

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VYSOKÉ  
UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V BRNĚ



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## TRANSFORMACE SIMULAČNÍHO MODELU ZE SW SIMPRO DO SW PLANTSIMULATION

TRANSFORMATION OF THE SIMULATION MODEL FROM SW SIMPRO TO SW PLANTSIMULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Hloska

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jiří Hloska

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Transformace simulačního modelu ze SW SimPro do SW Plant Simulation**

v anglickém jazyce:

### **Transformation of the simulation model from SW SimPro to SW Plant Simulation**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Realizace transformace simulačního modelu výrobní oblasti D13A vytvořeného v SW SimPro používaného ve firmě Škoda Auto a.s. na nový SW Plant Simulation.

Cíle diplomové práce:

Na základě stávajícího simulačního modelu výrobní oblasti D13A (D13A - dopravníkový most mezi provozem lakovny a montáže modelové řady Octavia) v prostředí simulačního software SimPro vytvořte aktuální model dané výrobní oblasti v software Plant Simulation. V takto vytvořeném simulačním modelu proveďte analýzu úzkých míst v dopravníkovém systému a to na základě simulačních experimentů.

V průběhu řešení vlastní práce se zaměřte na:

- systémovou analýzu dopravníkové techniky dané výrobní oblasti;
- rozbor současného modelu v prostředí simulačního software SimPro;
- provedení simulačních experimentů plánovaného výrobního programu;
- definování možných opatření vedoucích ke zlepšení průchodnosti dopravníkového systému.

Při vlastní tvorbě modelu a vyhodnocování dat využijte softwarové nástroje používané ve společnosti Škoda Auto.

Seznam odborné literatury:

1. Štoček, J.: Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě, Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně, FSI VUT v Brně 2004, ISBN.: 80-14-2885-6 [doktorská práce].
2. Kuhn, A.- Rabe, M.: Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1998.
3. Wang, Y.: Methode für die simulationsunterstützte Optimierung am Beispiel von Montagesystemen, Carl Hanser Verlag, München (1994).
4. Schulte, Ch.: Logistika. Vydalo nakladatelství Victoria Publishing, a.s., 1994.
5. Uživatelské manuály a příručky software PlantSimulaiton a SimPro

FAKULTA  
STROJNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## Abstrakt

Diplomová práce je založena na vytvoření simulačního modelu dopravníkového mostu mezi provozem lakovny a montáže ve firmě Škoda Auto, a.s. v Mladé Boleslavi. Model byl vytvořen v simulačním systému Plant Simulation na základě již existujícího modelu v simulačním prostředí SimPro. V práci je proveden rozbor současného modelu v simulačním prostředí SimPro a rovněž je obsažena systémová analýza dopravníkové techniky v příslušné výrobní oblasti. Na tuto část navazují výsledky simulačních experimentů provedených s nově vytvořeným modelem. Ty ověřují dosaženou průchodnost pro různé výrobní programy. Na základě výsledků těchto experimentů je provedena analýza úzkých míst dopravníkového systému a následně jsou navržena opatření vedoucí ke zlepšení jeho průchodnosti.

## Abstract

This diploma thesis is based on creation of a simulation model of the conveyor bridge between a paint-shop and an assembly hall in the company Škoda Auto, a.s. in Mladá Boleslav. The model was created in the simulation software Plant Simulation on the grounds of an existing model in simulation software SimPro. Analysis of the existing model in software SimPro as well as a system analysis of conveyors used in the respected production section is carried out in the thesis. Results of simulation experiments accomplished with the newly created model follow. These experiments verify the throughput rate for various production programmes. On the grounds of these results a bottleneck analysis of the conveyor system is carried out and arrangements leading to increase in its throughput rate are made.

## Klíčová slova:

simulace, experiment, úzké místo, průchodnost

## Key words:

simulation, experiment, bottleneck, throughput rate

## Bibliografická citace:

Hloska, J. *Transformace simulačního modelu ze SW SimPro do SW Plant Simulation*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 117 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.



VYSOKÉ  
UCENÍ  
TECHNICKÉ  
V BRNĚ



## TRANSFORMACE SIMULAČNÍHO MODELU ZE SW SIMPRO DO SW PLANT SIMULATION

### Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana doc. Ing. Miroslava Škopána, CSc. a s použitím uvedené literatury. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Brně dne 28. 5. 2010

.....  
Podpis

### Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za cenné rady a připomínky při zpracování diplomové práce. Mé poděkování náleží rovněž panu Ing. Jiřímu Štočkovi, Ph.D. a panu Ing. Vladimíru Karpetovi z firmy Škoda – Auto, a.s. za pomoc a podporu, kterou mi během praxe ve firmě Škoda – Auto, a.s. poskytli.

FAKULTA  
STROJNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

**OBSAH:**

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 1 Úvod.....                                                  | 9  |
| 2 Cíle diplomové práce .....                                 | 10 |
| 3 Popis dopravníkové techniky ve výrobní oblasti D13A .....  | 11 |
| 3.1 Skidový dopravník .....                                  | 11 |
| 3.1.1 Válečková trať .....                                   | 12 |
| 3.1.2 Zvedací zařízení .....                                 | 12 |
| 3.1.3 Stoly používané v dopravníkové technice .....          | 13 |
| 3.1.4 Příčný přesuvný stůl.....                              | 15 |
| 3.1.5 Příčný pásový dopravník .....                          | 15 |
| 3.2 Závěsový dopravník.....                                  | 16 |
| 4 Diskrétní simulace a simulační modely .....                | 17 |
| 4.1 Vymezení základních pojmů .....                          | 17 |
| 4.2 Význam a možnosti využití simulace .....                 | 19 |
| 4.3 Průběh přípravy, provádění a vyhodnocování simulace..... | 20 |
| 4.3.1 Formulace problému .....                               | 22 |
| 4.3.2 Ověření vhodnosti provádění simulace .....             | 22 |
| 4.3.3 Formulace cílů .....                                   | 22 |
| 4.3.4 Pořízení dat a jejich analýza .....                    | 23 |
| 4.3.5 Modelování.....                                        | 24 |
| 4.3.6 Provedení simulačních běhů .....                       | 24 |
| 4.3.7 Analýza výsledků a jejich interpretace .....           | 25 |
| 4.3.8 Dokumentace .....                                      | 25 |
| 4.4 Dělení simulačních modelů .....                          | 26 |
| 4.5 Simulační program Plant Simulation .....                 | 26 |
| 4.5.1 Knihovna tříd .....                                    | 27 |
| 4.5.2 Konzola .....                                          | 28 |
| 4.5.3 Panel nástrojů .....                                   | 29 |
| 4.5.4 Okno sítě.....                                         | 29 |
| 5 Současný stav výrobní oblasti D13A .....                   | 30 |
| 5.1 Popis průchodu karoserií dopravníkovým mostem D13A ..... | 34 |

|       |                                                                                  |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.1 | Linka dekoru.....                                                                | 35 |
| 5.1.2 | Rozdělení toku karoserií na otočném stole.....                                   | 36 |
| 5.1.3 | Linka konzervace karoserií A4.....                                               | 37 |
| 5.1.4 | Linka konzervace karoserií A5.....                                               | 37 |
| 5.1.5 | Přesuvný zvedák převěšení karoserií A5_MB.....                                   | 39 |
| 5.1.6 | Expedice karoserií A5_AUS a A4 do pobočných závodů.....                          | 39 |
| 5.1.7 | Přemístění karoserií A5_MB do haly montáže.....                                  | 40 |
| 6     | Praktická část práce.....                                                        | 41 |
| 6.1   | Rozbor současného modelu v prostředí simulačního software SimPro.....            | 42 |
| 6.1.1 | Významné body a úseky toku karoserií.....                                        | 43 |
| 6.2   | Validace vytvořeného modelu.....                                                 | 60 |
| 6.3   | Simulační experimenty.....                                                       | 64 |
| 6.3.1 | Ověření dosažení požadované denní produkce.....                                  | 65 |
| 6.3.2 | Analýza úzkých míst.....                                                         | 66 |
| 6.3.3 | Analýza průchodu karoserií systémem.....                                         | 70 |
| 6.4   | Návrhy dalších opatření vedoucí ke zvýšení průchodnosti dopravníkového systému.. | 72 |
| 7     | Shrnutí dosažených výsledků.....                                                 | 74 |
| 8     | Závěr.....                                                                       | 75 |
| 9     | Seznam použitých zdrojů.....                                                     | 76 |
| 10    | Seznam použitých zkratk a symbolů.....                                           | 78 |
| 11    | Seznam obrázků a tabulek.....                                                    | 81 |
| 11.1  | Seznam obrázků.....                                                              | 81 |
| 11.2  | Seznam tabulek.....                                                              | 81 |
| 12    | Seznam příloh.....                                                               | 82 |
| 13    | Přílohy k diplomové práci.....                                                   | 84 |

## 1 Úvod

Automobilový průmysl nejen v České republice patří k významným hospodářským odvětvím. Přestože v současné době lze stále ještě spatřovat dopady celosvětové hospodářské krize i na tento průmyslový sektor, do budoucna se počítá opět se vzestupným trendem. Je však zřejmé, že v kterémkoli fázi hospodářského vývoje je důležité zajistit efektivní a spolehlivou výrobu splňující náročné požadavky vyplývající z konkurenčního prostředí na trhu (kvalita výrobků, dodávky v požadovaném množství, kvalita a šíři portfolia - modelových řad automobilů a druhu jejich motorizace, vybavení atd.). Přestože v automobilovém průmyslu je z velké části výroba dopředu plánovaná, nelze nikdy zcela zamezit různým stochastickým vlivům na vstupních i výstupních článcích příslušného logistického řetězce. Z plánování výroby vyplývá nutnost mít možnost tyto plány ověřit "nanečisto", aniž by případné chyby vyvolaly reálné finanční ztráty. Důležité je dále poznání, jak na výše zmíněné výkyvy daný výrobní systém zareaguje a z toho plynoucí hledání takových řešení, při kterých bude riziko dodatečných nákladů vzniklých náhodnými jevy minimalizováno.

Potřeba testování různých výrobních podmínek a režimů je dnes nejen v automobilovém průmyslu s úspěchem uspokojena aplikací simulačních počítačových programů. Bez rizika nežádoucích dopadů na reálný systém je možno provádět řady experimentů simulujících různé náhodné vlivy. Výsledkem jsou poté doporučení (změn) výrobních parametrů vycházející z výsledků takových experimentů. Tato doporučení mohou pak být implementována do reálného výrobního systému.

Z výše uvedeného popisu je zřejmé, že simulace prováděná pomocí některého ze simulačních softwarů má výhodu především v odstranění rizik, která by vznikla při provádění experimentů na reálném systému. Často by takové experimenty nebyly přinejmenším z ekonomických, ale někdy i z bezpečnostních a jiných důvodů ani možné. Další předností je možnost simulovat zatím neexistující výrobní systém, který bude teprve na základě výsledků simulačních experimentů vybudován. V neposlední řadě je významné, že trvání počítačové simulace je většinou mnohonásobně kratší než provádění reálných experimentů. Ušetří se tak významné nákladové položky podniku.

## 2 Cíle diplomové práce

Prvním cílem, který je výchozím pro následující úkoly řešené v rámci diplomové práce, je vytvoření aktuálního simulačního modelu výrobní oblasti D13A (jde o dopravníkový most mezi provozem lakovny a montáže modelové řady Octavia) v prostředí simulačního software Plant Simulation (dále jen Plant Simulation).

Prostředkem ke splnění tohoto cíle je provedení systémové analýzy dopravníkové techniky používané ve výrobní oblasti D13A a dále pak provedení rozboru současného simulačního modelu v simulačním software SimPro (dále jen SimPro), který byl předlohou pro nově vytvářený model.

Důležitým úkolem bylo provést analýzu úzkých míst a průchodnosti dopravníkového systému. Za tím účelem byly realizovány simulační experimenty s vytvořeným modelem zohledňující plánovaný výrobní program a dále pak z těchto experimentů vyplývající analýzy.

Hlavním cílem, k jehož dosažení bylo nezbytné provedení výše popsanych úkolů, je navržení možných úprav či opatření vedoucích ke zlepšení průchodnosti dopravníkového systému.

### 3 Popis dopravníkové techniky ve výrobní oblasti D13A

V této kapitole je uveden přehled dopravníkové techniky využívané při manipulaci s karoseriemi v úseku výroby D13A. Zde popisovaná funkcionality je důležitá zejména pro správné pochopení logiky řízení jednotlivých částí dopravníkového mostu D13A, která musí být korektně přenesena do simulačního modelu. Tato logika může být (po určité době od uvedení do provozu, kdy uplynou příslušné garanční lhůty) ve výrobě upravována obsluhou podle potřeb. Jde však spíše o úpravy týkající se dílčího chování jednotlivých komponent, základní principy zůstávají nezměněny. Technické parametry zde popisovaných zařízení jsou uvedeny jen ve stručné podobě, jejich hodnoty závisí na motorizaci, řízení podmíněného součinností se souvisejícími manipulatory atd.

Manipulační technika může zajišťovat meziobjektovou přepravu, skladové operace nebo mezioperační manipulaci. V případě výrobní oblasti D13A převládají zařízení určená pro mezioperační manipulaci, tj. zařízení přemísťující karoserie mezi jednotlivými technologickými úseky, pracovišti a místy kontroly, dělení toku karoserií apod.

V případě dopravníkového mostu D13A jsou v zásadě používána dvě navzájem odlišná manipulační zařízení pro realizaci toku karoserií:

- skidový dopravník,
- závěsový dopravník

#### 3.1 Skidový dopravník

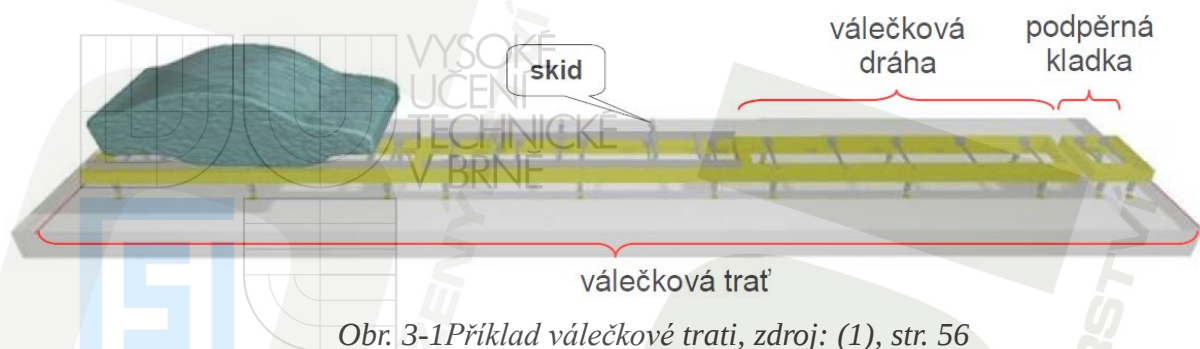
Skidový dopravník se pohybuje po poháněné dopravní trati<sup>1</sup>. Přepravním prostředkem skidového dopravníku je skid. Manipulační jednotku<sup>2</sup> pak tvoří karoserie na skidu. Skidový dopravník se skládá z několika na sebe různě navazujících dopravních prvků. Nejčastěji jsou to (1):

- válečkové tratě,
- zvedací zařízení,
- stoly používané v dopravní technice,
- příčné přesuvné dopravníky,
- příčné pásové dopravníky.

---

<sup>1</sup> Dopravní trať je dopravník, jehož nosným prostředkem jsou otočné prvky uložené v rámu, po kterých se pohybuje dopravovaný náklad – kusová břemena od místa přívodu do místa odvodu nákladu. (2)

<sup>2</sup> Manipulační jednotka je materiál tvořící samostatně nebo s přepravním prostředkem celek, který je uzpůsoben pro mechanizovanou manipulaci, přepravu, skladování a zachovává svůj tvar při oběhu. (12)



### 3.1.1 Válečková trať

Válečková trať<sup>3</sup> se používá pro přepravu karoserie v podélném (přímém) směru. Modulárně je možné ji sestavovat z potřebného počtu na sebe navazujících válečkových drah. V případě, že není dosažena požadovaná délka válečkové trati, může být tato doplněna podpěrnou kladkou. (1)

Podle použitého pohonu lze dosahovat rychlostí karoserie na válečkové trati  $6 \div 72$  m/min (pohon s frekvenčním měničem) nebo 36 m/min (pohon bez použití frekvenčního měniče). (1)

V případě, že jsou karoserie na trati blokovány, mohou zde zastavit – trať je akumulací. Jde tedy o zásobníkový dopravník.<sup>4</sup> V pohybu pokračují až tehdy, kdy dojde k uvolnění následujícího úseku nebo když právě blokováná válečková dráha obdrží impuls z jiné (následující) části skidového dopravníku (která byla uvolněna). Impulzy jsou předávány na základě iniciace senzorů, ke které dojde přejezdem skidu přes snímač polohy senzoru. Po uvolnění části pak karoserie pokračuje dále. V těchto případech, kdy je pohyb karoserie blokován, funguje válečková trať jako FIFO zásobník, někdy se také hovoří o dojíždějícím zásobníku.

### 3.1.2 Zvedací zařízení

Zvedací zařízení zajišťují překonání výškových rozdílů při manipulaci karoserií. Nejčastěji jsou používána pro (1):

- vstup a výstup do zásobníků,
- vyrovnání výškových rozdílů mezi dopravníky,
- přesun karoserií mezi jednotlivými podlažími.

