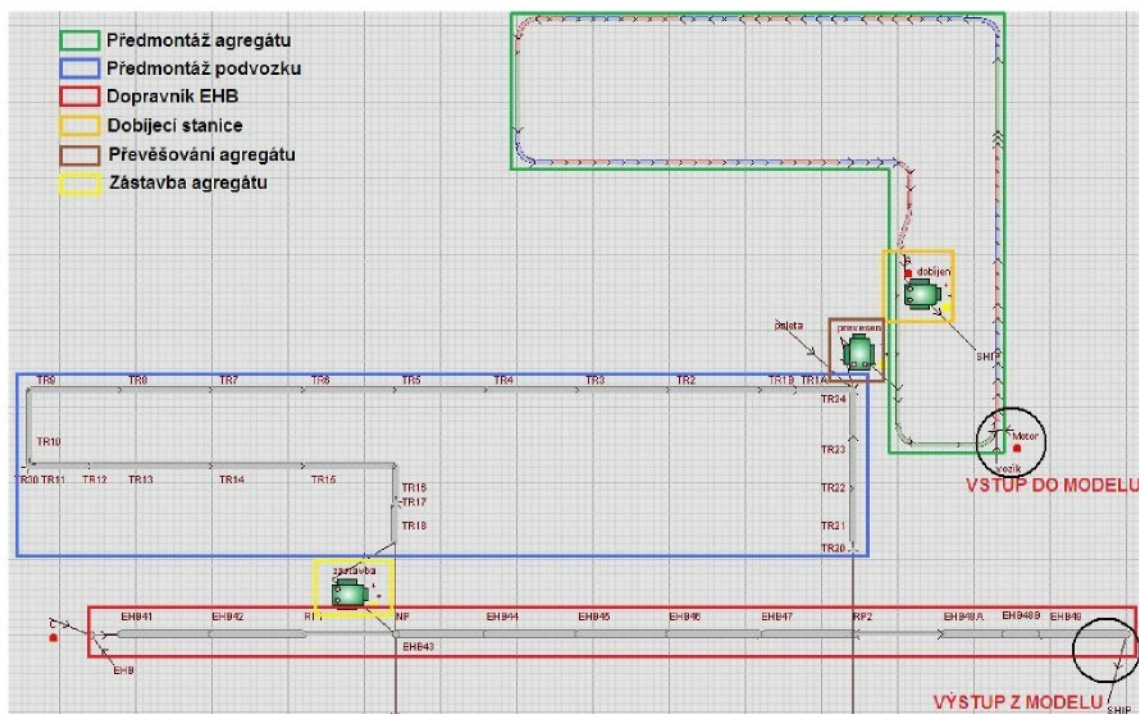
Při tvorbě modelu předmontáže agregátu bylo zapotřebí vytvořit systém kontrolních bodů, který by souhlasil se systémem transpordérů reálného dopravníku. Prvek trať, nehledě na délku či zakřivení, má k dispozici pouze dva kontrolní body a těmi jsou vstup a výstup trati. Z toho důvodu je dráha předmontáže tvořena množstvím postupně propojených tratí, jejichž délka odpovídá rozestupům transpordérů reálného systému (viz Obrázek 24). Délky a uspořádání tratí odpovídají kótovanému layoutu z interní dokumentace firmy Škoda Auto.



Obrázek 24 - Ukázka struktury tratí

Posledním prvkem předmontáže je dobíjecí stanice baterií, v modelu pojmenovaná „dobíjení“, a pracoviště převěšování agregátu s názvem „převěšení“. Ty jsou v modelu reprezentovány prvkem stroj (Machine).

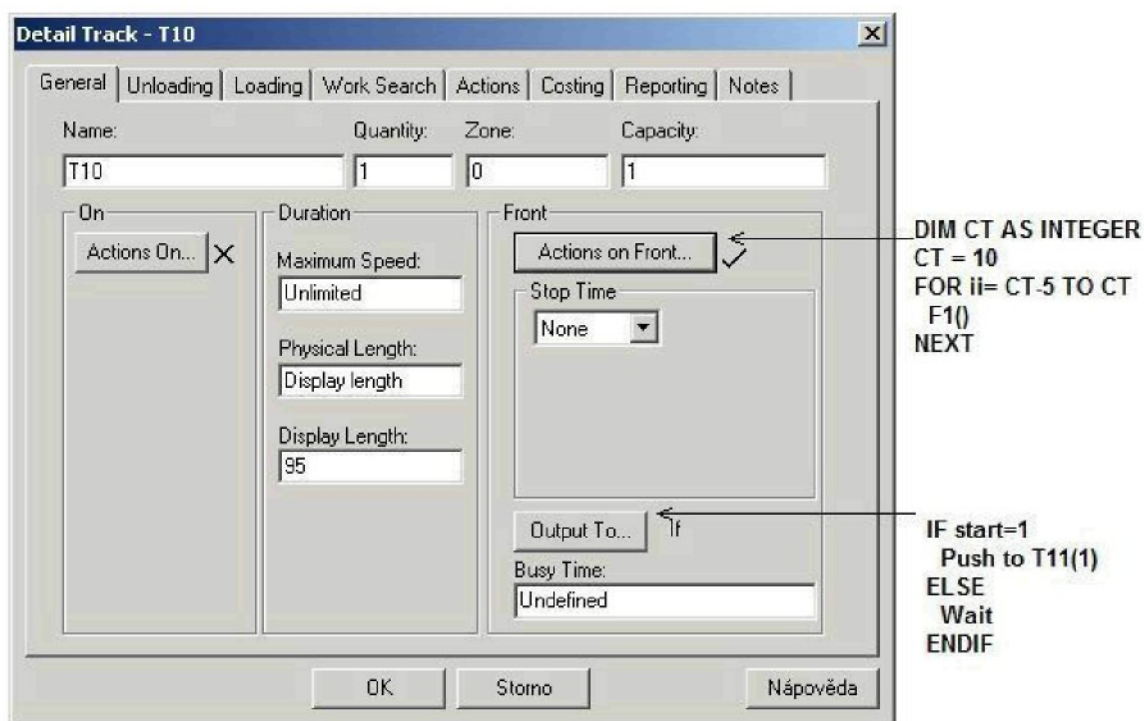
Obdobnou metodou je tvořen model dopravníku předmontáže podvozku a úsek dopravníku EHB. Tyto dopravníky jsou spojeny prvkem stroj pojmenovaným „zástavba“. Ten zajišťuje stejně jako prvek „převěšení“, předání elementu „Motor“ mezi dopravníky. „Motor“ je prvkem typu Part a jeho průchod celým modelem je hlavní veličina získaná z výstupů simulačních experimentů. Prvek „Motor“ vstupuje do modelu v místě prvního taktu na předmontáži agregátu a vystupuje z modelu na poslední trati dopravníku EHB. Na Obrázku 25 je znázorněn schématický popis základního modelu. Přehlednější zobrazení modelu je v příloze č.8 - nezaplněný model a v příloze č.9 - zahřátý model.



Obrázek 25 - Schéma základního modelu

4.1.2 Logika řízení modelu

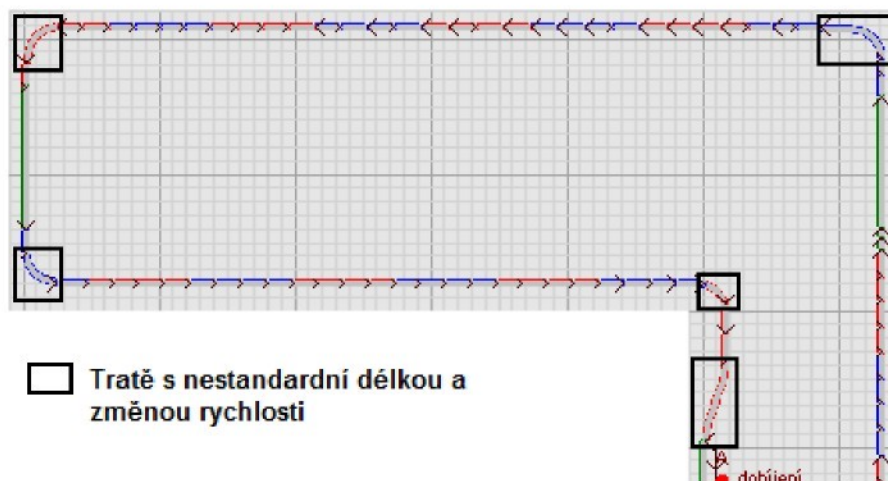
Nejsložitějším úsekem při tvorbě logiky řízení modelu byla předmontáž agregátu. Bylo nutné ji vytvořit tak, aby v rámci povolené míry abstrakce odpovídala chování reálného systému. V této části modelu bylo nutné vyřešit způsob blokování tratí a způsob jakým si model zapamatuje blokování a odblokování tratě dopravníku. Problém je řešen funkcí „F1“, která v sobě obsahuje logiku sjíždění vozíků a ukládání hodnot na proměnné „blok“ a „start“. Proměnná „blok“ slouží jako paměť blokování tratí, kde zapsaná hodnota 0 znamená blokování tratě a hodnota 1 je odblokování tratě. Tělo funkce je zobrazené v příloze 4. Funkce „F1“ se vyvolává v akci „on Front“ a je spouštěna zpětně pro předchozí trati. Pouštění vozíku na následující trať je řízeno proměnou „start“ v akci „output to“ (viz Obrázek 26).



Obrázek 26 - Uplatnění Fce F1

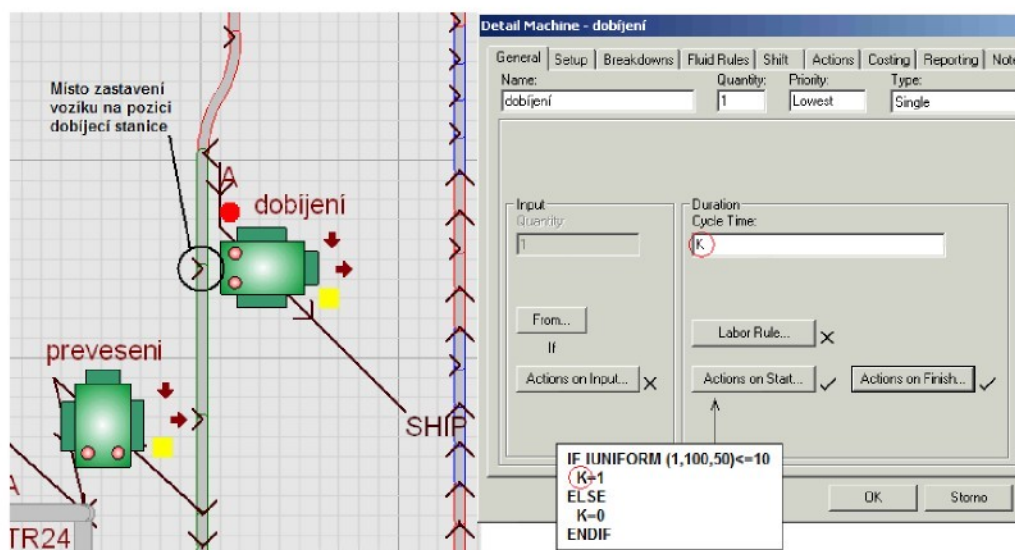
V oblasti přejezdů je na segmentech s nestandardní délkou změněna rychlost vozíků tak, aby přejezd vozíku na segmentu odpovídal montážnímu taktu (Obrázek 27). Na vyznačených tratích je v akci „on Entry“ příkazem „vozík (I):SP1 = 1778“ provedena změna rychlosti. „SP1“ je atribut prvku „Motor“,

který slouží pro řízení rychlosti vozíku. Tato úprava bylo uznána jako přípustná míra abstrakce.



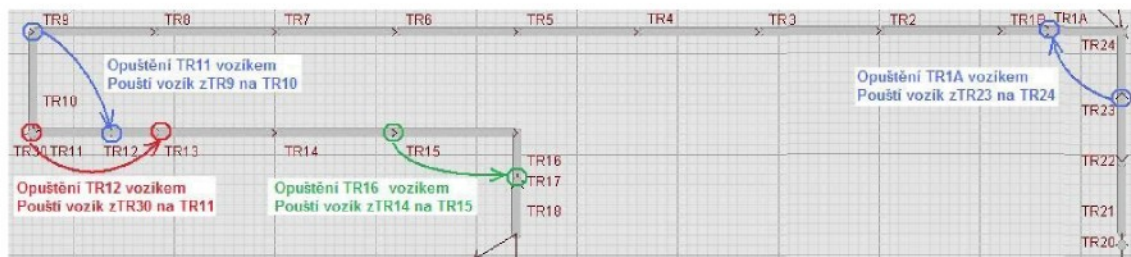
Obrázek 27 - Tratě s nestandardní délkou

Logika řízení dobíjecí stanice je řešena pomocí generování náhodných proměnných obdélníkovým rozdělením IUNIFORM. Díky tomu je průměrně každý desátý vozík na pozici dobíjecí stanice zastaven na 1 minutu. Při dosažení konce tratí T90 vozíkem, dojde na stroji „dobíjení“ k natažení prvku A a na akci „on Start“ se vygeneruje proměnná, která při splnění podmínky změní cyklový čas stroje z 0 na 1 minutu (Obrázek 28). Po uplynutí cyklového času je vozík puštěn na trať T91.



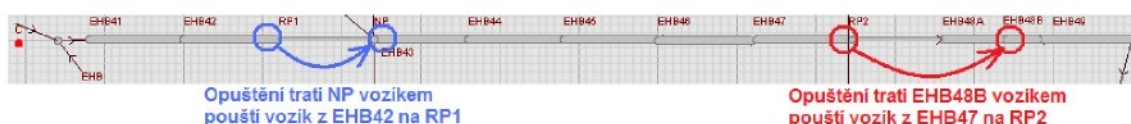
Obrázek 28 - Logika dobíjecí stanice

Vozíky modelu předmontáže podvozku se na tratích „TR1“ až „TR8“ posunují všechny najednou. Řídícím prvkem je zde trať „TR8“, na které je nastaven při každém projetí vozíku „stop time“ 1,2 minuty a doba přesunu vozíků o jednu pozici je 0,1 minuty. Součet těchto časů odpovídá montážnímu taktu. Uvolňování tratí této části znázorňuje Obrázek 29.