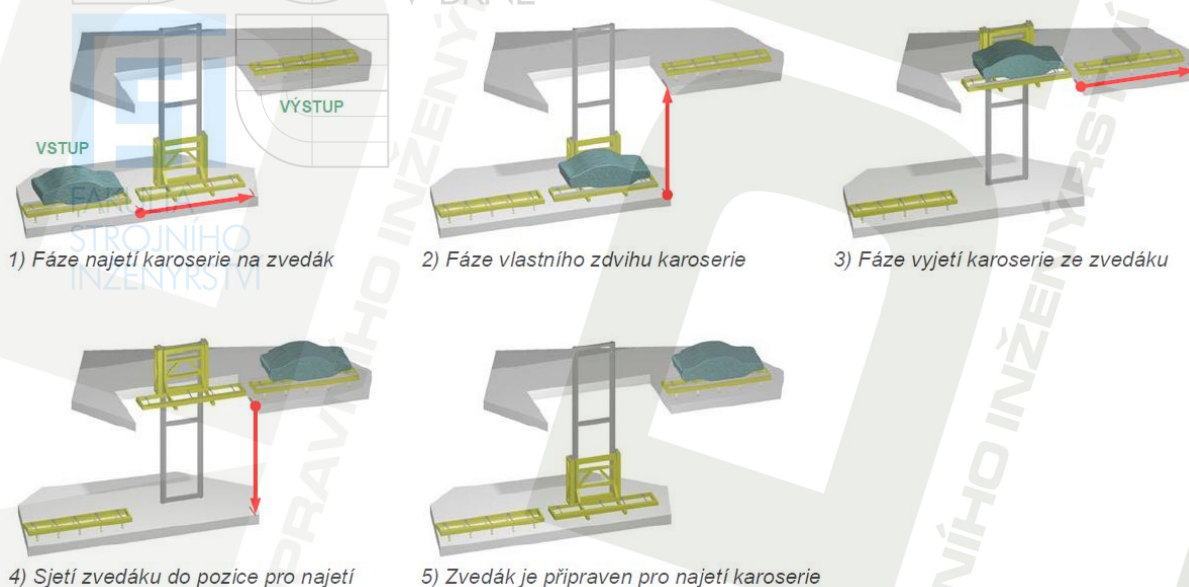
Zvedací zařízení lze členit podle jejich konstrukce následovně:

- zvedák – dvousloupový (zvih max. 12 až 20 m)

<sup>3</sup> Válečková trať je dopravní trať, kde nosným prostředkem jsou nosné válečky, vodící prostředek tvoří postranní vedení. (2)

<sup>4</sup> Zásobníkový (akumulační) dopravník je dopravník umožňující pohyblivé skladování. (2)

- nůžkový zvedák (0,5 ÷ 2 m),
- excentrický zvedák (zdvih 100 až 250 mm), při praktickém použití jde většinou o zvedací stoly.



Obr. 3-2 Dvousloupový zvedák (jeden vstup a jeden výstup) a jeho pracovní fáze, zdroj: (1), str. 57

Na Obr. 3-2 jsou znázorněny jednotlivé fáze dvousloupového zvedáku při jednom přepravním cyklu. Během přepravního cyklu může být zvedák obsazen pouze jednou karoserií. Doba tohoto cyklu se uvažuje od fáze najíždění až po fázi vyjetí karoserie ze zvedáku. To znamená, že další najetí karoserie je možné až po ustanovení zvedáku do nájezdové (výchozí) pozice. Zvedák může převzít karoserii i v případě, že výstupní pozice válečkové dráhy je obsazena, pak provede fázi najetí, zdvihu a čeká do doby, než dostane informaci (impulz) od výstupní válečkové dráhy o volné pozici. (1)

Možné úpravy této logiky, s jakou zvedák pracuje, jsou spojeny především se snahou zkrátit takt, s jakým zvedák pracuje. To lze provést posunem senzorů snímajících obsazenost výstupní pozice, resp. samotnou pozici zvedáku. Další teoretická možnost je použití motorizace umožňující rychlejší zdvih zvedáku. Limitující jsou přitom bezpečnostní předpisy a možná technická omezení.

### 3.1.3 Stoly používané v dopravníkové technice

Základem každého dále popisovaného stolu je válečková dráha, pomocí které karoserie najíždí na tato zařízení. Konkrétní způsob pohybu karoserie je pak závislý na daném typu stolu, které lze tedy rozlišovat takto (1):

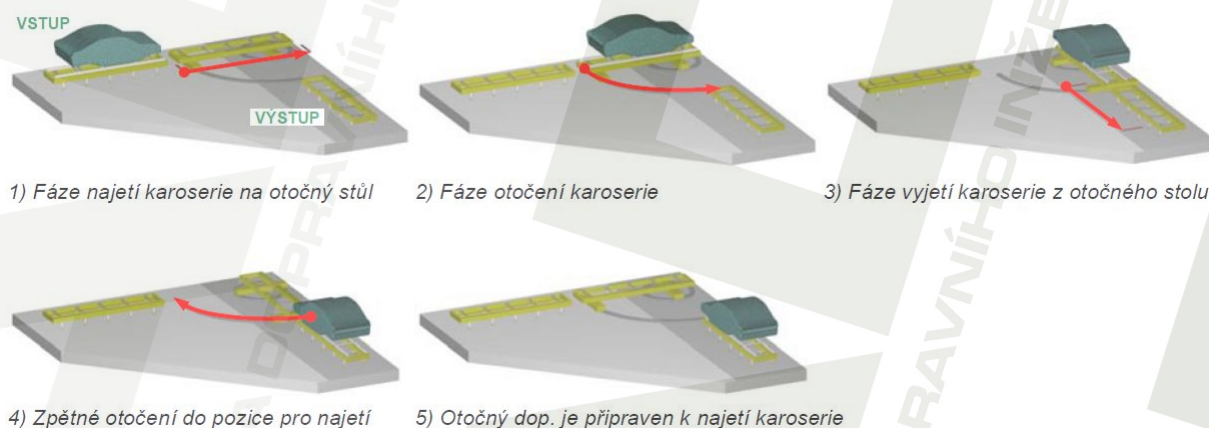
- kyvné,
- otočné,

- zvedací,
- přesuvné.

### 3.1.3.1 Kyvné stoly

Kyvné stoly zajišťují potřebné otočení karoserie (většinou o  $10 \div 90^\circ$  viz Obr. 3-3 znázorňující funkci kyvného stolu). Ta pak může pokračovat přesunem na navazující válečkovou trať. Střed otáčení je umístěn vždy k jedné straně kyvného stolu. Umístění středu otáčení vzhledem ke vstupní válečkové dráze také určuje, zda směr karoserie bude nebo nebude odpovídat směru pohybu na výstupní válečkové dráze. (1)

Vlastní otočení je zajištěno obloukem kladičkové dráhy<sup>5</sup>, po které nosná část stolu (unášecí prostředek dopravníku) pojíždí, resp. otáčí se.



Obr. 3-3 Kyvný stůl (jeden vstup a jeden výstup) a jeho pracovní fáze při jednom přepravním cyklu, zdroj: (1), str. 58

### 3.1.3.2 Otočné stoly

Pomocí otočných stolů je možné podobně jako u kyvných měnit směr toku skidového dopravníku o požadovaný úhel. Střed otáčení je umístěn ke středu otočného stolu, tzn., že stůl se může otáčet v obou směrech. (1) Proto je tento druh stolu vhodný pro řízení toku karoserií, kdy může mít více výstupních větví (válečkových drah), na které podle naprogramované logiky jednotlivé karoserie přepouští.

### 3.1.3.3 Zvedací stoly

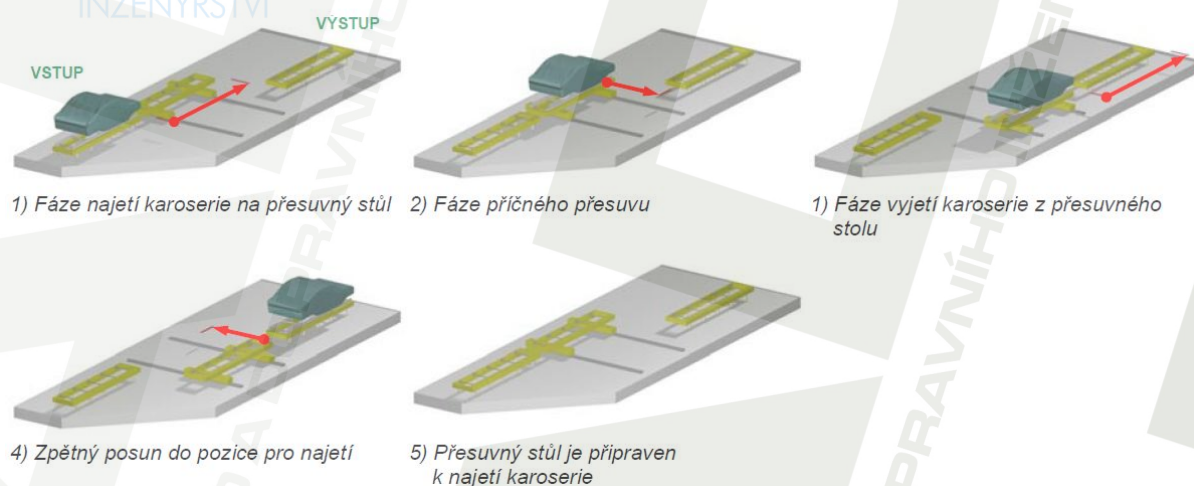
Tento typ stolů se používá v rámci příčného pásového dopravníku (podle (2) se zde jedná tedy o stabilní vodorovný pásový dopravník pro technologickou pásovou dopravu). Slouží pro najetí karoserie nad pásový dopravník na válečkovou dráhu (stůl v horní poloze). Následným spuštěním zvedacího stolu do dolní polohy je karoserie posazena na pásy dopravníku, díky kterým se karoserie posunuje směrem k výstupu. (1)

<sup>5</sup> Kladičková trať je dopravní trať, kde nosným prostředkem jsou nosné kladičky, vodičí prostředek tvoří postranní vedení. (2)

Zvedací stoly vykonávají relativně malý zdvih (řádově v desítkách milimetrů), z tohoto důvodu jsou proto konstrukčně řešeny pomocí excentrického zvedacího mechanismu. (1) Příklad použití zvedacího stolu jako součást příčného přesuvného dopravníku je znázorněn na Obr. 3-4.

### 3.1.4 Příčný přesuvný stůl

Někdy je také označován jako příčný přesuvný dopravník. Pomocí přesuvného stolu (viz Obr. 3-4) je zajištěno příčné přesunutí karoserie mezi jednotlivými válečkovými tratěmi. Tato konstrukce umožňuje rychlý příčný přesuv. Je možné použití k propojení tratí s více vstupy a výstupy. (1) Využití je pak podobné jako v případě otočného stolu – řízení rozdělení toku karoserií na základě naprogramované logiky.



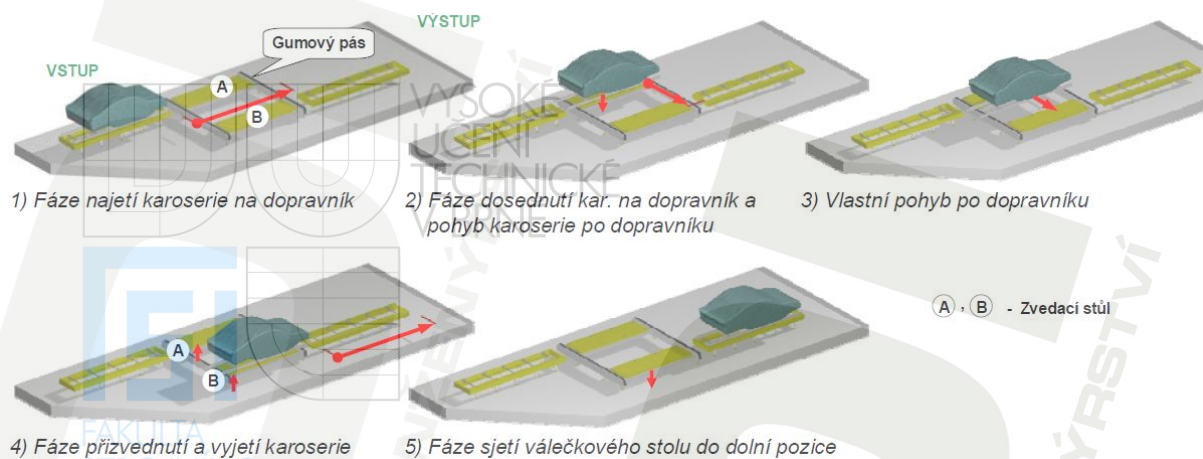
Obr. 3-4 Příčný přesuvný dopravník (jeden vstup a jeden výstup) a jeho pracovní fáze při jednom přepravním cyklu, zdroj: (1), str. 59

### 3.1.5 Příčný pásový dopravník

Příčný pásový dopravník v základním provedení má stejnou funkci jako příčný přesuvný dopravník. Rozdíl je ten, že karoserie manipulovaná pomocí skidu je příčně přesouvána po dvou pásích. Tento dopravník nedosahuje takových rychlostí při přesunu a je konstrukčně složitější. V základním provedení jsou použity dva zvedací stoly (viz Obr. 3-5), pomocí kterých je karoserie na vstupu posazena na zmíněné pásy a na výstupu vyzvednuta z pásového dopravníku. (1)

Další rozdíl mezi příčným pásovým dopravníkem a příčným přesuvným stolem je ten, že v případě zablokování výstupu může být příčný pásový dopravník v základním provedení obsazen dvěma karoseriemi. Může být tedy využit jako zásobníkový dopravník. (1)

Příčný pásový dopravník lze modulárně prodloužit tak, že jsou za sebou zařazeny jednotlivé pásové dopravníky s vloženými zvedacími stoly. Tím lze zvýšit kapacitu takového úseku, který pak funguje jako FIFO zásobník.



Obr. 3-5 Příčný pásový dopravník (jeden vstup a jeden výstup) a jeho pracovní fáze, zdroj: (1), str. 57

### 3.2 Závěsový dopravník

Jedná se o druh poháněného závěsového dopravníku. Závěsový dopravník je podvěsný dopravník (náklad se pohybuje pod nosným prostředkem), jehož unášecím prostředkem jsou závěsy, na kterých je uložen náklad. (2) Manipulační jednotku potom tvoří karoserie uchycená na závěsu. Závěsový dopravník je používán pro manipulaci karoserií v místech, kde jsou prováděny montážní nebo technologické operace na spodní části karoserie (viz Obr. 3-6). (1) Je tomu tak např. v provozu lakovny při průchodu karoserií lázněmi, dále na výstupu z lakovny při konzervaci dutin v úseku výroby D13A a při montáži pak nejčastěji při zástavbě agregátu.



Obr. 3-6 Závěsový dopravník, zdroj: (1), str. 60

Každý závěs je vybaven vlastním pohonem. Ten je ovládán řídicí jednotkou, která komunikuje s nadřazeným řídicím systémem konkrétní linky – jedná se tedy o automatizované závěsové dopravníky.

Pohyb karoserií je pak daný podle požadavků té které výrobní linky. Je tak možné měnit rychlost dopravníku v jednotlivých úsecích a také pozice, ve kterých může být závěs pozdržen. (1)

Kromě výhybek na dopravníkové trati je specifickým úsekem okruhu závěsových dopravníků místo, ve kterém dochází k převěšení karoserie ze skidu na závěs a svěšování ze závěsu na skid. To je většinou zajištěno pomocí zvedáku.

## 4 Diskrétní simulace a simulační modely

V této kapitole budou uvedeny základní poznatky z oblasti provádění simulací (zejména počítačových simulací technologických procesů), vytváření simulačních modelů, experimentování s nimi, vyhodnocování výsledků těchto experimentů atd. Nebude-li řečeno jinak, bude pod pojmem simulace míněna diskrétní<sup>6</sup> simulace. Nejprve však bude vhodné uvést definice či alespoň vysvětlení nejčastěji používaných termínů, které s touto problematikou souvisí.

### 4.1 Vymezení základních pojmů

Zde jsou uvedeny definice (resp. vysvětlení) nejdůležitějších pojmů, které mají souvislost s problematikou provádění simulací.

- **Simulace** – je zobrazování systému s jeho dynamickými procesy pomocí modelu, na kterém lze provádět experimenty za účelem získání poznatků, které je možné uplatnit ve skutečnosti.<sup>7</sup> (5)

Již v této úvodní definici jsou obsaženy další důležité pojmy, které lze rovněž v případě potřeby exaktně definovat. Např. (6) charakterizuje modelování a simulaci pomocí čtyř entit – zdrojový systém (resp. pouze systém), model, simulátor a experimentální rámec, které spolu s databází chování lze popsat následovně:

| Základní entita      | Popis                                                                                       |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zdrojový systém      | Reálný (nebo uměle vytvořený) zdroj dat                                                     |
| Databáze chování     | Soubor shromážděných dat (informací o systému)                                              |
| Experimentální rámec | Určuje podmínky, za kterých je systém pozorován a za nichž jsou s ním prováděny experimenty |
| Model                | Instrukce pro generování dat (tj. „návod“, jak data generovat)                              |
| Simulátor            | Zařízení výpočetní techniky pro generování chování modelu                                   |

- **Systém** – existuje mnoho definic, přičemž prakticky všechny popisují systém jako soubor navzájem propojených prvků, mezi kterými existují (funkční a jiné) vazby. Prvky do systému nezahrnuté náleží pak do tzv. **okolí systému**. Pomocí matematického zápisu lze definovat systém jako ohodnocenou množinu prvků (a dvojic prvků z téže množiny) následovně (4):

$$S = (A/F, R/P) \quad (1)$$

kde

**A** je množina prvků,

<sup>6</sup> Rozdíl mezi spojitou a diskrétní simulací je uveden dále v kapitole 4.4 na str. 26.