Obrázek 29 - Uvolňování tratí předmontáže podvozku

Logika modelu dopravníku EHB je v oblasti zástavby řešena obdobně jako u dopravníku předmontáže podvozku na tratích „TR1“ až „TR8“. Zde také probíhá pohyb vozíků, které mají ikonu karoserie, najednou. Na první trati zástavby dochází k předání dílu „Motor“ z dopravníku podvozků na dopravník EHB a poslední trať zástavby funguje jako řídicí prvek této části. Čas strávený vozíkem na trati je rozdělen na čas operace a čas přejezdu. Vozíky před a za zástavbou se pohybují kontinuálně rychlostí odpovídající montážnímu taktu, který činí 1,4 minuty. Uvolňování tratí dopravníku EHB je patrné z Obrázku 30.



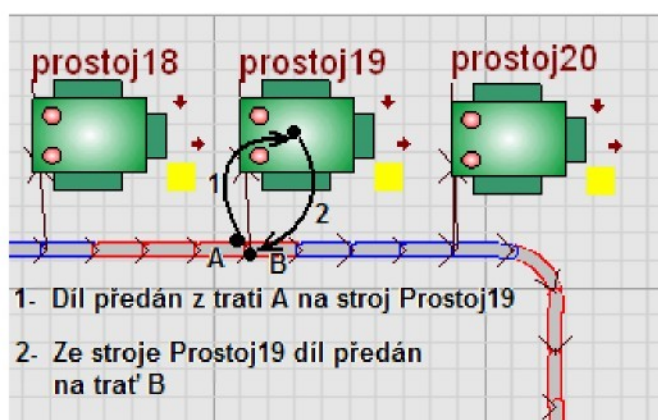
Obrázek 30 - Uvolňování tratí dopravníku EHB

Poslední část logiky řízení modelu se týká směnnosti a generování poruch na lince předmontáže.

Při implementaci směnnosti do modelu lze postupovat dvěma způsoby. První způsob je spíše logickou úvahou, spočívá ve zkrácení času simulace s ohledem na směnnost. Například čas simulace 5 pracovních dní bez směnnosti činí $5 \times 24 \times 60 = 7200$ min, pokud se zohlední třísměnný provoz bude čas simulace $5 \times 22,5 \times 60 = 6750$ min. Tento způsob je jednoduchý a logicky správný, ale po fyzické

stránce neovlivňuje model (nezobrazuje se ve statistikách). Druhým způsobem je využití prvku směnnost (Shift), který je k dispozici v programu Witness. V prvku směnnosti je třeba nastavit požadované parametry počtu směn, délku směny a dobu začátku směnného režimu.

Protože základní elementy typu trať a vozík nemají volbu Breakdowns (zadávání poruch), bylo při implementaci poruch využito pseudoelementů typu stroj (Machine). Na každý takt byl přidán stroj, přes který se mezi tratěmi předávají díly „Motor“. Díky této úpravě modelu bylo možné na každém taktu a stroji „dobíjení“ a převěšení“ generovat poruchy. Na dopravníku předmontáže podvozku dochází ke generování poruchy pouze na pozici 8. Pro generování poruch byla použita dvě pravděpodobnostní rozdělení. Pro dobu trvání poruchy (MTTR) bylo použito Erlangovo rozdělení a pro dobu mezi poruchami (MTBF) negativně exponenciální rozdělení (Obrázek 31).



Obrázek 31 - Schéma řešení prostoje

4.2 Verifikace a validace základního modelu

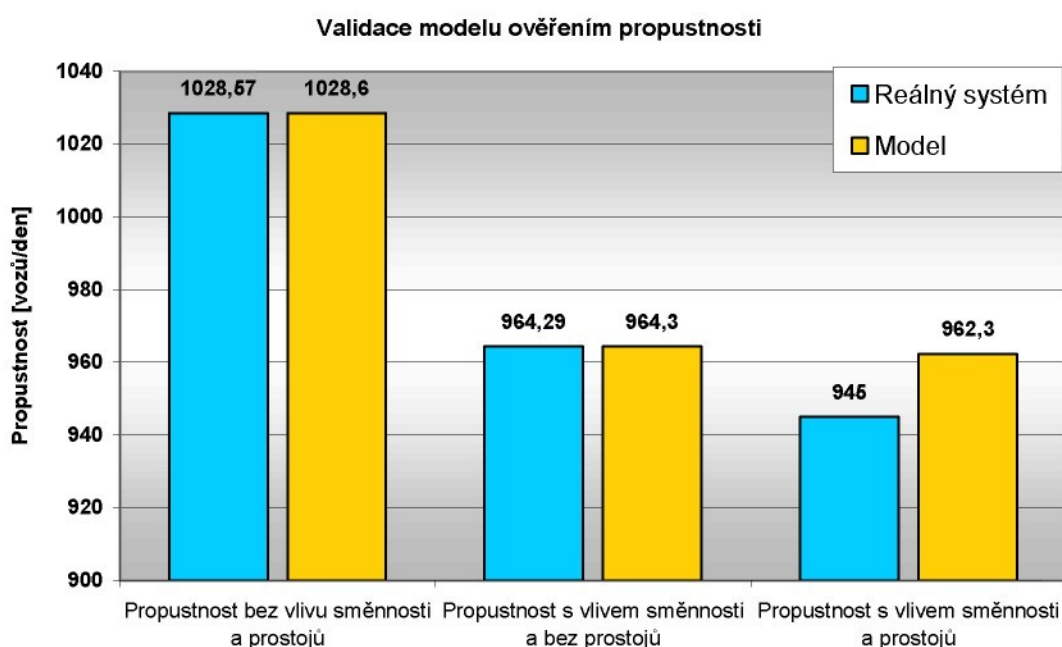
Míra abstrakce uplatněná při tvorbě modelu neovlivňuje výsledky simulačních experimentů. V průběhu celé tvorby základního modelu byla prováděna verifikace porovnáním chování modelu s činností reálného systému a konzultací se zaměstnanci firmy.

Ověření validity modelu bylo provedeno porovnáním hodnoty propustnosti systému získané z kapacitních propočtů a výsledků získaných ze simulačních experimentů. Propustnost byla ověřována na shodu třemi simulačními experimenty.

První experiment spočíval v prověření propustnosti za ideálních podmínek, tedy bez směnnosti a prostojů montážní linky. Druhý experiment propustnosti systému proběhl s nadefinovanou směnností a třetí experiment zahrnoval vliv směnnosti a prostojů linky předmontáže. Vzhledem k tomu, že chování předmontáže je hlavním cílem studie, nebyla při třetím experimentu hlavní montážní linka zatížena prostoji. Disponibility byly nastaveny u linky předmontáže agregátu na 98% a u předmontáže podvozku na 97%. Hodnoty vypočtené kapacitními propočty vycházejí ze získaných informací o systému. Všechny porovnávané hodnoty jsou zapsány v tabulce 2 a zobrazeny v grafu 1.