<sup>7</sup> Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.

F je množina funkcí jednotlivých prvků,

R/P je množina relací mezi prvky

Od okolí je pak systém oddělen **rozhraním**, zpravidla lze rozlišit jeden či několik vstupů a výstupů do a ze systému.

- **Proces** – je posloupnost stavů, které mohou nastat v systému při daném stavu okolí. (4) Podobně lze definovat (jistou) množinu procesů jako **chování**. Existují pak systémy s cílovým chováním (např. cílovým chováním živočicha ve volné přírodě je přežít, cílové chování firmy v tržním prostředí je dosažení zisku (mimo jiné) apod.).

- **Model** – pojem model implicitně předpokládá existenci reálně existujícího objektu – originálu. Model je pak jiný objekt, který má s originálem některé vlastnosti do té míry podobné, že na něm lze některé aspekty originálu studovat, analyzovat, případně predikovat. (4)

Pro účely modelování technologických procesů se však s touto definicí nespokojíme, proto uvádím následující:

**model** – je zjednodušené zobrazení plánovaného nebo reálně existujícího systému s jeho procesy v jiném systému. Podle vlastností systému podstatných pro prováděnou analýzu rozlišujeme dále v závislosti na účelu této analýzy toleranci, s jakou je přípustná odchylka modelu od originálu.<sup>8</sup> (3)

- **Rozlišovací úroveň** – vyjadřuje stupeň podrobnosti či naopak generalizace, s níž úlohu řešíme. (4) Pokud bude zvolená rozlišovací úroveň příliš vysoká, bude se pozorovaný systém jevit podobně jako černá skříňka, tj. budeme schopni pozorovat jen jeho vstupy a výstupy, a tedy určit chování systému. Nebudeme však schopni toto chování vysvětlit, protože procesy probíhající uvnitř systému na námi zvolené rozlišovací úrovni nepostihneme. Nebezpečí v sobě však skrývá též volba příliš jemné rozlišovací úrovně, kdy pro jednotlivé detaily nejsme schopni zachytit logiku a funkcionalitu celku.

Další pojmy souvisejí přímo s pojmem simulace uvedeným již výše.

- **běh simulace** – je zobrazení chování systému v jiném systému schopném průběhu v jistém časovém rozmezí.<sup>9</sup> (5)
- **experiment** – je cílené empirické vyšetřování chování modelu na základě provádění opakovaných běhů simulace za podmínky systematické změny

---

<sup>8</sup> Ein Model ist eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder real existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen System. Es unterscheidet sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Ziel abhängigen Toleranzrahmens vom Original.

<sup>9</sup> Ein Simulationslauf ist die Nachbildung des Verhaltens des Systems in einem ablauffähigen System über eine bestimmte Zeit.

parametrů modelu.<sup>10</sup> (5) Opakování běhů je nutné vždy poté, co byly změněny některé z parametrů simulačního modelu.

V této souvislosti ještě uvedu možné způsoby, jakými lze experimenty prováděné na simulačních modelech organizovat. Většinou je vytvořen plán experimentů, který přehledně uvádí postup, jakým bude chování modelu vyšetřováno.

Existují různé přístupy provádění simulačních experimentů, podle nichž se pak liší plán experimentů. Nejznámější metody jsou tyto: (7)

- **metoda postupných změn faktorů (One-by-one factor method)** – principem je změna vybraného faktoru (a provedení nového experimentu), zatímco ostatní faktory zůstávají nezměněny. Nevýhodou je, že tak nemusí být odhalen dopad spolupůsobení více faktorů,
- **plán změn všech faktorů (Faktorielle Versuchsplanung)** – vyžaduje provádění experimentu pro každou kombinaci faktorů (jejich hodnot), nevýhodou je z toho plynoucí velké (exponenciálně rostoucí) množství požadovaných experimentů,
- **plán změn vybraných faktorů (Teilfaktorielle Versuchsplanung)** – vychází z poznatku, že některé společné vlivy více faktorů lze nahradit jediným novým činitelem,
- **Taguchiho metoda** – uplatňovaná zejména v oblasti kontroly a řízení kvality,
- **Shaininova metoda** – vychází z Paretova zákona, tj. ze skutečnosti pozorované v různých technických a ekonomických disciplínách, že většina následků má (z množiny všech možných) jen velmi málo (hlavních) příčin. Snahou je tedy vytipovat ty parametry, které mají na výsledky experimentu největší vliv.

## 4.2 Význam a možnosti využití simulace

Než přejdu k popisu vlastního průběhu simulace, zmíním se ještě o významu a možném využití provádění simulací v technických, průmyslových, logistických a jiných oborech obecně.

Simulace je velmi užitečný nástroj, ať již jde o plánování, realizaci a řízení nebo navrhování strukturálních změn různých systémů (technických, technologických apod.). Přitom v následujících třech fázích životního cyklu výrobku je prostřednictvím simulace dosaženo následujících cílů (8):

- plánování – zajištění provozu, který bude odpovídat ze středně- a dlouhodobého hlediska tržním požadavkům,
- realizace – zkrácení doby uvedení do provozu, rychlé dosažení vysoké produktivity,

---

<sup>10</sup> Ein Experiment ist die gezielte empirische Untersuchung des Verhaltens eines Modells durch wiederholte Simulationsläufe mit systematischer Parametervariation.

- provoz (řízení) – výběr nejvýhodnější varianty z portfolia známých kombinací hodnot vstupních faktorů.

Výhody simulace mohou být v plném rozsahu využity v kombinaci s nasazením výpočetní techniky odpovídajícího výkonu. V praxi je návratnost vstupních nákladů na pořízení této technické základny včetně dalších nákladů (režijních a personálních příslušného simulačního oddělení, není-li tato služba outsourcována, a jiných...) zajištěna během relativně krátké doby, uvážíme-li, že simulace může nahradit nákladné (a někdy i riskantní) provádění experimentů v reálných systémech a porovnáme-li rychlost počítačové simulace s délkou průběhu a vyhodnocování takových experimentů v reálném čase<sup>11</sup>.

Použití simulace si žádá také tržní vývoj, neboť dochází v různých oborech u jednotlivých firem k rozrůstání produktového portfolia, ke zvyšování nároků na kvalitu výrobků při současné snaze snižovat dále jednotlivé nákladové položky, ke zkracování životnosti produktu, ke stupňování konkurenčních tlaků atd.

Simulace umožňují provádět (podle oblasti nasazení – zde v souvislosti s logistickými procesy) např. analýzu úzkých míst, zjištění minimálního a maximálního možného vytížení systému a těmto stavům odpovídající výkonnost (danou např. manipulační prací, průchodností apod.), porovnání různých variant uspořádání materiálového toku nebo rozmístění pracovišť, zjištění hodnot důležitých výstupních proměnných na základě změn hodnot proměnných parametrů (kapacity skladů, rychlosti pohybů jednotlivých manipulačních zařízení, jejich poruchovost atd.), možnosti způsobů řízení daného systému, změny vzniklé začleněním nových pracovníků nebo změnou směnového kalendáře atd.

### 4.3 Průběh přípravy, provádění a vyhodnocování simulace

Ve stručnosti lze říci, že celý proces provádění simulace sestává ze čtyř základních fází – jsou vyznačeny na Obr. 4-1, kde je též naznačena možnost opakování experimentů pro různé parametry modelu. Na počátku je dán reálný systém (libovolný – může se jednat např. o část výrobní linky, odbavovací přepážky na úřadě apod.). Snahou je vytvořit model tohoto reálného systému. Simulační model bude některé jeho atributy nést, jiné vlastnosti svého vzoru neponese, neboť podle zvolené rozlišovací úrovně budou tyto nepodstatné. Cílem je, aby chování modelu bylo shodné s originálem (opět v podstatných rysech, obvykle je však vyžadována naprostá shoda chování za všech vnějších podmínek. Problém může být vystihnout opravdu všechny, nikoliv jen některé, možné stavy okolí). Obecně u modelů dynamických systémů může být tato shoda ověřována testováním postačitelé shody dvou časových řad, prováděním testů dobré shody nebo např. na základě Theilova koeficientu. (9) Dále je nutné ověřit, že takto sestavený model skutečně bude použitelný pro naše účely. Fázi modelování tedy následuje validace a verifikace modelu.

---

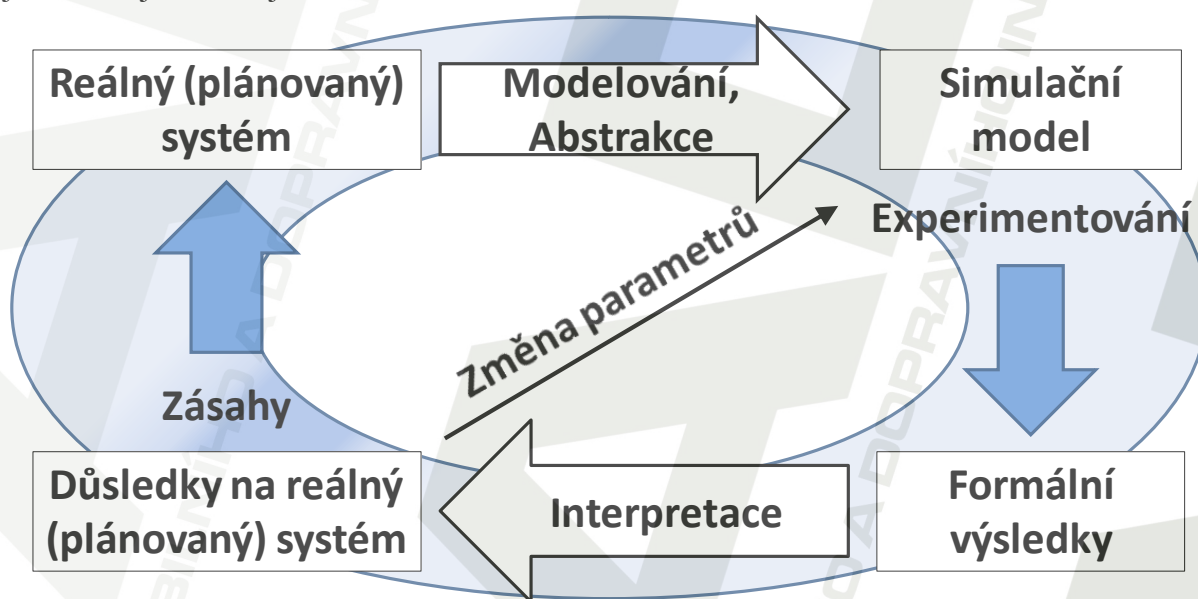
<sup>11</sup> Ovšem výhodou simulace může být naopak také možnost zobrazit simulovaný proces zpomaleně a podrobně tak zkoumat veškeré relevantní děje, které jej doprovází.

*Verifikace modelu* znamená ověření, zda počítačový model reprezentuje pojmový model se stanovenou mírou přesnosti (pojmový model – specifikace systému pomocí verbálního nebo matematického aparátu). (1)

*Validace modelu* znamená ověření, že počítačový model v oblasti aplikovatelnosti prokazuje uspokojivou míru shody s realitou v souladu se zamýšleným použitím (cílem modelu). (1)

Jakmile je již simulační model vytvořen, validován a verifikován, lze přistoupit k provádění simulačních experimentů. Z nich pak získáme výsledky, které je nutné správně interpretovat. Způsob, jakým budou výsledky interpretovány, je důležitý zejména proto, že z této interpretace vyplynou doporučení na změny v systému a v případě jejich schválení se pravděpodobně budou provádět zásahy do stávajícího reálného systému.

Takto ve stručnosti slovně popsany průběh simulační činnosti lze zobrazit schématem, jaké ukazuje následující Obr. 4-1



Obr. 4-1 Základní princip simulace

Celý proces je možné popsat ještě podrobněji, zahrneme-li do něj taktéž kroky předcházející rozhodnutí o použití metody simulace pro řešení daného problému a taktéž činnosti administrativního rázu, jejichž provádění je zvláště v technické praxi vyžadováno. Např. podle (5) je možné rozdělit jednotlivé fáze provádění simulace následovně:

- 1) formulace problému
- 2) ověření vhodnosti provádění simulace
- 3) formulace cílů
- 4) pořízení dat a jejich analýza
- 5) modelování
- 6) provedení n běhů simulace
- 7) analýza výsledků a jejich interpretace
- 8) dokumentace

Tyto fáze nyní v krátkosti popíši.

### 4.3.1 Formulace problému

Zadavatel simulace by měl přesně vymežit své požadavky kladené na simulaci, která má být provedena. Přitom zde ještě není třeba brát zřetel na možná technická či metodologická omezení, která by mohla splnění některých z těchto požadavků znemožnit. Je vhodné, aby výstup této fáze byl písemný, např. ve formě seznamu úkolů, které mají být provedeny, nebo otázek, na které má provedení simulace pomoci nalézt odpovědi.

### 4.3.2 Ověření vhodnosti provádění simulace

Provádění simulace by nikdy nemělo být samoučelné. Přes veškeré výhody, které simulační techniky (zvláště ve spojení s výpočetní technikou) přinášejí (viz kapitola 4.2), nemusí jejich nasazení vždy vést k uspokojivým a očekávaným výsledkům. Zvláště vhodné je zvážit možnost řešení (již zformulovaného) problému jinými metodami, pokud:

- nejsou k dispozici analytické matematické modely systému, který má být simulován (např. proto, že takový model by zahrnoval nadměrné množství proměnných),
- systém, na kterém byl formulován problém, je natolik komplexní, že není prakticky možná jeho vhodná dekompozice tak, aby byl počet a vzájemná provázanost jednotlivých (vnějších) vlivů na systém zvládnutelný (ve smyslu možnosti jejich definice a parametrizace),
- disponibilní data o předmětném systému vykazují značnou nespolehlivost,

Naopak velmi vhodné je provádět sestavení simulačního modelu, pokud existuje předpoklad jeho budoucího opětovného využití (např. na podobné modely, v analogických problémových situacích, kdy bude stačit změnit jen některé parametry modelu, případně jej pouze částečně přepracovat, aby mohl být aplikován na nový problém).

### 4.3.3 Formulace cílů

Jak již bylo řečeno v kapitole 4.1, u většiny systému je možné pozorovat jejich cílové chování. Častým případem je, že systém (např. podnik) má více cílů, z nichž obvykle jeden je cíl hlavní (např. u firmy to dle její strategie může být udržení si pozice na trhu, maximalizace zisku, maximalizace obrátu atd.) a dále existuje větší počet cílů dílčích, které napomáhají hlavní cíl uskutečnit<sup>12</sup>. Ve většině případů z průmyslové praxe je simulačním modelem jistá část podniku (technologický úsek výroby, distribuční nebo skladový systém apod.), proto také cíl modelovaného systému je většinou dílčí. Může jít např. o tyto cíle simulovaného systému (3):

- minimalizace času průběhu určitého procesu,

---

<sup>12</sup> Nemusí jít jen o výhradně komplementární cíle, některé mohou být navzájem protichůdné.

- maximalizace využitelnosti systému,
- minimalizace zásob,
- snížení rozptylu dodržení stanovených termínů.

Z pohledu způsobu, jakým mají být pomocí simulačního modelu tyto cíle dosaženy, lze rozlišit tyto účely modelů (tedy cíle, s jakými jsou vytvářeny) (10):

- vyhodnocení – studujeme-li dále chování modelu, je nutné určit, jak je vhodný pro dané účely,
- srovnávání – porovnávání funkcí systému vzhledem k alternativám,
- predikce – vyhodnocení chování systému za potenciálních (reálných) podmínek,
- analýza citlivosti – určení těch faktorů (parametrů), které jsou pro činnost celého systému nejvýznamnější (na jejichž změnu systém vykazuje nejsilnější odezvu),
- optimalizace – nalezení takové kombinace parametrů, která vede k (v jistém smyslu) nejlepší odezvě systému,
- funkcionální vztahy – nalezení závislostí mezi nejvýznamnějšími parametry a odezvou systému.

Cíle by měly být měřitelné a je třeba je formulovat pečlivě (např. formou tabulky s přehledem veličin, které dané cíle vyjadřují), aby bylo možné po skončení simulace hodnoty těchto veličin statisticky vyhodnotit. Přestože v obecnosti nelze doporučit striktně fázi systémové analýzy, ve které by měla proběhnout volba rozlišovací úrovně (viz podkapitola 4.1), z výše uvedeného vyplývá, že právě fáze formulace cílů prováděné simulace je v tomto případě vhodným okamžikem pro určení, s jakou detailností je nutné předmětný systém zkoumat. Toto rozhodnutí má pak dopad na realizovatelnost, délku trvání a nakonec i na nákladnost prováděné simulace. V neposlední řadě je třeba také myslet na formu, v jaké mají být výsledky simulace předány (pro zadavatele simulace jsou většinou podstatná doporučení vyplývající z provedených analýz, nikoliv detaily, které je možné zanedbat).

#### 4.3.4 Pořízení dat a jejich analýza

V případech, kdy mají být modelovány složité systémy, jsou též informace potřebné pro jejich popis rozsáhlé a je proto vhodné je rozdělit do skupin podle toho, jaké oblasti (subsystému) se týkají. Je možné např. následující dělení (3):

- technická data – výkresy, výrobní aj. schémata, podstatné technické údaje o modelovaných zařízeních, výkonost, kapacita a topologie výrobních úseků, skladů apod., údaje o spolehlivosti, pohotovosti atd.,
- organizační data – směnnost provozu, pracovní přestávky apod., přiřazení obsluhy a údržby k zařízením a strojům, organizace materiálového toku, způsoby provádění oprav atd.,
- data o využití systému – pracovní plány, kusovníky, objemy a termíny zakázek atd.