Validace modelu ověřením propustnosti		
	reálný systém [vozů/den]	modelu [vozů/den]
Propustnost bez vlivu směnnosti a prostojů	$1440 / 1,4 = 1028,57$	1028,6
Propustnost s vlivem směnnosti a bez prostojů	$1350 / 1,4 = 964,29$	964,3
Propustnost s vlivem směnnosti a prostojů	$(1350 / 1,4) * 0,98 = 945,0$	962,3

tabulka 2 - Validace modelu



Graf 1 - Validace modelu

Výstupy prvních dvou simulačních experimentů se s hodnotami reálného systému shodují. V případě třetího experimentu je dosažená propustnost vyšší než spočtená hodnota, to je způsobeno vyrovnávacím zásobníkem a nezatížeností hlavní montáže prostoji. Model je validní.

4.3 Popis a výstupy experimentů na základním modelu

Pro lepší pochopení zkoumaného systému a vlivu vybraných veličin na chování systému, byly provedeny dva typy experimentů na základním modelu. Prvním experimentem bylo ověření vlivu disponibility a hodnoty průměrné doby trvání poruchy na propustnost systému. Druhým experimentem byl hledán optimální počet vozíků předmontáže agregátu.

4.3.1 Vliv prostojů na propustnost systému

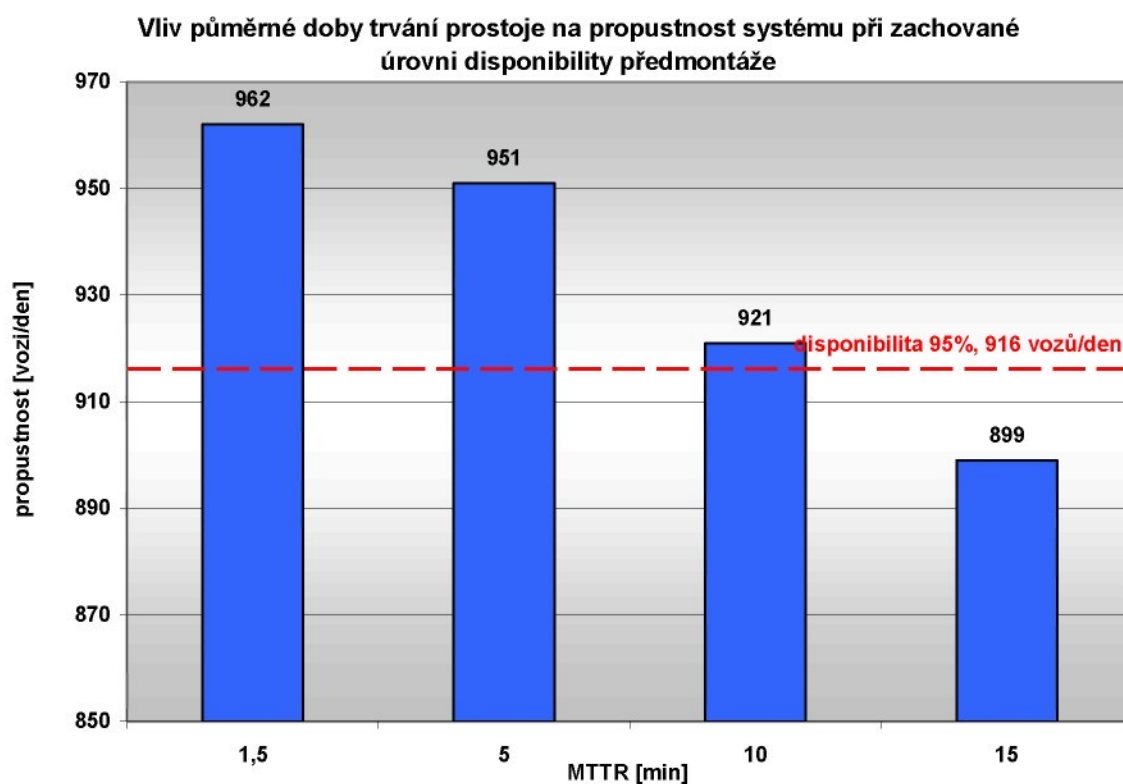
V tomto simulačním experimentu byl ověřován vliv disponibility a průměrné doby trvání prostoje předmontáží na denní produkci. Dle vzorce pro výpočet disponibility zařízení (Obrázek 32) byly nejprve měněny hodnoty MTTR na 1,5; 5; 10 a 15 minut při konstantní disponibilitě (viz tabulka 3).

$$\text{Disponibilita} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTTR} + \text{MTBF}}$$

Obrázek 32 - Výpočet disponibility

Vliv průměrné doby trvání prostoje na propustnost systému při zachované disponibilitě předmontáže								
průměrná doba trvání prostoje [min]	1,5		5		10		15	
Linka agregátu	MTTR	1,5	MTTR	5	MTTR	10	MTTR	15
	MTBF	73,5	MTBF	245	MTBF	490	MTBF	735
	disponibilita	98%	disponibilita	98%	disponibilita	98%	disponibilita	98%
Linka platform	MTTR	1,5	MTTR	5	MTTR	10	MTTR	15
	MTBF	48,5	MTBF	162	MTBF	323	MTBF	485
	disponibilita	97%	disponibilita	97%	disponibilita	97%	disponibilita	97%
propustnost systému [vozů/den]	962		951		921		899	

tabulka 3 - Vliv MTTR na propustnost

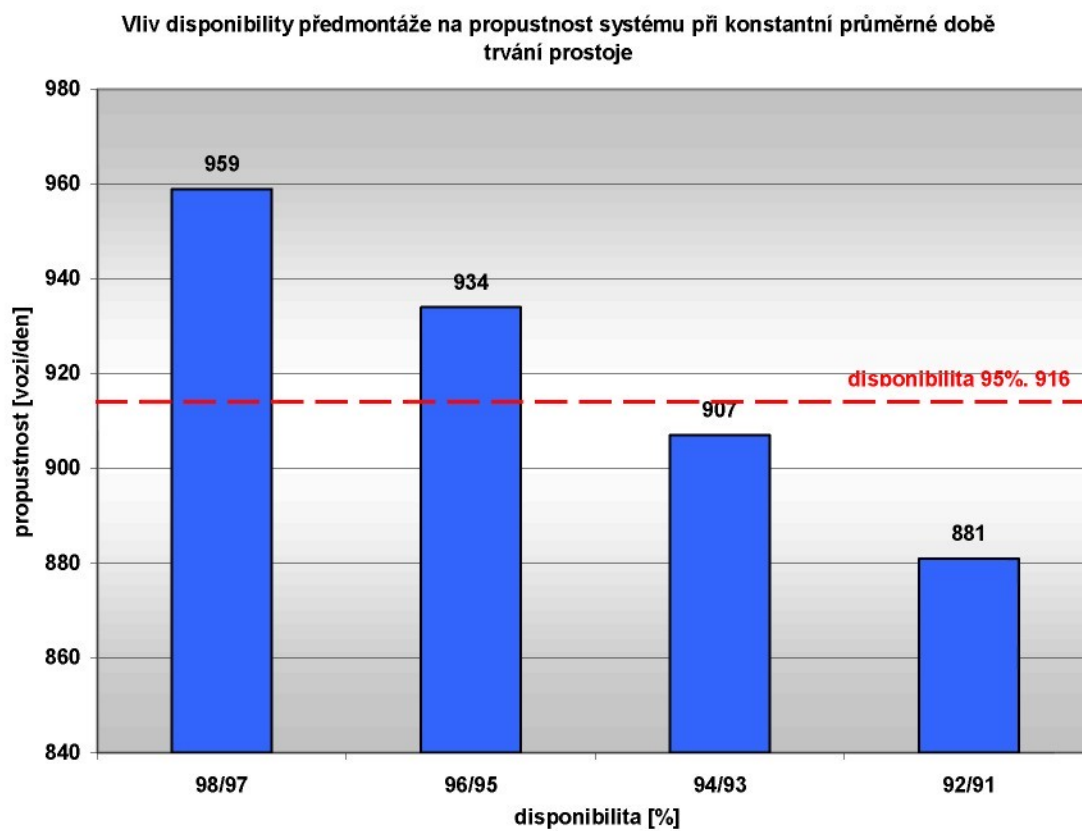


Z uvedených hodnot v Grafu 2 je zřejmé, že při průměrné 15-ti minutové době trvání prostoje není možné dodržet plánovanou denní produkci. Při 10-ti minutové MTTR je denní produkce dosažena, ale nesmí být opomenut fakt, že na montáži se nachází několik předmontážních linek. V případě, že by i na ostatních předmontážích nastávaly prostoje o stejné i menší průměrné době, nebylo by dosažení denní produkce možné. Z tohoto důvodu je přijatelná MTTR maximálně 5 minut. Z experimentu vyplývá, že i při zachované úrovni disponibility s rostoucí hodnotou MTTR denní produkce klesá.

Ve druhém experimentu byla měněna hodnota disponibility předmontáží při konstantní MTTR. Z výsledků experimentů (Tabulka 4 a Graf 3) vyplývá, že denní produkce je dosažena ještě při disponibilitě předmontáže agregátu 96% a předmontáže podvozku 95% a s klesající disponibilitou předmontáží klesá i denní produkce.

Vliv disponibility předmontáže na propustnost systému při konstantní MTTR								
disponibilita agregát/platformy [%]	98/97		96/95		94/93		92/91	
Linka agregátu	MTTR	2	MTTR	2	MTTR	2	MTTR	2
	MTBF	98	MTBF	48	MTBF	31,4	MTBF	23
	disponibilita	98%	disponibilita	96%	disponibilita	94%	disponibilita	92%
Linka platformem	MTTR	2	MTTR	2	MTTR	2	MTTR	2
	MTBF	64,7	MTBF	38	MTBF	26,6	MTBF	20,22
	disponibilita	97%	disponibilita	95%	disponibilita	93%	disponibilita	91%
propustnost systému	959		934		907		881	

tabulka 4 - Vliv diponibility na propustnost



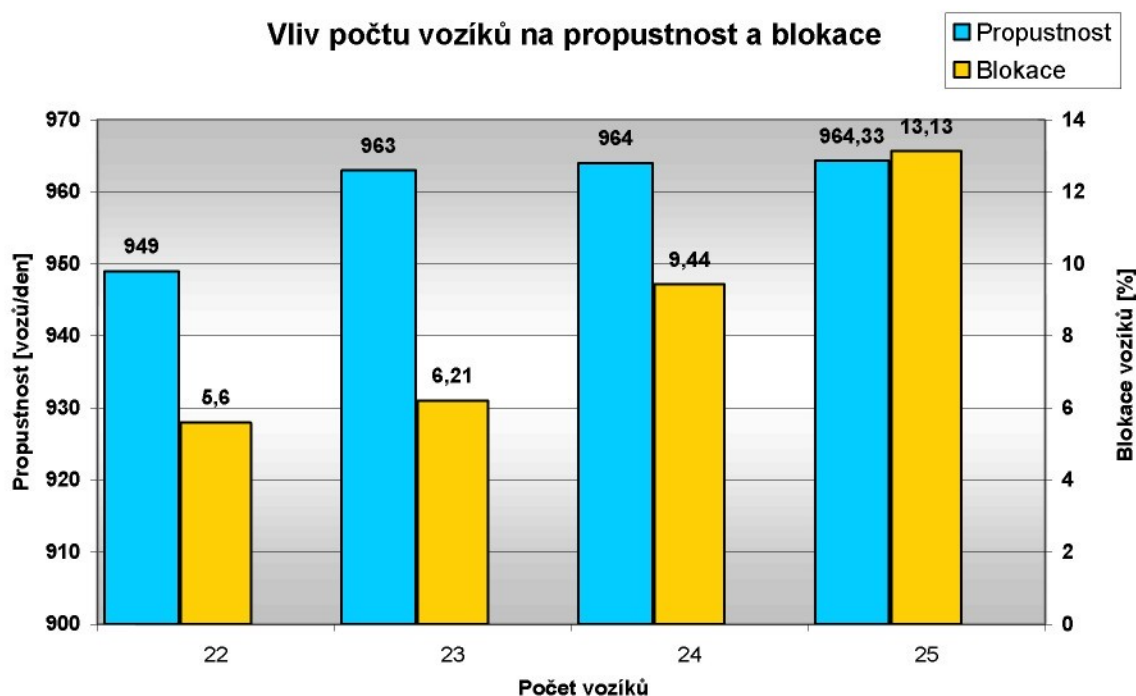
Graf 3 - Vliv disponibility na propustnost

4.3.2 Optimální počet vozíků

V tomto experimentu je hledán optimální počet vozíků linky předmontáže agregátu s ohledem na propustnost systému a vzájemnou blokaci vozíků. Experiment byl proveden na základním modelu se směnností a prostoji. Ověřovaný počet vozíků byl 22 až 25 (viz tabulka 5).

Počet vozíků	22	23	24	25
Propustnost [vozů/den]	949	963	964	964,33
Blokace [%]	5,6	6,21	9,44	13,13

tabulka 5 - Vliv počtu vozíků



Graf 4 - Vliv počtu vozíků

Z výsledků experimentu (Graf 4) vyplývá, že s rostoucím počtem vozíků rostou i obě sledované hodnoty. Růst hodnot propustnosti má zpočátku strmý průběh, který se při počtu 24 vozíků ustaluje. Průběh hodnot blokace vozíků má opačný charakter, zpočátku roste pozvolna a od počtu 23 vozíků se přírůstky hodnot zvyšují. Blokace vozíků je uvedena v procentech z celkového času simulace. Výsledky ukazují na optimální počet vozíků 23.

5 Zhodnocení navrhovaných alternativ

Při hodnocení navrhovaných alternativ plánovaného konceptu se hledí nejen na výsledky simulačních experimentů provedených na modelech alternativ, ale i na technické a ekonomické aspekty a dobu potřebnou pro realizaci navrhovaných změn.