### 4.3.5 Modelování

Po ukončení předchozí fáze je završena příprava simulace. Nyní je konečně možné sestavit simulační model. Většinou se tak děje ve dvou krocích (3):

- sestavení myšlenkového modelu, ze kterého je odvozen symbolický model<sup>13</sup> – také zde je možné určit a je vhodné zamyslet se nad rozlišovací úrovní, s jakou bude model pojat. Velmi často tak dochází ke zjednodušení, idealizaci či ignorování některých aspektů reálného systému,
- převedení symbolického modelu do příslušného simulačního software (dále jen SW) – pro účely pozdějšího opětovného využití takového modelu je vhodné v průběhu jeho tvorby zpracovat podrobnou dokumentaci, do zdrojových kódů programů vepisovat komentáře apod., aby bylo pozdější užití vytvořeného modelu možné a v ideálním případě nevyžadovalo asistenci jeho tvůrce.

Samozřejmě druhý krok není nutný v obecných případech, kdy jsou modelovány např. jednoduché ekonomické situace podniku (úlohy ekonomicko-matematické analýzy). Kromě vhodnosti provádění simulace je totiž nutné také zvážit náklady, které s sebou zvolená metoda přinese s ohledem na situaci, ve které je provedení simulace vyžadováno (např. simulační oddělení podniku vs. školní úloha...).

V rámci druhého kroku, totiž programování simulačního modelu, lze ještě podle (9) rozlišit tyto etapy:

- zachycení statických vlastností modelu (jeho struktury),
- zachycení dynamických vlastností,
- zachycení pravděpodobnostních stránek (generování hodnot náhodných veličin),
- realizace sběru údajů z činnosti programu.

### 4.3.6 Provedení simulačních běhů

V této fázi jde o provádění jednotlivých experimentů na modelu vytvořeném v některém ze simulačních SW. Východiskem pro tuto činnost by měl být určitý plán experimentů, ve kterém jsou popsány veškeré důležité výchozí hodnoty, parametry nastavení a také očekávané výsledky pro ten který experiment. Podobně důležité je pro každý simulační běh zajistit potřebnou dokumentaci, na základě jejíhož vyhodnocení budou v následující fázi analyzovány zjištěné výsledky.

Výsledky experimentů se však mohou lišit z několika příčin. Jsou to (9):

- různé počáteční podmínky,
- náhodné kolísání způsobené přítomností náhodných veličin v modelu (vliv různých posloupností náhodných čísel),

---

<sup>13</sup> V rámci této diplomové práce byl při tvorbě modelu vytvořen nejprve pojmový model tak, jak je definován v kapitole 4.3

- experimentální zásahy.

Jak je patrné z předchozího odstavce, snahou je, aby se výsledky experimentů lišily pouze v důsledku experimentálních změn. Ohledně náhodnosti způsobené stochastičností vnesenou do modelu lze poznamenat, že ve většině simulačních modelů je užito aritmetických algoritmů, jež generují náhodná čísla na základě jistých rekurentních výpočtů. Tzn., že následující generované číslo je funkční hodnotou několika předchozích čísel. Jak je zřejmé, nejde tudíž o náhodná čísla v pravém smyslu slova, neboť za stejných počátečních podmínek<sup>14</sup> bude pokaždé generována stejná posloupnost čísel. Proto se tato čísla označují jako *pseudonáhodná čísla*. (9)

Běh simulací je zvláště v případě složitých modelů i s použitím výkonné výpočetní techniky časově náročná operace. Vzhledem k tomu, že v průběhu simulace není (většinou) zásah obsluhy simulačního software vyžadován, je vhodné tuto činnost přesunout mimo pracovní dobu, aby byla optimálně využita kapacita disponibilní výpočetní techniky.

### 4.3.7 Analýza výsledků a jejich interpretace

V této fázi dostáváme odpovědi na otázky a problémy, které byly formulovány již v úvodu během přípravy simulace. Jde o velmi důležitou část provádění simulací, neboť na jejím základě jsou navržena doporučení, která v případě přijetí mají dopad již na reálný systém. Zejména u rozsáhlých simulačních modelů je výrazná tzv. doba náběhu do ustáleného stavu. Během této doby mohou procesy v reálném a v simulovaném modelu probíhat rozdílně, je proto vhodné zvážit (ne)zařazení výsledků z tohoto časového úseku simulace do závěrů plynoucích z experimentů.

Může se také stát, že získané výsledky činí problémy při jejich interpretaci, např. neumožňují jednoznačné závěry. V takovém případě je vhodné vrátit se zpět k fázi č.3 Formulace cílů a zvážit znovu rozlišovací úroveň, se kterou bude tvořen model simulovaného systému. Podobně pokud jsou výsledky simulace a z nich vyplývající interpretace rozsáhlé a činí problémy z ní vyvodit nepodmíněné závěry, je třeba pravděpodobně snížit zvolenou detailnost simulačního modelu.

### 4.3.8 Dokumentace

Závěrečnou fází provádění simulací je vypracování dokumentace, která by měla mít nejlépe podobu projektové dokumentace. Obsahem by měl být přehled o průběhu simulační studie včetně s tím souvisejících úkolů, které byly provedeny.

---

<sup>14</sup> V SimPro i v Plant Simulation jsou tyto počáteční podmínky nastaveny uživatelem jako tzv. proudy poruch (*Strom*) – uživatel volí přirozené číslo označující daný proud. Stejný proud poruch přitom generuje při každém simulačním běhu stejnou posloupnost náhodných dějů (např. posloupnost produkce dílů, okamžiky poruch apod.).

Protože výsledky a z nich plynoucí doporučení nemusí mít povahu pouze pozitivních návrhů, neměl by v dokumentaci chybět ani přehled těch simulovaných variant, které skončily (z jakéhokoliv důvodu) neúspěchem. Je tak možné předejít obtížím do budoucna.

Naopak ty návrhy, které podle výsledků simulace povedou ke kýženým výsledkům, by měly být do dokumentace zvlášť zaneseny, včetně všech nutných opatření při úpravě modelu.

Přílohou dokumentace, jak již bylo zmíněno, by měl být popis sestavování, struktury a funkcionality simulačního modelu, např. pro účely jeho pozdějšího využití (bez nutnosti dlouze studovat model a bez nutnosti konzultace s autorem modelu).

#### 4.4 Dělení simulačních modelů

Simulační modely je možné dělit dle různých hledisek. Jedním z nejběžnějších kritérií je dělení podle způsobu, jakým je v daném modelu uvažován čas. Podle dvou přístupů pak tedy rozlišujeme:

- spojité simulační modely – ve kterých je čas uvažován jako spojitá veličina, tj. může nabývat libovolné hodnoty z daného intervalu (kladná reálná čísla),
- diskrétní simulační modely – ve kterých čas může nabývat pouze určitých hodnot (vždy jen právě jedné) z jisté početné množiny.

V případě diskrétních simulačních modelů (např. simulační programy SimPro nebo Plant Simulation) jsou dynamické děje zachyceny formou tzv. *událostí*. Pouze v okamžiku, kdy simulární čas nabývá určité diskrétní časové hodnoty, může nastat jistá událost (příjem polotovaru pracovištěm, porucha stroje apod.). Tomu též odpovídá algoritmizace modelu, která je tedy orientovaná na události (opačný přístup je algoritmizace orientovaná na aktivity, kombinací obou metod pak algoritmizace orientovaná na procesy – blíže o jednotlivých algoritmizacích a přístupech pojednává např. (9)).

Další používané hledisko respektuje způsob, jakými je v modelu reprezentován výskyt a průběh náhodných dějů, které v reálném systému nastávají. Podle toho rozlišujeme:

- deterministické simulační modely – ve kterých nejsou zahrnuty náhodné veličiny,
- stochastické (pravděpodobnostní) simulační modely – ve kterých jsou náhodné veličiny zachyceny<sup>15</sup>

#### 4.5 Simulační program Plant Simulation

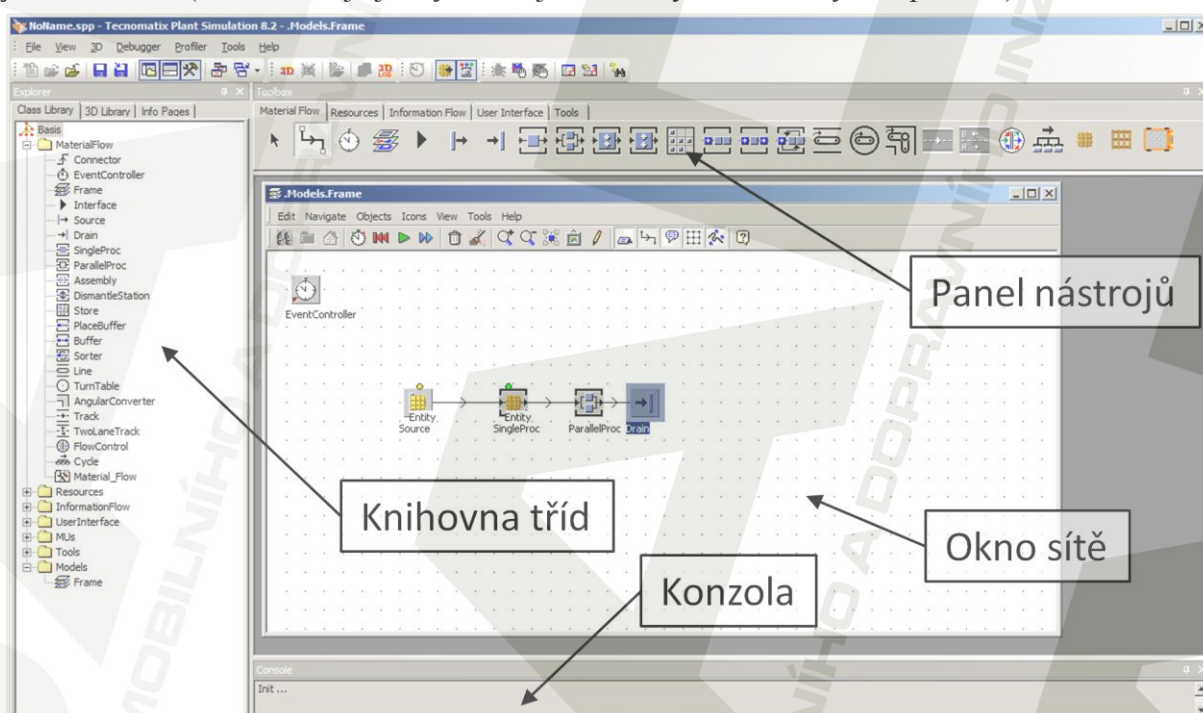
Simulační program Plant Simulation patří do rodiny diskrétních simulačních programů. Jde o objektově orientovaný<sup>16</sup> simulační program, který patří mezi SW fungující pod MS Windows. Využívá programovací jazyk SimTalk. Ten je možné dělit na dvě části: (3)

<sup>15</sup> Jiným hlediskem dělení simulačních modelů je dále např. charakter množiny hodnot jejich stavových veličin – rozlišujeme modely se spojitými, resp. diskrétními změnami stavu. (7)

- jazykové konstrukty (podmínky, logické smyčky apod.),
- standardní metody a příkazy příslušné pro jednotlivé objekty (viz dále).

Programovací jazyk SimTalk obsahuje databázi anglických a německých příkazů používaných ve standardních metodách (ke každému anglickému příkazu existuje německý ekvivalent). Výrazy používané pro konstrukci podmínek, jako IF... THEN, ELSEIF, ELSE, AND, OR, END atd. německý ekvivalent nemají. Pro zvýraznění jsou v tomto textu psány výše uvedené příkazy velkými písmeny, při psaní kódu v Plant Simulation však velikost písmen nehraje roli. Zakázané je použití diakritiky, s výjimkou vpisování poznámek do programu, které jsou překladačem ignorovány a v zásadě tak mohou obsahovat libovolnou sekvenci znaků.

Po spuštění programu (a volbě vytvořit nový model) uživatel uvidí podobné okno jako je na Obr. 4-2 (na obrázku je již vytvořen jednoduchý model o čtyřech prvcích).



Obr. 4-2 Pracovní okno programu Plant Simulation

Jak je vidět, pracovní plocha je rozdělena do několika oddělených oken (která lze skrývat, přesouvat apod.). Popíši nyní ve stručnosti jednotlivé části plochy, které je možno vidět na Obr. 4-2.

#### 4.5.1 Knihovna tříd

V knihovně se nachází veškeré elementy, tj. objekty a prvky, ze kterých se může model skládat. Tyto elementy jsou uspořádány do složek podle svého významu a funkce. Je možné též vytvářet vlastní elementy a dokonce vlastní složky obsahující tyto (nebo

<sup>16</sup> Objektově orientované programy pracují s objekty jako s prvky modelované reality, jejich filosofie je založena na abstrakci, zapouzdření, skládání, delegování, dědičnosti a polymorfismu. (13)

standardní) elementy. Některé z těchto elementů jsou uživateli k dispozici též z lišty nástrojů (viz dále).

Také vzhled uživatelem vytvořených elementů může být měněn, též např. s využitím importovaných obrázků v podporovaných formátech. Tím je možné docílit věrného zobrazení simulovaných dějů.

Jednotlivé složky elementů, které jsou uživateli k dispozici, jsou následující (v přehledu uvádím nejprve český ekvivalent a v závorkách název použitý v anglické / německé verzi (nastavení) Plant Simulation):

- materiálový tok (MaterialFlow / MaterialFluss) – tyto prvky znázorňují jednotlivá pracoviště, montážní a demontážní stanoviště, dopravníky, otočné a kyvné stoly, zásobníky apod.,
- zdroje (Resources / Ressourcen) – tato složka obsahuje prvky typu cesta pro obsluhu, pracovník, směnný kalendář atd.,
- informační tok (InformationFlow / InformationFluss) – prvky v této záložce jsou např. metody (slouží k řízení chování příslušných prvků a částí modelu na základě zapsaného kódu v jazyce SimTalk), proměnné, tabulky (pro zápis informací různého typu) atd.,
- uživatelské rozhraní (UserInterface / Oberfläche) – elementy jako komentář, graf, počítadlo...,
- pohyblivé prvky (MUs / BEs)<sup>17</sup> – tato složka obsahuje tři druhy elementů, které jsou obrazem reálných objektů typu výrobek (polotovary, součást, díl, apod.), paleta a vozík. Smysl je ten, že vozík může být naložen několika paletami (nebo rovnou výrobky), každá paleta několika výrobky...,
- nástroje (Tools/ Tools) – obsahují zejména prvky usnadňující provádění experimentů s modelem. Například jsou to analyzátor úzkých míst, prvek umožňující zobrazení Sankeyova diagramu apod.
- modely (Models / Modelle) – v této složce jsou zařazeny jednotlivé sítě (pod svými názvy), ve kterých mohou být vytvořeny části modelu (submodely), nebo jednotlivé autonomní modely.

#### 4.5.2 Konzola

Konzola slouží k výpisu různých hlášení programu, která uživatele informují o důležitých dějích během simulace. Jde např. o chybová hlášení. Je též možno zadávat (pomocí zápisu programu v metodách) příkazy pro výpis požadovaných údajů do konzoly apod.

---

<sup>17</sup> Movable Units / Bewegliche Elemente

### 4.5.3 Panel nástrojů

Panel nástrojů slouží k rychlému přístupu k často používaným elementům, které jsou ovšem stejně tak dosažitelné z příslušné složky v knihovně tříd. Panel nástrojů má několik záložek, které obsahují příslušné elementy. Ty jsou tak seskupeny podle své funkce (záložka elementů materiálového toku, nosičů informací, záložka pracovníků a směnných kalendářů, záložka elementů představujících uživatelské rozhraní a konečně záložka nástrojů využitelných zejména ve fázi experimentování s modelem). Lze též vytvářet vlastní záložky z vlastních elementů.

### 4.5.4 Okno sítě

Je hlavní pracovní okno, kam se umísťují elementy při tvorbě modelu. Rastrová mřížka, velikost kroku stejně tak jako faktor měřítka vloženého pozadí (kterým může být např. soubor typu obrázků v podporovaném formátu) lze měnit, lze též vytvářet vlastní grafiku a popisky na pozadí modelu. Někdy je výhodné část modelu (např. problematický úsek) vytvořit ve zvláštní síti (Network / Netzwerk), kterou lze pak vložit jako submodel (resp. element) do libovolné jiné sítě (ve které je tvořen hlavní model). Pomocí speciálních elementů ze složky materiálového toku lze pak obě sítě provázat, navíc lze změnit vhodně grafiku vložené sítě, takže odpovídá lépe modelovanému zařízení (např. zvedák) - je možná dynamická změna grafiky v průběhu simulace. Tato poznámka týkající se možných změn grafiky jednotlivých stavebních prvků používaných v Plant Simulation platí obecně i pro jiné prvky (tedy nejen pro celé sítě). Je to další výhoda tohoto SW, díky které je možné znázornit velmi širokou škálu výrobních procesů tak, aby vizuálně co nejlépe odpovídaly procesům, ke kterým dochází v reálném systému.