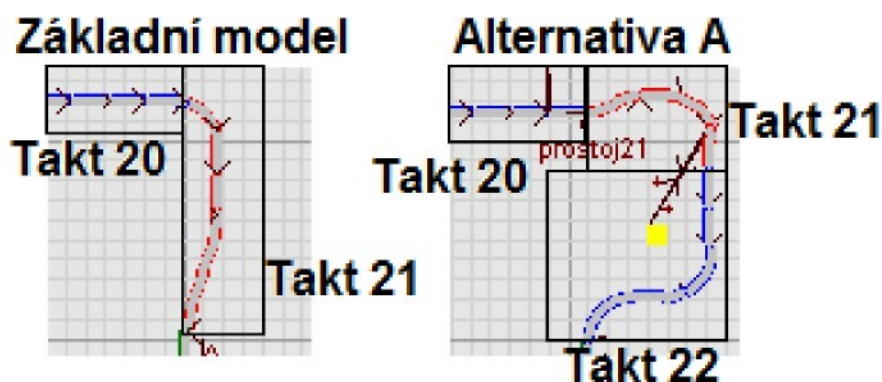
Na základě porovnání všech hledisek bude doporučena vhodnější z alternativ k realizaci.

5.1 Popis změn modelu podle alternativ A a B

Pro ověření navrhovaných alternativ je třeba provést úpravu základního modelu. Provedené změny v modelu vycházejí z umístění a popisu navrhovaných alternativ. Fyzickými změnami a patřičnou úpravou logiky modelu vzniknou modely alternativ A a B.

5.1.1 Alternativa A

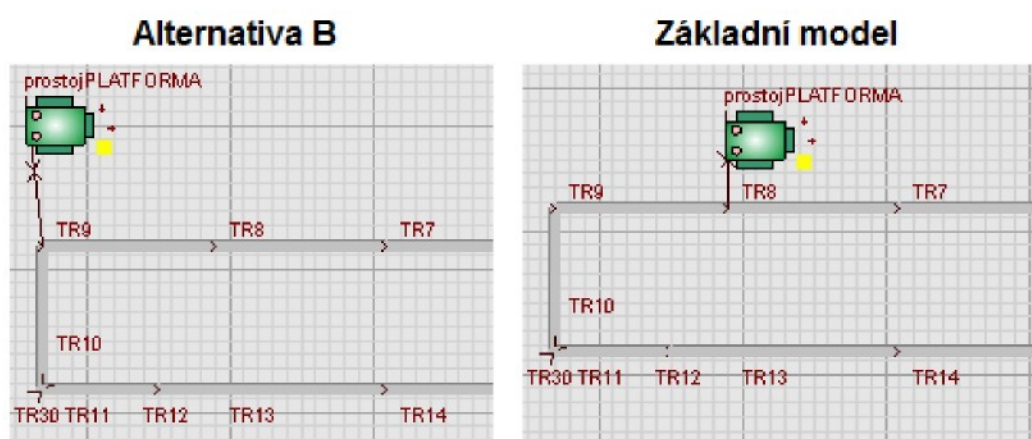
Změna modelu na alternativu A spočívá v prodloužení dopravníku o 1 takt a úpravu původního tvaru tratí. Mezi původní takty 20 a 21 byly přidány 4 nové tratě a tvar trati taktu 21 byl změněn. Na vzniklý nový takt byl přidán stroj pro generování prostojů a řídicí logika sjíždění vozíku byla o 4 nové tratě rozšířena, což znamenalo přepis hodnoty „CT“ v akci „on Front“ a rozšíření kvantity proměnné „start“ a „blok“ pro následující trati až k taktu 1 (viz Obrázek 26). Provedené změny jsou na Obrázku 32 a v příloze č.10 - model alternativy A.



Obrázek 33 - Alternativa A

5.1.2 Alternativa B

Alternativa B je na změny v základním modelu méně náročná. V základním modelu se vozíky na pozicích 1 až 8 pohybují najednou o jednu pozici po uplynutí taktu operace. V alternativě B je tato logika na zmiňovaných pozicích zachována a rozšířena na pozici 9. Řídicím prvkem se tedy stává trať „TR9“, na které je umístěn stroj na generování poruch s cyklovým časem rovným času operace (Obrázek 33). Způsob uvolňování trati zůstal zachován (viz Obrázek 29). Celý model alternativy B je v příloze č.11 - model alternativy B.



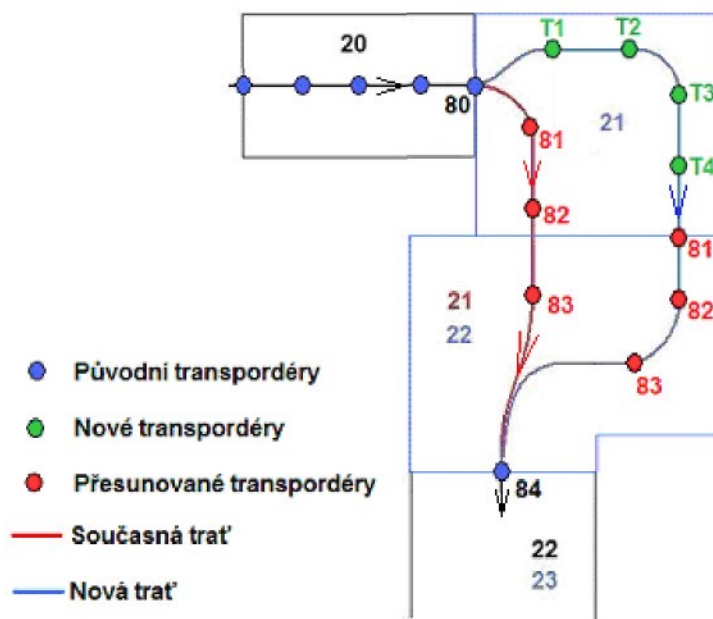
Obrázek 34 - Alternativa B

5.2 Technické změny potřebné k realizaci

V technickém zhodnocení jsou popisovány změny potřebné k realizaci alternativ. Je zde zmíněna i ekonomická a časová náročnost na realizaci změn navrhovaných alternativ.

5.2.1 Alternativa A

V alternativě A je k realizaci zapotřebí upravit dráhu dopravníku. Úprava spočívá v prodloužení dráhy o délku jednoho taktu, tedy 3,8 m, a změně tvaru v oblasti současného taktu 21. Změny Dráhy dopravníku vyžadují i změny v systému transpordérů. Za transpordérem 80 je třeba přidat 4 nové transpordéry a stávající transpordéry 81, 82, 83 je třeba přesunout dle nového tvaru dráhy (Obrázek 34).



Obrázek 35 - Schéma úprav tratí a transpordéru

Spolu s technickými změnami je třeba provést i úpravu programu řídicí logiky a případné zakoupení dalších vozíků předmontáže dle potřeby.

Přesné ekonomické zhodnocení není vzhledem k nedostupnosti cen a Know-How dodavatelské firmy možné. Hrubým odhadem by se náklady na realizaci pohybovaly v řádech statisíců korun.

Časová náročnost na provedení technických změn této alternativy činí cca 2 dny.

5.2.2 Alternativa B

Technické změny alternativy B jsou většího rozsahu. Jedná se o kompletní přestavbu prvního přejezdu předmontáže podvozku pozice 9 a 10. Stávající systém přejezdu je třeba nahradit vhodnější konstrukcí, která bude splňovat technické požadavky navrhované alternativy a požadavky na bezpečnost práce, např. excentrickým stolem. Detailní konstrukční řešení této alternativy není otázkou této diplomové práce.

Finanční náklady na realizaci této změny souvisí s konstrukčním návrhem řešení. Náklady na realizaci se budou pohybovat v miliónech korun.

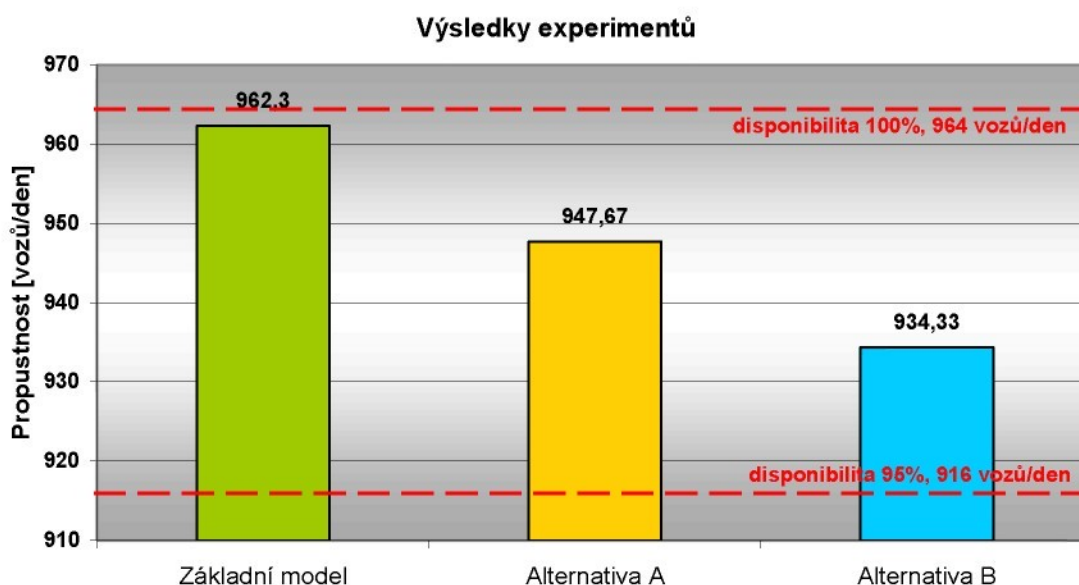
Časová náročnost změn tohoto rozsahu se pohybuje v řádech několika dnů. Případná realizace přichází v úvahu o celozávodní dovolené.

5.3 Výsledky simulačních experimentů navrhovaných alternativ

Simulační experimenty na modelech navrhovaných alternativ byly provedeny s hodnotami disponibility a počtu vozíků předmontáže agregátu, které byly užity při validaci základního modelu. Experimenty jsou zaměřeny na ověření vlivu provedených změn na propustnost systému. Výsledky experimentů jednotlivých alternativ jsou porovnány s výsledkem simulace základního modelu současného stavu s vlivem směnnosti a prostojů použitého při validaci. Výsledky experimentu jsou uvedeny v tabulce 6 a graficky znázorněny v Grafu 5.

Výsledky experimentů			
	Základní model	Alternativa A	Alternativa B
Propustnost systému [vozů/den]	962,3	947,67	934,33

tabulka 6 - Výsledky experimentů



Graf 5 - Výsledky experimentů

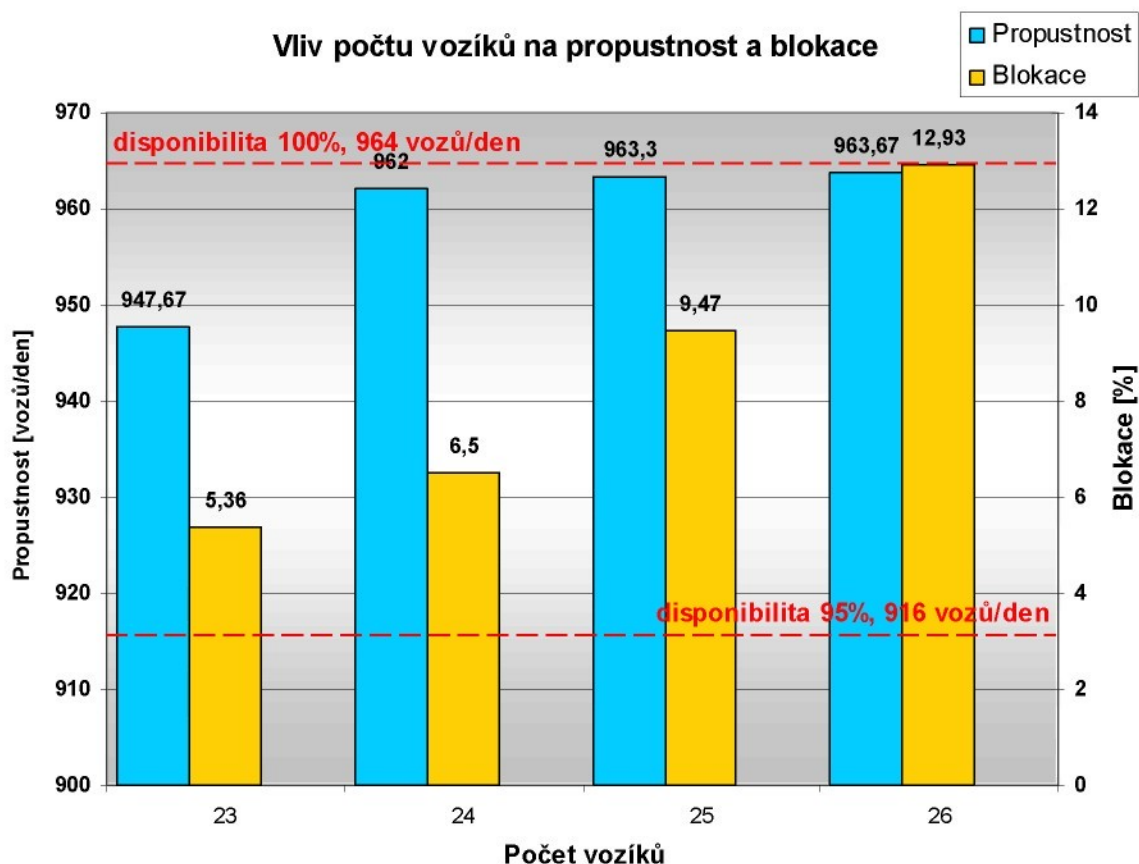
Z výsledků simulačních experimentů vyplývá, že alternativou A je dosažena vyšší denní produkce než alternativou B.

Pokles produkce u alternativy B je způsoben snížením kapacity zásobníku na lince předmontáže podvozku. Při prostojích tak dochází k většímu vyprazdňování vyrovnávacího zásobníku, který už není systém schopen zaplnit.