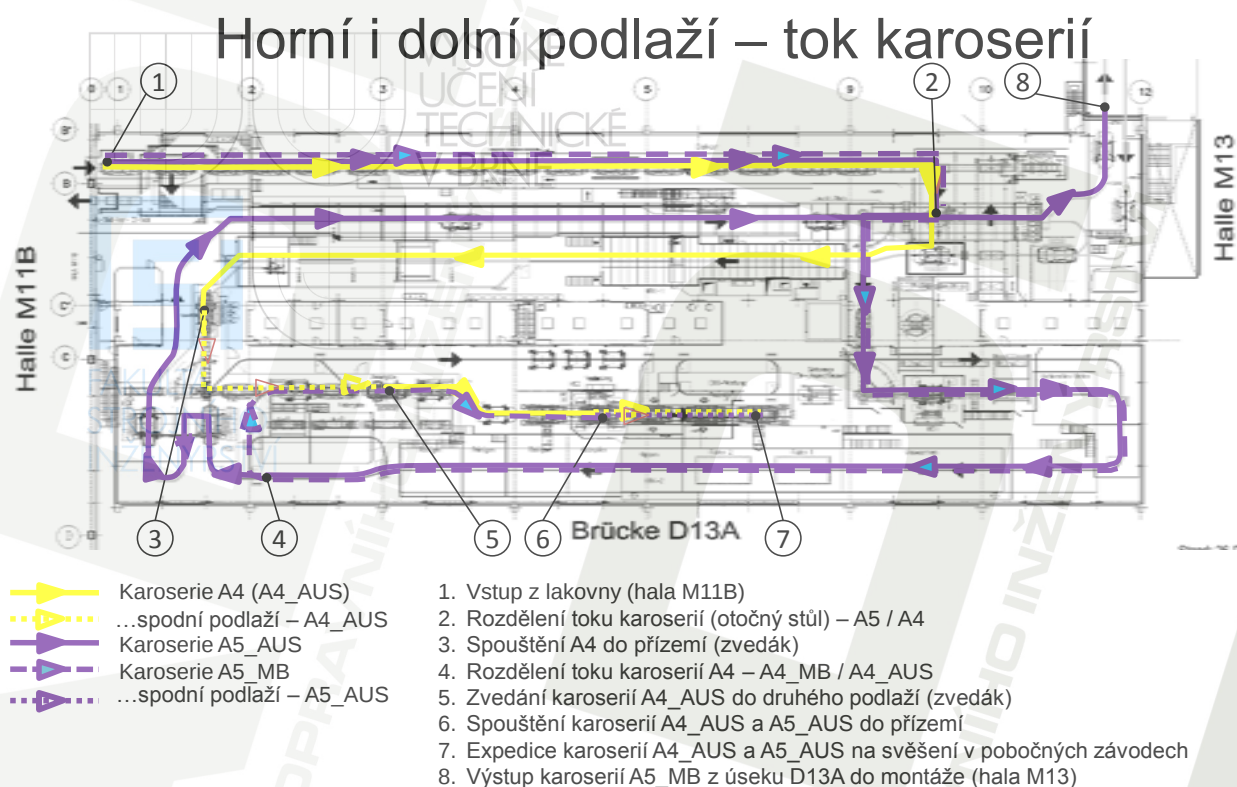
## 5 Současný stav výrobní oblasti D13A

V této kapitole jsou uvedeny základní informace o výrobní oblasti D13A. Jak již bylo poznamenáno, jde o dopravníkový most spojující halu lakovny (hala M11B) a navazující halu montáže (hala M13). Popis dopravníkového mostu je proveden s ohledem na využití zde uvedených poznatků pro účely tvorby simulačního modelu. Východiskem byla výkresová dokumentace D13A a také již existující simulační model v SimPro. Zvolená metoda popisu vychází z pohledu na oblast D13A jako na komplexní ohraničený systém – v tomto případě se jedná o systém manipulace s materiálem, konkrétně s karoseriemi. Popisy jednotlivých komponent tohoto systému jsou doplněny základními daty týkajícími se výroby, jejíž částí D13A je.

Vlastní materiálový tok je zde představován tokem karoserií automobilů modelové řady Octavia. Jde o vozy Octavia první i druhé generace s karoseriemi typu liftback i kombi. Z hlediska logiky řízení toku karoserií je důležité rozlišení generace vozu a dále skutečnost, zda je karoserie určena ke konečné montáži v závodě v Mladé Boleslavi (pouze pro vozy Octavia druhé generace) nebo v pobočných závodech. Označování pro jednotlivé typy karoserií, které bude také dále v práci používáno, je následující:

- **A4** ... karoserie vozu Octavia první generace, tyto karoserie jsou určeny výhradně k expedici na konečnou montáž v pobočných závodech (proto bude toto označení ekvivalentní s rozšířenou zkratkou **A4\_AUS**, přípona **\_AUS** vyjadřuje právě expedici mimo závod v Mladé Boleslavi),
- **A5** ... karoserie vozu Octavia druhé generace, tyto karoserie se dále dělí následovně:
  - **A5\_MB** ... karoserie určené k montáži v závodu v Mladé Boleslavi, tedy z dopravníkového mostu D13A pokračují do haly montáže M13,
  - **A5\_AUS** ... karoserie určené k montáži v pobočných závodech, tj. vystupují z úseku D13A společně s karoseriemi A4

Dopravníkový most D13A má jeden vstup (jde o halu lakovny M11B, ze které vstupují jednotlivé karoserie na pracoviště úseku D13A). V rámci oblasti D13A jsou nejprve na lince dekoru karoserie opatřeny ochrannými bočními lištami, nápisy (označení modelu na dveřích zavazadlového prostoru) apod. Tato a ostatní pracoviště budou blíže popsána dále. Následně je prováděna konzervace těchto karoserií (zaplavování, resp. stříkání dutin speciálním konzervačním přípravkem na bázi vosku). Výstupy z oblasti D13A jsou dva, a to výstup na montáž karoserií do pobočných závodů (tyto karoserie tedy budou až v pobočných závodech spojeny s podvozkem) a dále pak výstup do haly montáže (hala M13) – automobil je zkompletován v závodě v Mladé Boleslavi (druhá část označení karoserie je **\_MB**). Dopravníkový most je dvoupodlažní, výstup karoserií určených pro svěšení v pobočných závodech (včetně úseku předřazených pracovišť zajišťujících balení a expedici karoserií) je umístěn v přízemí. Blíže tento popis doplňuje následující Obr. 5-1.



Obr. 5-1 Rozbor toku karoserií ve výrobní oblasti D13A

Jak je z Obr. 5-1 patrné, dochází na několika místech toku karoserií k jejich identifikaci, na jejímž základě je tok dále rozdělen do různých směrů. Na Obr. 5-1 jsou tato místa označena pozicemi 2 a 4.

K identifikaci karoserií se používá TPS štítek (Tages-Produktion-Schild). TPS štítek je přinýtován ke karoserii na začátku úseku svařovny a obsahuje informace o čísle, typu a barvě karoserie a pořadové číslo v sekvenci výrobního závodu s označením závodu. (11)

Karoserie jsou v rámci úseku D13A dopravovány pomocí skidových a závěsových dopravníků, zvedacích zařízení a kyvných, resp. otočných stolů. (blíže technický a funkční popis těchto zařízení viz kapitola 3). Pro účely dekompozice dopravníkového systému je vhodné rozlišit navzájem dopravní trasy jednotlivých dopravníků.

V případě závěsových dopravníků lze v úseku výroby D13A rozlišit dva oddělené okruhy. Jsou to okruh závěsových dopravníků zasahujícího do D13A z haly montáže (tedy z haly M13) a dále okruh závěsových dopravníků lakovny. Dopravníky těchto dvou okruhů lze v reálné výrobě nejjednodušeji určit např. podle různé barvy jejich nátěru, ovšem liší se zejména svou konstrukcí, což je podstatné při programování logiky řízení např. zvedáků, kde je nutné zabránit kolizi karoserií s projíždějícími dopravníky apod.

Podstatná jsou rovněž oddělení, trasování a spojovací uzly těchto dvou dopravníkových systémů. Na následujícím obrázku Obr. 5-2 jsou vyznačeny trasy dvou okruhů závěsových dopravníků.

## Pohyb závěsových dopravníků



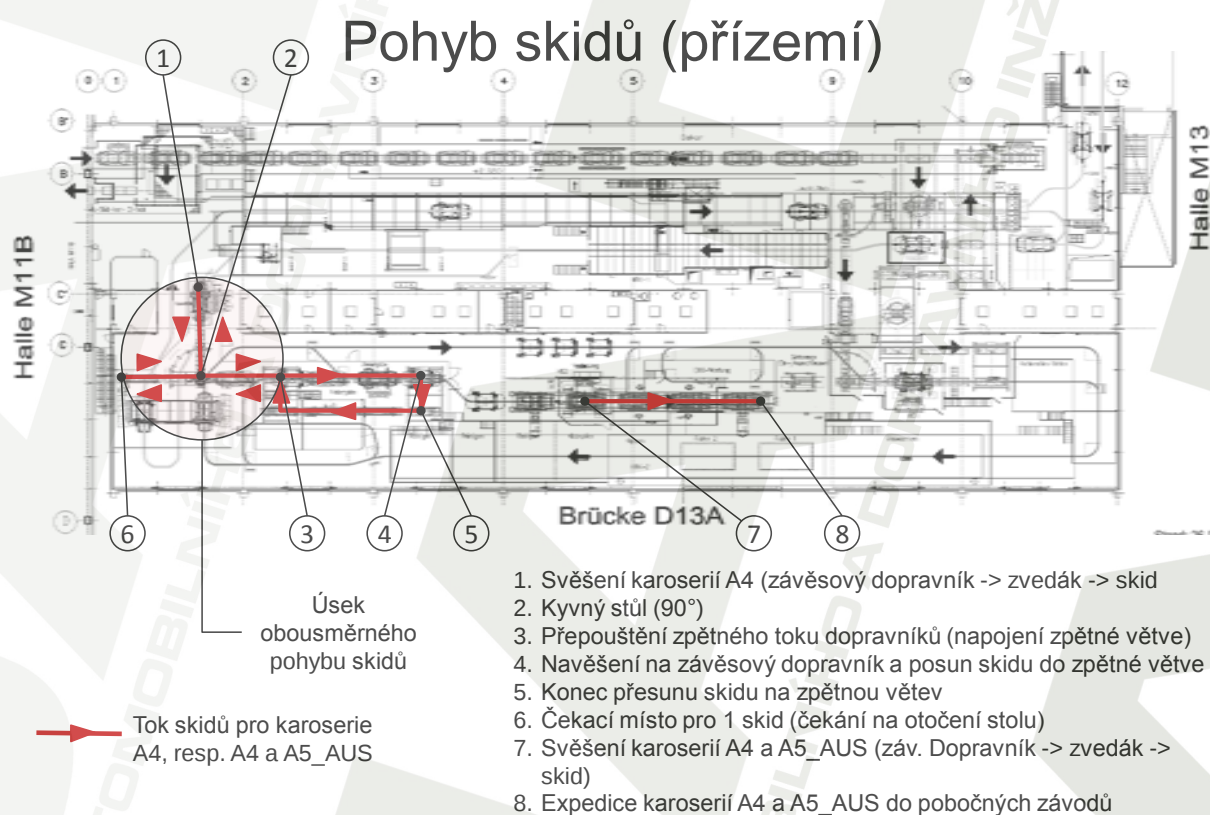
Obr. 5-2 Pohyb závěsových dopravníků v úseku D13A

Významné body v rámci tras obou druhů dopravníků mají přiřazeny pozice a jsou vysvětleny v legendě obrázku. Šipkami je pak znázorněn směr toku závěsových dopravníků (resp. závěsům s navěšenými karoseriemi). Vyznačeným zájmovým bodům (a dalším úsekům a místům) je v podkapitole 6.1.1 věnována zvláštní pozornost, zejména s ohledem na jejich logiku řízení, posloupnost jednotlivých dějů, ke kterým v rámci procesu manipulace s karoseriemi na daných místech dochází, atd. Na základě těchto poznatků získaných analýzou modelu D13A v SimPro a také přímým pozorováním těchto pochodů v reálném provozu jsou nastaveny příslušné parametry ve vytvářeném modelu v Plant Simulation.

Jak již bylo poznamenáno, část manipulace s karoseriemi ve výrobním úseku D13A se odehrává také pomocí skidových dopravníků. Jde jednak o vstupní úsek z lakovny (hala M11B), kde mezi jednotlivými pracovišti linky dekoru jsou karoserie posouvány na skidech. Tento okruh skidů však z pohledu sestavování simulačního modelu není příliš podstatný, neboť tyto skidy přísluší hale lakovny a jejich pohyb v simulaci nebude modelován (ve stávajícím simulačním modelu v SimPro není zahrnut). To samozřejmě neplatí o simulaci pohybu karoserií mezi jednotlivými pracovišti spojenými skidovým dopravníkem, kde jsou převzaty parametry těchto pracovišť z již existujícího modelu v SimPro.

Naopak pro celý model významné, a proto do simulace zahrnuté, jsou skidové dopravníky situované v přízemí D13A, které přepravují příslušné části trati karoserie typu

A4\_AUS<sup>18</sup> mezi dvěma mezipodlažními zvedáky označenými v Obr. 5-1 pozicemi 3 a 5. Tento systém skidových dopravníků je (ve své jisté části) obousměrný, jak ukazuje následující Obr. 5-3. Na tomto obrázku je vyznačen i druhý úsek skidových dopravníků (oba úseky jsou v přízemí), který je zakončen místem expedice nesvěšených karoserií A4 a A5\_AUS opatřených ochrannými obaly. V pravém slova smyslu v případě úseku balení karoserií již nejde o skidy, nýbrž o speciální palety, na které jsou karoserie spouštěny. Tyto palety jsou do pozice, která je předřazena místu spuštění karoserie zvedákem, umístovány pomocí paletového vozíku. Sejným vozíkem jsou pak tyto palety s již zabalenou karoserií odebírány z poslední pozice úseku expedice karoserií a vně haly pak dochází k jejich nakládce do přistavených návěsů. Vzhledem k tomu, že takt celé linky balení je cca 3 minuty, nehrozí zde výrazné riziko zpoždění dodávky nové prázdné palety a celou obsluhu skutečně může zajistit jediný paletový vozík.



Obr. 5-3 Pohyb skidů v přízemí dopravníkového mostu D13A

Součinnost skidových a závěsných dopravníků, tj. předávání karoserií (svěšování karoserií ze závěsových dopravníků na skid nebo naopak navěšení karoserie ze skidu na závěsový dopravník) se s ohledem na rozdíl výšek, ve kterých se pohybuje skidový, resp. závěsový dopravník, většinou uskutečňuje pomocí zvedáků (typ zvedacích zařízení uvedených v podkapitole 3.1.2). Z pohledu simulace průběhu tohoto předání jsou nejdůležitějšími parametry doba trvání zdvihu zvedáku (resp. výška a rychlost, zanedbáme-li

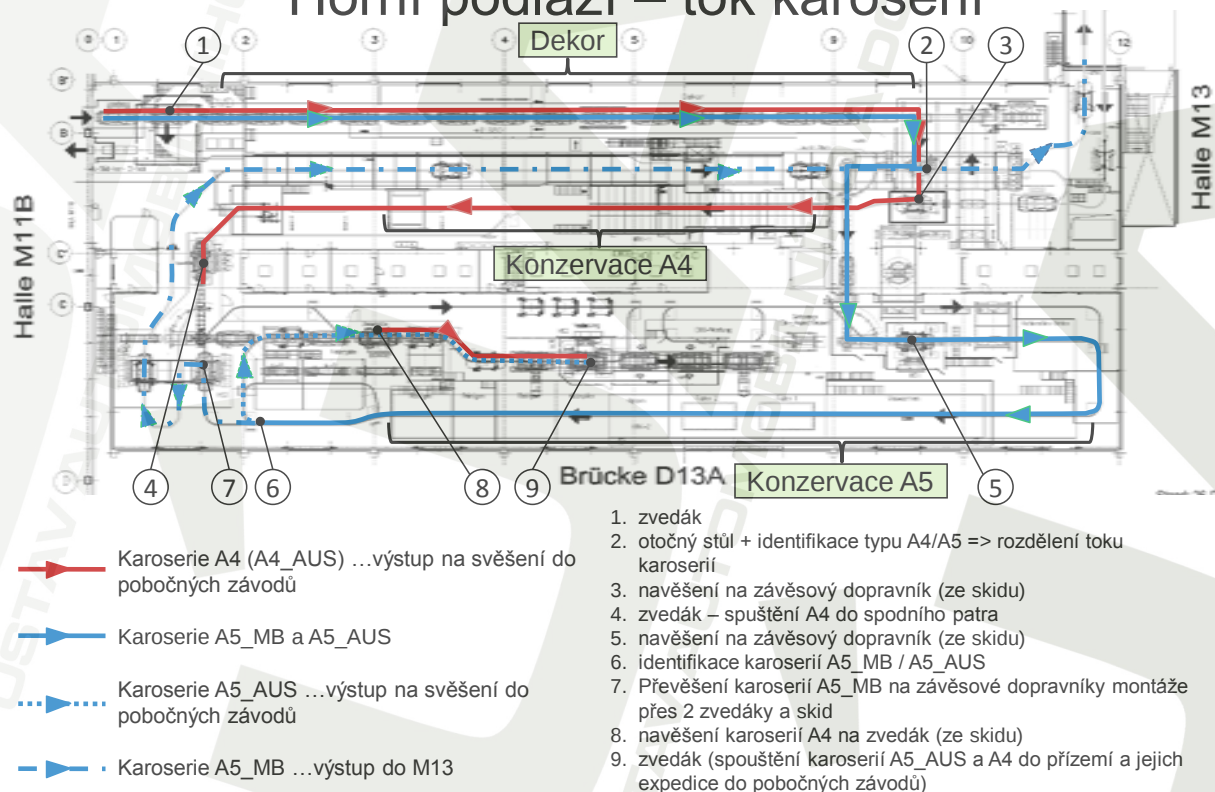
<sup>18</sup> resp. A4, příponu \_AUS lze vynechat, jak tomu v některých popisech např. dalších obrázků je, neboť karoserie A4 pro kompletaci v závodě v Mladé Boleslavi se neprodukuje

počáteční a koncové zrychlení, resp. zpoždění, z čehož lze dobu trvání zdvihu snadno dopočítat) a dále dobu trvání navěšování či svěšování, kdy je obvykle nutné zajistit uvolnění karoserie z předávajícího dopravníku a aretaci karoserie na přebírajícím dopravníku (zde se právě projeví rozdíl v konstrukci závěsových dopravníků lakovny a montáže, přičemž dopravníky lakovny mají spodní část konstrukce uloženou na kloubech a tak je zde minimalizováno riziko kolize s přebíranou nebo svěšovanou karoserií – jak již bylo uvedeno, s výhodou je této skutečnosti užito při programování posloupnosti jednotlivých manipulačních pohybů). Veškeré časové údaje jsou k dispozici již ve stávajícím modelu v Simpro, příp. je možné je ověřit (eventuelně aktualizovat) změřením trvání příslušných dějů přímo ve výrobě.

## 5.1 Popis průchodu karoserií dopravníkovým mostem D13A

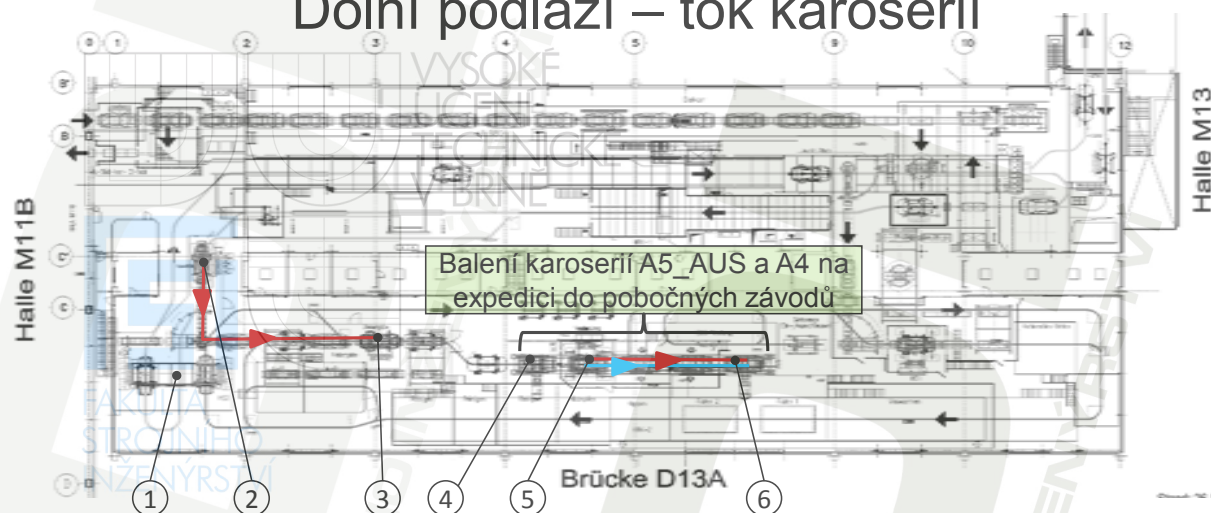
V této části práce bude ve stručnosti popsána část výrobního procesu, která se odehrává v oblasti dopravníkového mostu D13A, a to včetně příslušných manipulačních operací nutných pro přemístění karoserií mezi jednotlivými pracovišti v úseku D13A. Tento popis vychází z podmínek reálného provozu platných v době tvorby této práce. Jsou tak možné jisté rozdíly mezi tímto popisem a modelem vytvořeným v SimPro, který byl vytvořen na základě stavu platného v minulosti. Jak již bylo uvedeno úvodem kapitoly 5, v rámci dopravníkového mostu jsou situována pracoviště dekoru a dále pak pracoviště konzervace (dutin) karoserií. Následující obrázky slovní popis pracovišť doplňují.

### Horní podlaží – tok karoserií



Obr. 5-4 Tok karoserií a pracoviště v horním podlaží dopravníkového mostu D13A

## Dolní podlaží – tok karoserií



1. Skid přesuvného zvedáku pro přemístění karoserií A5\_MB na druhou část zvedáku  
 2. zvedák – spuštění karoserií A4 do spodního patra na skidy  
 3. Navěšení karoserií A4 na závěsový dopravník ze skidu (zvedák)  
 4. Místo vychystání volné palety přes zvedákem svěšení karoserií na linku expedice  
 5. Svěšení A5\_AUS a A4 z dopravníků na skidy (odtud expedice do pobočných závodů)  
 6. Místo odběru zabalených karoserií A5\_AUS do expedičního skladu
- Karoserie A4 (A4\_AUS)  
 — Karoserie A5\_AUS

Obr. 5-5 Tok karoserií a pracoviště v přízemí dopravníkového mostu D13A

Následuje přehled jednotlivých pracovišť těchto linek a způsobu manipulace s karoseriemi mezi nimi.

### 5.1.1 Linka dekoru

Linka dekoru následuje ihned za zvedákem, který spouští karoserie z lakovny (hala M11B) do úrovně této linky. Tato celkem představuje 15 pozic (tj. celkem může být v jednom okamžiku na pracovištích linky dekoru až 15 karoserií), kterými každá karoserie prochází v tomto pořadí (tedy ve směru toku karoserií):

- první tři pracoviště jsou pracovní pozice s manuální činností, první slouží pro vyjetí skidu s karoserií ze zvedáku (aby tento mohl najet zpět do horní pozice a odebrat z výjezdu lakovny další karoserii), na dalších dvou pracovištích se provádí vkládání vrstvy izolačního materiálu do konstrukce střechy a další operace.,
- následující pracoviště slouží k přejezdu karoserie na pátou (a následující) pozici,
- na páté až osmé pozici se upevňuje těsnění dveří, nápisy na karoserii apod.,
- na dalších dvou pracovištích (9 a 10) je karoserie opatřena bočními lištami (na dveřích),
- jedenácté pracoviště je kontrolní, pracovník podle etalonů může zkontrolovat kvalitu provedené práce. Při výjezdu z tohoto pracoviště jsou ještě lišty mechanicky přitlačeny na dveře, aby bylo zajištěno jejich dokonalé upevnění,

- na dvanáctém a třináctém pracovišti se provádějí další speciální úpravy karoserie podle typu a úrovně výbavy,
- poslední dvě pracoviště (14 a 15) jsou místy, kde je ke karoserii vyražen TPS štítek. Podle něj pak bude karoserie v dalších místech svého toku dopravníkovým mostem D13A identifikována.

Takt linky dekoru je 57 s. Na jejím konci je mezera pro nájezd kompletu karoserie – skid na příčný pásový dopravník, který skid s karoserií dále dopravuje k otočnému stolu za současné identifikace typu karoserie (na základě informací nesených TPS štítkem) – logika řízení otočného stolu rozlišuje karoserie A4 a A5 (zde dojde k rozdělení toků obou typů karoserií). Příčný pásový dopravník umožňuje (v případě, že následující otočný stůl je obsazen karoserií a blokován) zastavení dvou skidů s karoseriemi před otočným stolem.

### 5.1.2 Rozdělení toku karoserií na otočném stole

Tento bod toku karoserií odpovídá pozici č. 2 na Obr. 5-4. Jak je uvedeno na závěr předchozí podkapitoly, od tohoto místa probíhá průchod karoserií A4\_AUS (starší typ modelu Octavia) a A5\_MB spolu s A5\_AUS (současná generace modelu Octavia) odděleně. Na otočném stole dochází (bez ohledu na typ karoserie) k otočení skidu s karoserií o 180°, takže je zaručeno, že v následujících pracovištích v obou větvích toku budou karoserie postupovat svou přídílí vpřed. Rozdílný je však proces přemístění karoserií k těmto pracovištím.

V případě, že byla při nájezdu na otočný stůl identifikována karoserie A5\_AUS nebo A5\_MB, bude po otočení stolu předán skid s touto karoserií na následující kyvný stůl (není-li tento obsazen předchozí karoserií, tj. blokován v odvrácené pozici) a po navazující skidové dopravníkové trati přes další kyvný stůl bude sledovaná karoserie A5 předána na zvedák (opět za podmínky, že tento není obsazen předchozí karoserií a blokován v horní pozici) označený na Obr. 5-4 pozicí 5. Pokud je v horní pozici zvedáku přichystán volný závěsový dopravník, zvedák zdvihne karoserii do horní pozice, kde dojde k jejímu navěšení na tento závěsový dopravník (jde o dopravník okruhu lakovny). Poté, co je karoserie na dopravníku aretována, může být zvedák spuštěn dolů a přijmout tak další karoserii od předchozího kyvného stolu.

V případě, že se na otočném stole nachází karoserie A4\_AUS, bude (opět po otočení stolu o 180°) skid s touto karoserií pokračovat po příčném pásovém dopravníku až ke zvedáku označenému na Obr. 5-4 pozicí 3. Najetí skidu ke zvedáku je ovšem možné až tehdy, je-li tento zvedák v dolní pozici (a není-li obsazen předchozí karoserií). Poté, co dojde k přemístění karoserie na zvedák, se tento za podmínky, že jeho horní pozice není obsazena závěsovým dopravníkem (jde o dopravníky okruhu montáže), vysune s karoserií do horní pozice. Následuje příjezd volného dopravníku. Díky odlišné konstrukci těchto závěsových dopravníků zde tedy (na rozdíl od zvedáku pro navěšení karoserií A5 na závěsové dopravníky lakovny) nejprve dochází ke zdvihu zvedáku do volné horní pozice a pak teprve k nájezdu dopravníku, který karoserii převezme.

### 5.1.3 Linka konzervace karoserií A4

Zde bude ve stručnosti popsána sekvence pracovišť konzervace karoserií starší generace vozů Octavia a procesy, které tato pracoviště zajišťují. Jde o starší metodu konzervace karoserií stříkáním konzervační látky do dutin karoserie (na rozdíl od modernější metody tlakového zaplavování dutin karoserie rozehřátým voskem uplatněné na dále popsané lince konzervace karoserií A5). Výhoda metody stříkání jsou menší investiční náklady na výstavbu příslušné linky v porovnání s modernější metodou, na druhou stranu zaplavování dutin za tepla zajišťuje lepší zatečení konzervační látky do všech potřebných míst.

Celý úsek konzervace karoserií A4 zde představuje pracoviště, kde se provádí vstřik vosku do dutin karoserie. Protože použitá konzervační směs velmi rychle na vzduchu schne, je pro její dobré zatečení i do těžko přístupných dutin v karoserii zařazeno následující stanoviště, na kterém dojde k ohřevu karoserie. Ohřev infračerveným zářením zabezpečí dosažení teploty přesahující bod tání vosku. Pro zatečení vosku v tekutém stavu je na tomto pracovišti karoserie naklápěna pod jistým úhlem (nejprve přídí vzhůru, poté opačně přídí dolů). Jak bude uvedeno dále, následujícími úseky D13A projíždí karoserie A4\_AUS až k pracovištím balení pro dohotovení v pobočných závodech (situovaných v přízemí dopravníkového mostu) bez zásahu lidské obsluhy. Proto je zajištěn dostatečný časový prostor mezi ohřevem karoserie a dalšími manuálními pracovišti, který umožní potřebné ochlazení karoserie.

### 5.1.4 Linka konzervace karoserií A5

V případě karoserií A5\_MB a A5\_AUS, tedy karoserií pro vozy Octavia stávající generace, je pro jejich konzervaci použita již zmíněná modernější metoda zaplavování karoserií. Popis jejich pracovišť začnu od místa navěšení karoserií ze zvedáku na závěsové dopravníky (pozice 10 na Obr. 5-2 nebo také pozice 3 na Obr. 5-4). Celkově tato linka obsahuje 13 pozic (pracovišť), kterými karoserie procházejí v této sekvenci:

- první pracoviště, kde se ručně provádí konzervace dveří karoserie,
- druhé pracoviště, kde se chrání před stykem s konzervační látkou aplikovanou v následujících úsecích závity šroubů a děr umístěných z konstrukčních důvodů v podlaze karoserie,
- třetí pracoviště slouží k podobnému účelu, ovšem upravována je horní část (zejména střecha) karoserie,
- na následujících třech pozicích dochází k ohřevu karoserie (aby při následném zaplavování voskem tento lépe zatekl do jejích dutin). Je přitom dosaženo teploty převyšující 60°C,
- další pracoviště je zdvojené, zde se provádí vlastní zaplavování karoserie voskem. Zdvojení slouží pouze ke zvýšení spolehlivosti celého systému. V případě, že nedošlo k poruše, zůstává v činnosti trvale pouze první pracoviště úseku zaplavování. Druhé pracoviště se aktivuje až v případě, že na prvním nastala

porucha. Toto řešení snižuje riziko nedodržení taktu linky. Během zaplavování dosahuje teplota karoserie až 100°C,

- v následujícím úseku (devátá pozice linky) se provede naklonění karoserie (pro dokonalé zatečení konzervační látky do všech jejích dutin). Během takto vzniklé časové prodlevy stačí karoserie zchladnout na teplotu, která je z hygienických důvodů přípustná pro následující ruční opracování,
- dále tedy karoserie prochází úsekem ručního čištění povrchových ploch od vosku (na prvním pracovišti se provede očištění horní, na druhém pak spodní části karoserie, zejména dveřních prahů). Existuje zde možnost ručního dostřiku vosku. Pro tento případ pak slouží třetí pracoviště, což je také místo, kde probíhá očištění ploch karoserie, které nesmí být v dalších technologických operacích voskem znečištěny.

Takt linky konzervace karoserií A5\_MB a A5\_AUS je cca 75 s, v případě potřeby jej lze ještě o zhruba 1,5 s snížit. Na výjezdu z této linky dochází k identifikaci karoserií (rozlišují se karoserie pokračující na montáž do haly M13 – karoserie A5\_MB a karoserie svěšované do přízemí k expedičním pracovištím na dohotovení v pobočných závodech – A5\_AUS). Mimo to je ovšem ještě důležitá odbočná větev k pracovišti kontroly kvality (viz Obr. 5-2, pozice 12).

Toto pracoviště má kapacitu dvou karoserií (na první pozici je kontrolováno zaplavení dutin karoserie seshora, na druhé pozici pak konzervace spodních částí karoserie). Příslušný pracovník má možnost volby typu karoserie, která má být kontrolována (jde-li o karoserii typu liftback či kombi a v každém případě ještě zda jde o karoserii s úpravou pro podvozek 4x4). První karoserie odpovídající takto zvolenému typu, která při průchodu pracovišti dopravníkového mostu D13A dosáhne v předchozím odstavci zmíněného místa identifikace typu, bude na následující výhybce dopravníkové trati nasměrována na první pozici kontrolního pracoviště. Jeho obsluha tedy nemá možnost volby konkrétní karoserie pohybující se právě některým z úseků výroby, nýbrž pouze volbu typu karoserie. První taková, která se s tímto zvoleným typem shoduje, bude přemístěna na pracoviště kontroly. Rovněž tak ani obsluze výrobních pracovišť není známo, která konkrétní karoserie bude kontrolována, čímž je zajištěna objektivita celého procesu.

Popsaný výběr karoserií ke kontrole má ovšem jisté omezení. Karoserie typu A5\_MB totiž nemohou být kontrolovány, protože procházejí celým dopravníkovým mostem v přesně dané sekvenci, která nesmí být změněna z důvodu vychystání komponent ke kompletaci na pracovištích montážní haly M13. Na pracovištích montáže je tedy dodržena stejná sekvence vychystání těchto komponent, jaká je sekvence samotných karoserií A5\_MB, čímž je zajištěno dodržení kompletace požadovaných kombinací typu a barvy karoserie a výbavy celého vozu. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že kontrolu konzervace lze provádět pouze u karoserií A5\_AUS. Poté, co je zvolena některá taková karoserie a je odstavena na kontrolní stanoviště, vrací se do toku ostatních karoserií až v okamžiku, kdy nastalo (z jakého koli

důvodu) prodloužení taktu linky konzervace. Prioritu tedy má průchod dalších karoserií před návratem zkontrolované karoserie zpět do toku směrem k expedičním pracovištím v přízemí.

### 5.1.5 Přesuvný zvedák převěšení karoserií A5\_MB

Tento zvedák je uveden na Obr. 5-2 pod pozicí 6 a také jeho spodní část (přesuvný skid) na Obr. 5-5 jako pozice 1. Celý systém zde představují vlastně dva zvedáky, mezi kterými je v jejich dolní pozici přesuvná dráha skidu. Na tomto skidu je přepravena karoserie mezi oběma zvedáky. Účelem je převěšení karoserií A5\_MB ze závěsového dopravníku okruhu lakovny na volný závěsový dopravník okruhu montáže (tento dopravník je uvolněn poté, co svěsí karoserii A4 na zvedák, který je na Obr. 5-4 uveden jako pozice 4). Nejprve najíždí k horní pozici prvního ze zvedáků závěsový dopravník (lakovny) s karoserií A5\_MB. Zvedák, který je v horní poloze, tuto karoserii převezme a spustí se s ní do své spodní pozice (do přízemí D13A), kde je již připraven skid přesuvné dráhy, na který se sledovaná karoserie přemístí. Skid s karoserií pak přejede k druhému zvedáku, který karoserii převezme a vysune ji do své horní pozice. V okamžiku, kdy začíná tento zvedák vyjíždět s karoserií vzhůru, vrací se současně první zvedák ze spodní pozice zpět do pozice horní. Jakmile zvedák nesoucí nyní karoserii A5\_MB dosáhne své horní úvratě, je přivolán z čekací pozice volný závěsový dopravník (dopravník z okruhu montáže, který byl uvolněn po svěšení karoserie A4). Zároveň se vrací přesuvný skid směrem k prvnímu (volnému) zvedáku. Poté, co je karoserie navěšena na závěsový dopravník montáže, může být zvedák, který ji vyzdvihl, opět spuštěn do dolní pozice a celý proces se může opakovat.