V případě alternativy A je třeba ověřit vliv počtu vozíků předmontáže na denní produkci. S ohledem k uvedeným změnám v alternativě A, kdy byl přidán takt na předmontáži agregátu, je nutné zvýšit počet vozíků a dopravníků. Ověřovaný počet vozíků je 23 až 26. Výsledky experimentů jsou zobrazeny v tabulce 7 a grafu 6.

Počet vozíků	23	24	25	26
Propustnost [vozů/den]	947,67	962	963,3	963,67
Blokace [%]	5,36	6,5	9,47	12,93

tabulka 7- Vliv počtu vozíků pro variantu A



Graf 6 – Vliv počet vozíků pro variantu A

Při zvýšení počtu vozíků na předmontáži agregátu docílíme u alternativy A shodné denní produkce jako u základního modelu.

5.4 Porovnání alternativ

Posouzením výsledků provedených simulačních experimentů bylo zjištěno, že alternativou A bude dosaženo vyšší denní produkce než alternativou B. Alternativou A bylo dosaženo denní produkce až 962 vozů / den a alternativou B pouze 934 vozů / den (viz kapitola 5.3). Změny navržené v alternativě A tedy neovlivňují negativním způsobem propustnost systému.

S ohledem na časovou náročnost nutnou k realizaci změn navrhovaných alternativ je výhodnější alternativa A, jejíž realizace je možná v časovém horizontu dvou dnů. Realizaci je možné provést o víkendech, není nutné čekat na celozávodní dovolenou.

Vzhledem k náročnosti a rozsahu technických úprav alternativy B bude alternativa A výhodnější i po ekonomické stránce.

6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověření plánovaného konceptu, resp. vlivu změn vyplývajících z navrhovaných alternativ konceptu na propustnost zkoumaného systému. Z plánovaného konceptu vyplynuly dvě alternativy řešení. Ověření vlivu změn navrhovaných alternativ bylo provedeno pomocí diskrétní simulace na modelu zkoumaného úseku montážní linky. Z vyhodnocení výsledků provedených simulačních experimentů byla zjištěna vhodnější alternativa k následné realizaci.

Na základě porovnání alternativ A a B plánovaného konceptu se došlo k závěru, že navrhovaná alternativa A je v aspektech dosažení plánované denní produkce a finanční a časové náročnosti výhodnější.

Alternativa A je tímto doporučena k realizaci.

7 Seznam literatury

- [1] Společnost Škoda-Auto, a.s. [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto. Posl. úpravy ©2009[cit. 2009/03/09] Dostupné na WWW: <<http://www.skoda-auto.cz>>
- [2] KŮS, Z. - GLOMBÍKOVÁ, V. - HALASOVÁ, A. Simulace výrobních systémů, díl 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. ISBN 80-7083-642-3
- [3] DLOUHÝ, M. – FÁBRY, J. – KUNCOVÁ, M. – HLADÍK, T.: Simulace podnikových procesů. Computer Press, a.s., 2007. ISBN 978-80-251-1649-4
- [4] BAYER, J. – COLLISI, T. – WENZEL, S. Simulation in der Automobilproduktion. Springer, 2002. ISBN 3-540-44192-1
- [5] Uživatelská příručka programu Witness, Lanner Group
- [6] HAVLÍK, R. – MANLIG, F. Využití počítačové simulace při řešení logistických problémů v průmyslové praxi. Mezinárodní konference Průmyslového inženýrství, Plzeň 2003. Plzeň: ZČU v Plzni – Fakulta strojní, 2003, s. 49-54 ISBN 80-7043-242-X
- [7] IPA Slovakia [online]. IPA Slovakia: IPA Magazín, 2009, Posl. úpravy ©2009[cit 2009/04/17]. Dostupné na WWW: <<http://www.ipaslovakia.sk>>
- [8] MANLIG, F. Počítačová simulace diskretních událostí. MM průmyslové spektrum [online]. 1999, [cit 2009/03/10]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/archiv>>, <<http://www.kvs.tul.cz>>
- [9] MANLIG, F. Počítačová simulace výrobních systému. MM průmyslové spektrum [online]. 2000, [cit 2009/03/10]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/archiv>>, <<http://www.kvs.tul.cz>>
- [10] MANLIG, F. – HAVLÍK, R. – ŠRÁMEK, M. Zkušenosti s využitím počítačové simulace. JT&P Journal [online]. 2003, č. 6 [cit 2009/03/10]. Dostupné na WWW: <<http://www.jtpjournal.sk>> . ISSN 1335-2237
- [11] Dynamic Future, s.r.o. [online]. Dynamic Future, s.r.o.: Dynamická simulace, 2001-2008, Posl. úpravy ©2001-2008 [cit 2009/04/17]. Dostupné na WWW: <<http://www.dynamicfuture.cz/dynamicka-simulace/>>

- [12] MANLIG. F, Prezentace předmětu Logistika přednášk 6 – Simulace, Liberec: Katedra výrobních systému, 2009. Posl. úpravy ©2009 [cit 2009/03/10].
Dostupné na WWW: <<http://www.kvs.tul.cz>>
- [13] Interní dokumentace firmy Škoda-Auto, a.s.
- [14] HUMUSOFT, s.r.o. [online]. HUMUSOFT, s.r.o., 1991-2009, Posl. úpravy ©2001-2008 [cit 2009/04/17]. Dostupné na WWW: <<http://www.humusoft.cz>>
- [15] Wikipedia, otevřená encyklopedie[online]. Wikipedia. Posl. úpravy ©2009[cit 2009/04/01]. Dostupné na WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Rockwell_Arena>
- [16] ProModel Corporation [online]. ProModel,. Posl. úpravy ©1996-2009[cit 2009/04/01]. Dostupné na WWW:
<<http://www.promodel.com/productes/processsimulation/whatsnew.asp>>
- [17] Simul8 Corporation [online]. Simul8. Posl. úpravy [cit 2009/04/01]. Dostupné na WWW: <<http://www.simul8.cz/modely>>
- [18] Conductix Wampfler, AG [online]. Conductix Wampfler. Posl. úpravy ©2009 [cit 2009/05/12]. Dostupné na WWW: <<http://www.wampfler.com/index.asp>>

8 Seznam příloh*

Příloha č. 1 – Layout předmontáže a zástavby agregátu [13] - neveřejná příloha

Příloha č.2 – Layout rozdělení úseku linky - neveřejná příloha

Příloha č.3 – Layout rozdělení předmontáže agregátu - neveřejná příloha

Příloha č.4 - Tabulka transpordérů [13]

Příloha č.5 - Layout rozdělení předmontáže podvozku - neveřejná příloha

Příloha č.6 - Layout rozdělení dopravníku EHB - neveřejná příloha

Příloha č.7 - Layout umístění alternativ - neveřejná příloha

Příloha č.8 - nezaplňný model

Příloha č.9 - zahřátý model

Příloha č.10 - model alternativy A

Příloha č.11 – model . alternativy B

Poznámka:

*Přílohy diplomové práce jsou volně přiloženy v Sešitu příloh.