### 5.1.6 Expedice karoserií A5\_AUS a A4 do pobočných závodů

Na těchto pracovištích probíhá balení karoserií umístěných na speciálních paletách tak, aby byly připraveny na přemístění do expedičního skladu, resp. naložení do návěsů nákladních automobilů přistavených na příslušné ploše vně dopravníkového mostu D13A. Důležitá stanoviště jsou uvedena na Obr. 5-5 pod pozicemi 4, 5 a 6.

Na pozici 4 je paletovým vozem vychystána volná paleta. Jakmile na následujícím zvedáku je připravena karoserie (A5\_AUS nebo A4) ke spuštění do přízemí, je tato paleta posunuta pod zvedák. Zvedák spouští karoserii i se závěsovým dopravníkem, je proto možné v jeho dolní pozici uvolnění karoserie z dopravníku (díky speciální konstrukci závěsových dopravníků okruhu lakovny) a usazení karoserie na paletu. Prázdný dopravník může být zvedacím mechanismem opět vysunut do horní pozice. Jakmile je na následujících dvou pracovištích zajišťujících ruční balení karoserií uvolněna pozice, vyjíždí paleta se sledovanou karoserií ze spodní pozice zvedáku na první pracoviště balení. Celkově jsou na balicí lince dvě manuální pracoviště. Poslední pozice slouží k odložení již zabalené karoserie (na paletě), kterou může převzít stejný paletový vůz a buď ji zaskladnit do expedičního skladu nebo přímo naložit do vychystaného návěsu nákladního automobilu vně mostu D13A.

### 5.1.7 Přemístění karoserií A5\_MB do haly montáže

Jakmile je karoserie A5\_MB převěšena na dopravník v horní části výstupní větve přesuvného zvedáku (uvedeného na Obr. 5-2 pod pozicí 6), je tato na závěsu přemístěna po dopravníkové dráze až k místu výstupu karoserií z úseku dopravníkového mostu D13A do haly montáže M13 (viz pozice 1 na Obr. 5-2). V případě, že nedojde k zaplnění některého z úseků této dopravníkové trati mezi těmito místy (a nenastane-li přestávka dle směnného kalendáře nebo porucha), karoserie plynule pokračují po celém tomto úseku bez zastavení. Právě možnost zaplnění tohoto úseku alternuje funkci zásobníku pro případ, kdy takt linek montáže je krátkodobě delší (jeho hodnota závisí zejména na typu pohonu a stupni výbavy konkrétního automobilu, který kompletací dané karoserie vznikne) nebo nastane porucha v úseku montáže, takže karoserie nejsou dostatečně rychle odebírány od přesuvného zvedáku převěšení karoserií A5\_MB.

Před výjezdem do haly M13 je nutné překonat výškový rozdíl mezi úrovní výstupní větve z D13A a vstupem do M13. To umožňuje speciální zvedák, na kterém je uchycen závěsový dopravník nesoucí A5\_MB, který se spouští do nižší pozice. Naopak při vstupu volných závěsových dopravníků okruhu montáže z M13A je potřeba vysunutí těchto dopravníků do vyšší polohy, ve které je umístěna navazující dopravníková dráha v D13A. Toto vysunutí zajišťuje obdobný mechanismus, který přichytí závěsový dopravník a vysune jej do horní polohy.

## 6 Praktická část práce

Úkolem bylo vytvořit v Plant Simulation takový simulační model, který by vykazoval shodné chování jako ten stávající v SimPro. Proces tvorby modelu zahrnoval několik po sobě následujících kroků:

- 1) Analýza stávajícího simulačního modelu v SimPro,
- 2) Tvorba pojmového modelu,
- 3) Tvorba nového simulačního modelu v Plant Simulation,
- 4) Validace vytvořeného modelu.

Celý proces byl iterativní, čili bylo nutné se několikrát v průběhu vrátit k některé z předchozích fází (časté bylo zejména ověření správnosti analýzy chování modelu v SimPro během tvorby modelu v Plant Simulation, kdy pojmový model zachycoval jen nejpodstatnější, ne však všechny aspekty modelu apod.). V poslední fázi šlo o ověření, že vytvořený model se chová shodně<sup>19</sup> s modelem v SimPro, tj. zejména, že simulovaný tok karoserií probíhá v obou modelech se stejnou logikou, dynamikou (časový průběh procesů se v obou modelech shoduje), apod.

Nahlížíme-li tedy na oba modely jako na systémy, lze uvažovat definici systémů se stejným chováním, jak ji uvádí např. (12):

Řekneme, že systémy  $S_1$  a  $S_2$  mají stejné chování právě tehdy, když platí, že ke každé dvojici vstupní a výstupní události  $(e_I, e_O)$  systému  $S_1$ , pro niž platí  $e_O = \xi_1(e_I)$ , existuje jediná dvojice vstupní a výstupní události  $(e'_I, e'_O)$  systému  $S_2$ , pro niž platí  $e'_O = \xi_2(e'_I)$ . Přitom  $\xi_1$ , resp.  $\xi_2$  jsou zobrazení vstupních událostí systému na výstupní události. Systémy mají tedy stejné chování, jsou-li reakce systému  $S_1$  na podněty z okolí stejné jako reakce systému  $S_2$  na stejné podněty.

V případě simulačních modelů jsou zobrazení  $\xi_1$  a  $\xi_2$  dána naprogramovanou logikou řízení (chování) jednotlivých prvků. Podněty zde mohou být chápány jako různé výrobní programy (poměry a sekvence druhů karoserií vcházejících do systému), z toho plynoucí nastavení taktů simulovaných linek a zejména pak v případě simulace poruch pracovišť a přestávek mezi směnami tyto události. Výstupní události, podle nichž bude možné vyhodnotit míru shody chování obou modelů, budou především průchody karoserií jednotlivými evidenčními body zanesenými do modelu. Evidenční bod (dále jen EB) je místo identifikace karoserie v průběhu výroby. Tyto body jsou rozmístěny ve výrobě od svařovny až po expedici hotových vozů. Data, která se na EB zaznamenávají, jsou datum a čas průchodu karoserie daným bodem, typ a identifikační číslo karoserie a název EB. Analýzou těchto dat lze odvodit např. dobu průchodu karoserie mezi jednotlivými EB.

Také do simulačního modelu jsou EB zahrnuty. Jak vyplývá z výše uvedeného, je důležité zachovat jejich rozmístění v novém modelu tak, jak je tomu v původním modelu v SimPro. Jedině tak je totiž možná validace nově vytvořeného modelu. Pro záznam potřebných

<sup>19</sup> Jak již bylo poznamenáno, je stanovena jistá míra přesnosti, s jakou je této shody dosaženo.

informací (zejména časových údajů) o průchodu karoserie daným prvkem v modelu v Plant Simulation lze využít metodu, tj. element typu metoda, (resp. do již existující metody připojit příslušné příkazy), která pomocí prvku *File Interface* exportuje data do samostatného textového dokumentu (ve formátu \*.txt). Tento dokument lze dále využít pro statistické zpracování v rámci simulačních experimentů. Zpracování je prováděno v aplikaci Analyzátor výroby Škoda Auto, a.s. (dále jen APP). APP je nástroj pro analýzu dat z různých datových zdrojů, jako jsou:

- reálné (fyzicky existující) výrobní systémy,
- simulační modely vytvořené pomocí různých softwarových nástrojů.

Ve shodě s jednotlivými dílčími činnostmi v rámci tvorby modelu jmenovanými na úvod této kapitoly dále popíši v následujících podkapitolách původní transformovaný model. Text je doplněn schématy a vývojovými diagramy (vytvořenými v rámci zpracování pojmového modelu) uvedenými zejména v přílohou části práce. Současně je popsáno řešení rozebíraných úseků v nově vytvořeném modelu v Plant Simulation. Další podkapitola je pak věnována verifikaci vzniklého modelu.

## 6.1 Rozbor současného modelu v prostředí simulačního software

### SimPro

V předchozích kapitolách uvedený popis toku karoserií dopravníkovým mostem D13A a popis jednotlivých pracovišť se opíral o údaje vycházející ze současného stavu v (reálném) výrobním úseku, nikoliv ze simulačního modelu. Přestože ve stávajícím modelu v SimPro nejsou zaneseny pozdější změny, ke kterým v úseku D13A došlo (např. instalace nových, konstrukčně odlišných, zvedáků při výjezdu karoserií A5\_MB do haly montáže), vycházela tvorba nového modelu zejména z toho stávajícího v SimPro. Lze však říci, že v zásadě stejný proces toku karoserií, jako je popsán v kapitole 5 a znázorněn na některém z obrázků uvedených v této kapitole, reprezentuje také model v SimPro a že odchylky tohoto modelu od současného stavu byly pro účely jeho transformace nepodstatné.

Bylo již naznačeno, že z celého procesu analýzy funkcionality modelu v SimPro představovala nejdůležitější fázi definice pravidel, podle kterých je tok karoserií a činnost jednotlivých prvků v modelu řízen. Za tímto účelem jsem nejprve stanovil relativně autonomní úseky toku karoserií, ve kterých jsem zkoumal logiku příslušných dějů odděleně od (podstatného) okolí těchto úseků. Šlo tedy v podstatě o topologickou<sup>20</sup> dekompozici simulačního modelu, jelikož kritériem pro vedení pomyslných řezů oddělující úseky zde byla minimalizace vlivů (vazeb) mezi vytýčeným subsystémem a jeho okolím (mezi daným úsekem modelu a jeho dalšími částmi). Příloha č. 1 ukazuje rozdělení toku karoserií na takovéto subsystémy. Je zde znázorněna hlavní část modelu, totiž úsek představující most

<sup>20</sup> Hlediskem topologické vazby je minimalizovat vazby dekomponované části systému s okolím. (4)

D13A. Aby byla dosažena správná funkce modelu (zkoumaný čas průchodu atd.), je však tento tok rozšířen ještě o jisté úseky toku karoserií v lakovně (tedy v hale M11B, před vstupem do D13A) a dále v hale montáže (M13). Tyto úseky nejsou v uváděné příloze zobrazeny, nicméně obsahují též několik speciálních míst materiálového toku, která budou rovněž popsána. Analýza chování modelu ve významných úsecích následuje dále. Jedná se již (zejména jde-li o přílohovou část práce) o výstupy fáze tvorby pojmového modelu.

### 6.1.1 Významné body a úseky toku karoserií

Tyto úseky znázorňuje Příloha č. 1. Zde budou popsány v pořadí shodném s označením příslušných míst pozicemi v této příloze. Popis je doplněn schématy zohledňujícími posloupnost příslušných manipulačních pohybů, náhledy na situaci v modelu v SimPro a vývojovými diagramy znázorňujícími logiku řízení příslušných částí modelu. Tato schémata jsou uvedena v přílohové části práce.

#### A) Vstupní sekvence karoserií (viz Příloha č. 1, pozice A)

V modelu SimPro prvek (tzv. Baustein) typu *Quelle* (zdroj) vytváří jednotlivé karoserie<sup>21</sup> v požadované sekvenci (časové i typové). Jde o karoserie A4\_AUS, A5\_AUS a A5\_MB. Jak v SimPro, tak v Plant Simulation lze nastavit v masce zdroje požadovaný poměr produkce těchto typů a dále, zda tato sekvence bude náhodná<sup>22</sup> (včetně charakteristik příslušného rozdělení pravděpodobnosti, resp. tzv. proudu náhodných čísel – viz poznámka 14 na straně 25) či pevně dána (tabulkou), v jakých časových intervalech budou karoserie do systému vpouštěny apod. Pokud jde o časové intervaly, je v obou modelech uplatněn push-princip, tj. zdroj produkuje karoserie kontinuálně, s nulovým taktem. Takt je pak determinován schopností prvků následujících (ve smyslu směru toku karoserií) tyto karoserie přijmout. Tyto prvky simulují linky a manipulační zařízení lakovny. Pokud tedy prvek není schopen v daném okamžiku převzít od zdroje karoserii, je zdroj blokován – atribut *blockiert*. (Opačná situace by nastala, kdyby prvek následující zdroj mohl od něj karoserii převzít, avšak vlivem např. nastaveného dlouhého taktu zdroje by tento danou karoserii ještě neodeslal. V tom případě by prvek za zdrojem byl ve stavu čekání – atribut *wartend*). Toto platí obecně pro libovolnou dvojici prvků, přes které je realizován materiálový tok.

Jak bylo naznačeno, v modelu jsou mezi zdrojem a prvky simulujícími tok karoserií v D13A vřazeny prvky představující linky lakovny a také dva zvedáky (spouštějící karoserie na linky v nižších úrovních). Jejich logiku řízení (resp. posloupnost manipulačních pohybů) tak, jak byla pojata v rámci pojmového modelu a implementována při tvorbě modelu v Plant Simulation, stručně okomentuji:

Situaci znázorňuje Příloha č. 2. Je v ní uvedeno též označení prvků, které je pak použito ve vývojovém diagramu logiky řízení a čísla představující dílčí manipulační pohyby,

<sup>21</sup> Přesněji prvky typu BEO, které zde představují karoserie.

<sup>22</sup> V případě náhodné sekvence druhů karoserií by v dostatečně dlouhém simulovaném období měl být dodržen poměr těchto druhů (resp. četnost výstupů ze zdroje). I to je předmětem experimentů s modelem.

včetně délky jejich trvání. Vývojový diagram logiky řízení pak uvádí Příloha č. 3. V případě, že nedochází k poruchám, prostojům a jiným nepravidelnostem v práci Zvedáku<sub>1</sub> a souvisejících prvků, probíhá pracovní cyklus (takt) následovně: Na St<sub>lack\_6</sub> najede karoserie na skid. Po přesunutí až na konec St<sub>lack\_6</sub> dojde k jejímu přeložení na Zvedák<sub>1</sub>, který je v horní pozici a prázdný čekal na toto přeložení. Poté je Zvedák<sub>1</sub> spuštěn s karoserií do dolní pozice, ve stejném okamžiku se uvolňuje nájezd na St<sub>lack\_6</sub> pro další karoserii. Obsazený zvedák v dolní pozici předá karoserii na (volný) prvek St<sub>lack\_7</sub> a poté, co tato karoserie St<sub>lack\_7</sub> opustí, navrací se prázdný zvedák zpět do horní úvratě, kde může převzít další karoserii od St<sub>lack\_6</sub>.

Jak je vidět na vývojovém diagramu viz Příloha č. 3, v jistých okamžicích dochází k vyhodnocování obsazenosti prvků, na které má být karoserie předána, resp. zda není některý prvek (zde zvedák) blokován, tj. nečeká na uvolnění prvku, na který má karoserii předat. Ve vytvořeném modelu v Plant Simulation je toto zajištěno pomocí globální proměnné (může jich být několik), jejíž hodnota určuje stav prvku (např. zvedák v horní úvratí připraven převzít karoserii od St<sub>lack\_6</sub>). Na základě hodnoty této proměnné se vyhodnotí podmínky zapsané do programového kódu metod. Ty jsou aktivované většinou při incidenci objektu (karoserie) se senzorem (naježdím přidí nebo zádí karoserie na senzor) na prvcích typu *Strecke* znázorňujících linky či úseky dopravníkové tratě, resp. při vstupu či výstupu prvku představujícího pracoviště zajišťují provedení potřebných pohybů (např. spuštění zvedáku). Je zřejmé, že umístění takových senzorů, rychlosti pohybu karoserií po linkách, trvání technologického procesu na pracovištích a další určují takto okamžiky, ve kterých požadované úkony nastanou. Vhodným nastavením těchto parametrů lze ovlivnit takt celé části modelu (zde zvedáku). To představuje potenciál optimalizace průchodnosti (prostřednictvím zkrácení taktu daného úseku). Je však třeba vždy zvážit, zda navrhovaná parametrizace je v praxi reálná. Nesmí být umožněn vjezd více karoserií na linku, než je kapacita této linky, nebo nastaveny nedosažitelné rychlosti manipulačních pohybů, takty pracovišť apod. Kontrolou správnosti parametrizace (částí) modelu jsou výstupy z APP v podobě statistik četnosti průchodů karoserií evidenčními body a další statistiky<sup>23</sup>.

Právě první prvek následující po zdroji je typu pracoviště. Určuje tedy (spolu s následujícími prvky) takt, se kterým budou karoserie od zdroje odebírány. Navíc se zde nachází první EB s názvem M100. Na vstupu prvku je inicializována metoda, která zaznamená do příslušného textového souboru průchod BEO (karoserie). Zaznamenává (podobně jak u EB v umístěného v reálné výrobě – viz úvod kapitoly 6) datum a čas průchodu, název EB, typ karoserie a její evidenční číslo.

---

<sup>23</sup> Tyto statistiky jsou výstupem váze verifikace modelu a dále pak výsledkem simulačních experimentů prováděných s modelem.

**B) Zvedák karoserií na vstupu do D13A (viz Příloha č. 1, pozice B)**

Jedná se o zvedák, který spouští karoserie z haly lakovny (M11B) na níže se nacházející linku dekoru, která je již v D13A. Protože logika řízení je velmi podobná předchozímu zvedáku, bude zde již popis stručnější.

Situaci znázorňuje Příloha č. 4. Opět jsou kromě jednotlivých pozic naznačeny také doby trvání příslušných manipulačních pohybů. Některé pohyby jsou však výsledkem proměnné parametrizace, proto nejsou vždy ve schématech důsledně uváděny. Jsou však důležité pro výpočet taktu popisovaných (skupin) pracovišť. V případě, že nedojde k poruchám nebo prostojům pracovišť, probíhá takt zvedáku následovně (viz také vývojový diagram logiky řízení, který zachycuje Příloha č. 5):

Na linku *St\_lack\_9* přijede skid s karoserií a dojde k předání na zvedák. Ten se následně spustí a v dolní pozici karoserii předá na pracoviště *Takt\_Dekor*. Odtud pak pokračuje karoserie na skidu po lince *DLZ\_Dekor*. Protože však pracoviště *Takt\_Dekor* i *DLZ\_Dekor* patří do skupiny *Dekor*, kde jsou definovány náhodné (resp. pseudonáhodné) poruchy a směnový režim, je třeba v logice řízení zajistit také možnost obsazenosti či poruchy pracoviště, na které má být karoserie předána apod. Na senzoru umístěném na počátku linky *DLZ\_Dekor* je aktivována metoda, která v případě spuštění zvedáku s karoserií do dolní pozice, kdy nemohla být tato předána z důvodu předchozí poruchy nebo přestávky na *Takt\_Dekor*, uvolní zvedák. Jde o rozhodnutí „Zvedák dole blokován“ uvedené ve vývojovém diagramu viz Příloha č. 5. Zvedák se pak prázdný může vrátit do horní pozice. V případě, že zvedák nebyl v dolní pozici blokován, metoda žádný příkaz neprovádí.

**C) Sekvence pracovišť linky dekoru (viz Příloha č. 1, pozice C)**

Do skupiny *Dekor* patří dva prvky, *DLZ\_Dekor* a *Takt\_Dekor*. Druhý jmenovaný je prvkem, na který vyjíždí karoserie ze *Zvedáku\_2* popisovaného v předchozím textu. Celkem je v modelu v *SimPro* osm skupin, které v sobě sdružují několik (minimálně jeden) prvků. Tyto skupiny představují jednotlivá pracoviště (nebo několik souvisejících pracovišť, linku), na kterých má být simulován směnový režim a výskyt poruch (v *SimPro* na kartě prvku v části *Störungen – Störparameter* a provázáním s prvkem typu *Entscheidungstabelle*). Navíc je možné nastavit (v novém modelu v *Plant Simulation* před spuštěním simulace) takty pracovišť těchto skupin.

Ve shodě s popisem linky dekoru v podkapitole 5.1.1 je možné charakterizovat také prvky, které v modelu v *SimPro* tato pracoviště představují. Protože tato pracoviště jsou rozmístěna podél skidového dopravníku představujícího tak výrobní linku o kapacitě dané počtem pracovišť (pozic), je linka dekoru (v obou simulačních modelech) zastoupena jediným prvkem (typu *Strecke / Úsek*, v *Plant Simulation* *Förderstrecke*). Oproti popisu ve zmíněné podkapitole, který vycházel z výkresové dokumentace na základě stávající situace, v modelech je kapacita prvku *DLZ\_Dekor* 16 karoserií. Prvek *Takt\_Dekor* má kapacitu 1 karoserie (resp. karoserie na skidu). Na *DLZ\_Dekor* je EB s názvem *Dekor*. Na vstupu prvku je umístěn senzor, který při incidenci s přídí najíždějícího objektu (skidu) spustí metodu zapisující potřebná data do textového souboru.

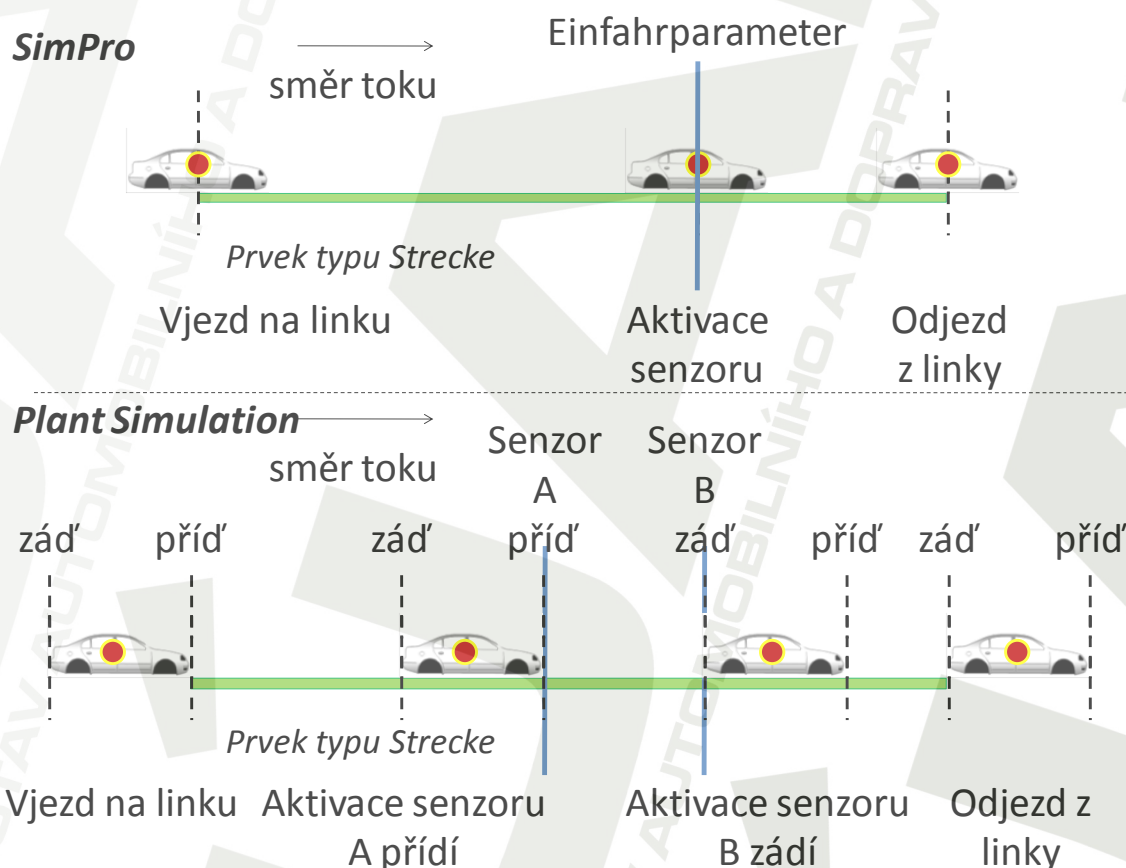
Na tomto místě uvedu jeden z rozdílů mezi SimPro a Plant Simulation, pokud jde o užití délkově orientovaných objektů (zde jsou na mysli pohyblivé prvky zmíněné v podkapitole 4.5.1) a simulaci jejich pohybu po prvcích ze třídy materiálový tok (zejména jde o prvek typu *Strecke*). Výklad ilustruje Obr. 6-1. V obou SW lze zadat délku (a další rozměry) objektu BEO (představující např. skid, závěsový dopravník, karoserii apod.).

Již bylo několikrát zmíněno, že v Plant Simulation (viz spodní část Obr. 6-1) pomocí senzorů umístěných v na některém místě prvku *Strecke* lze spouštět metody (vykonávající potřebné příkazy). Rovněž toho lze dosáhnout při vjezdu nebo výjezdu objektu z prvků (i jiných typů než *Strecke*). Spuštění metody (aktivace senzoru) se děje v okamžiku, kdy se příd' nebo zád' BEO (např. skidu) a senzor (resp. vstupní / výstupní brána prvku) dostanou do stejné polohy. Z rychlosti pohybu objektu a polohy senzoru tak lze vypočítat dobu od nájezdu objektu na prvek *Strecke* do aktivace senzoru. V Plant Simulation BEO najíždí na prvek svou přídí (ta je v tom okamžiku v zákrytu s počátkem prvku a ihned po přejetí je objekt BEO považován za obsah prvku). Odjezd z prvku (linky), tj. okamžik, kdy přestane být objekt registrován jako obsah tohoto prvku, nastává ale až poté, co zád' objektu projede koncem prvku. To způsobuje problémy, protože těsně před odjezdem zádi BEO z konce prvku stále tento BEO tvoří obsah tohoto prvku, přestože se již na něm fyzicky nevyskytuje. Bude-li kapacita prvku 1, nemůže tak další objekt najíždět na prvek. Dále je třeba si uvědomit, že (u prvku typu *Strecke*) je rychlost pohybu objektu dána jako parametr prvku (*Strecke* bývá užívána pro simulaci pásových dopravníků apod.). Pokud následují dva po sobě jdoucí prvky *Strecke\_1* a *Strecke\_2* s různými rychlostmi, bude se objekt pohybovat stejnou rychlostí jako na *Strecke\_1* i po nájezdu na *Strecke\_2*. A to do okamžiku, kdy tzv. *Buchungspunkt* objektu (na Obr. 6-1 označen červeným bodem se žlutým okrajem) projede počátkem *Strecke\_2*. Polohu bodu *Buchungspunkt* lze volit (musí být menší nebo rovna délce, resp. šířce objektu, v novém modelu v Plant Simulation je umístěn na střed objektů). To znamená, že vzdálenost od přídě objektu po jeho *Buchungspunkt* projede objekt po *Strecke\_2* rychlostí nastavenou na předchozí *Strecke\_1*. Má-li pak být v rámci *Strecke\_2* aktivován senzor, musí být jeho poloha správně nastavena tak, aby k aktivaci došlo v požadovaný okamžik od nájezdu na *Strecke\_2*. Nabízí se dvě možná alternativní řešení:

- Mezi *Strecke\_1* a *Strecke\_2* vložit pracoviště s nulovým taktem (aby nedošlo ke zdržení objektu při přemístění). V tom případě se bude objekt pohybovat po *Strecke\_2* „její“ rychlostí ihned od okamžiku incidence přídě objektu s počátkem *Strecke\_2*. V okamžiku (trvajícím nulový simulární čas), kdy se nachází objekt na tomto „izolačním“ pracovišti mezi *Strecke\_1* a *Strecke\_2*, nepatří do obsahu ani *Strecke\_1*, ani *Strecke\_2*. Pokud má být ovšem kapacita *Strecke\_1* a *Strecke\_2* konečná (např. rovna 1 a 1, tj. celkově 2), nesmí dojít k situaci, kdy bude na „izolačním“ pracovišti objekt a současně se budou pohybovat objekty po *Strecke\_1* a *Strecke\_2*. V tom případě by byla okamžitá kapacita 3.
- Nastavení délky objektu na 0m. V tom případě příd' i zád' (i *Buchungspunkt*) objektu splývají. Pokud se pak stane, že na některém senzoru se objekt zastaví

poté, co aktivoval příslušnou metodu přídí, při opětovném rozjezdu objektu bude tato metoda aktivována znovu, tentokrát žádí BEO. Řešením je změna hodnoty (vytvořeného) atributu objektu, podle které pak v rámci metody vázané na daný senzor bude ověřeno (např. pomocí příkazů IF - THEN), o který případ iniciace metody se jedná. Ve vytvářeném modelu jsou tímto způsobem modelovány zvedáky, kdy jejich stavy (např. „dole blokován“ uvedené ve vývojových diagramech logiky řízení) jsou zaznamenávány do lokálních proměnných. Na základě jejich hodnoty se pak provádějí potřebné příkazy.

SimPro nepracuje se senzory, nicméně též (např. formou tzv. *Einfahrparameter* a *Einfahrweg*) určuje např. délku úseku na následujícím prvku *Strecke*, který musí být volný, aby byl uvolněn vstup na předchozí prvek *Strecke*. Objekty (BEO) mají též přiřazeny rozměry, ovšem aktivace příslušných *Einfahrparameter* stejně tak jako změna rychlosti pohybu při přechodu na jinou *Strecke* apod. se děje v okamžiku, kdy se střed objektu nachází na příslušném místě (délce shodné s hodnotou *Einfahrparameter*, resp. počátkem *Strecke*). Na Obr. 6-1 v horní části (pro SW SimPro) je střed objektu vyznačen opět červeným bodem se žlutým okrajem. Rovněž obsazenost příslušné *Strecke* závisí na poloze středu objektu vůči této *Strecke*.



Obr. 6-1 Rozdíl SimPro vs. Plant Simulation u délkově orientovaných objektů

**D) Otočný stůl, identifikace typu karoserií A4 /A5 (viz Příloha č. 1, pozice D)**

Za DLZ\_Dekor (viz předchozí text) následuje prvek St\_1, což je úsek pro vyjetí skidu s karoserií z linky dekoru. Za tímto prvkem již následuje zde popisovaný otočný stůl, včetně nájezdových a výjezdových pozic. Ty v reálném provozu představují příčné přesuvné dopravníky, v SimPro jejich činnost simulují opět prvky typu *Strecke*. Situaci znázorňuje schematicky Příloha č. 6. Logiku řízení otočného stolu a souvisejících prvků pak prezentuje Příloha č. 7. Diagram začíná ve chvíli, kdy skid s karoserií dosáhne konce prvku DLZ\_Dekor. V případě, že následující prvek St\_1 sloužící k vyjetí z linky dekoru je volný, nastane vyjetí. Pokud je volný i prvek St\_2 představující příčný přesuvný dopravník, pokračuje karoserie po St\_2 k otočnému stolu. Kapacita St\_2 je 1 skid, tzn. karoserie na skidu může najet k otočnému stolu i v případě, že tento je již obsazen. Tehdy dojde k zastavení na konci St\_2 (v realitě k přizvednutí skidu excentrickým zvedákem nad gumové pásy příčného přesuvného dopravníku). Otočný stůl představuje místo větvení toku, které je v SimPro reprezentováno prvkem typu *Verwirbler*. Lze jej též užít k řízení slučování toku BEO z více vstupů. Tento prvek graficky nezobrazuje otáčení karoserie, nicméně simuluje příslušnou časovou prodlevu způsobenou v realitě pohybem stolu. Současně dojde k identifikaci typu objektu. Objekt typu A5\_MB nebo A5\_AUS (v Plant Simulation jde o atributy objektů, na jejichž hodnoty je možné se v metodách dotazovat) najede na St\_4, na jejímž konci přejede skid na kyvný stůl (jehož logika řízení je obdobná logice zde popisovaného otočného stolu, jen odpadá identifikace karoserií). Objekt A4\_AUS od otočného stolu pokračuje po St\_3, na jejímž konci nastává proces převzetí skidu zvedákem (viz Příloha č. 1, pozice E) a navěšení na závěsové dopravníky okruhu montáže. Nájezd na St\_3 je možný pouze za podmínky, že zvedák je v dolní pozici, a není obsazen (je tedy schopen karoserii převzít). Pokud není výstup z otočného stolu volný (jak St\_3, tak St\_4 mají kapacitu 1 skid), zůstává do jeho uvolnění skid s karoserií na otočném stole. I ten má tedy akumulární funkci. Na podobném principu, jako byl vyložen v případě zvedáků, i zde v okamžiku odjezdu skidu z úseku, který byl obsazen, je formou metody ověřováno, zda předchozí prvek nebyl vinou obsazení příslušného úseku blokován. V takovém případě dojde k odblokování (najezení skidu z původně blokováného prvku na uvolněný úsek). Okamžiky, ve kterých jsou potřebné metody aktivovány, opět závisí na rychlosti pohybu objektů po prvcích a (v Plant Simulation) na poloze senzorů vázajících tyto metody. Změnami lze opět dosáhnout optimalizaci taktu celé skupiny prvků.

**E) Zvedák karoserií A4, navěšení na závěsové dopravníky okruhu montáže (viz Příloha č. 1, pozice E)**

V SimPro jde opět o zvedák, tedy o prvek typu *Regalbediengerät* (RGB). Zde je však logika řízení komplikovanější, protože v horní pozici zvedáku dochází k přejíždění prázdných závěsových dopravníků (jde o dopravníky okruhu montáže), které jsou volány v případě, že jejich počet mezi zde popisovaným zvedákem a zvedákem přesuvné stanice (viz Příloha č. 1, pozice H) bude nižší než stanovená hranice (ta je v obou modelech 13 dopravníků). Pokles

počtu závěsových dopravníků je způsoben právě navěšením karoserií A5\_MB na výstupu zvedáku přesuvné stanice a odjezdem dopravníku směrem k hale montáže.

Schematicky proces navěšení A4 v jednotlivých krocích zachycuje Příloha č. 8. Logiku řízení pak znázorňuje Příloha č. 9. Vývojový diagram začíná v okamžiku, kdy z otočného stolu má sjet ke zvedáku skid s A4 a ověřuje se, zda zvedák je v dolní pozici a prázdný (jinak skid z otočného stolu nesjede). Zvedák totiž může být v dolní pozici obsazen. Tato situace nastane v okamžiku, kdy na počátku linky konzervace A4 stojí závěsový dopravník (v tom případě je již hodnota proměnné HPZ volno *false* – v Plant Simulation jde o globální proměnnou přístupnou pro metody příslušných prvků). V případě opačné hodnoty *true* může zvedák vysunout další karoserii a navěsit ji na zvedák (který ve své horní poloze přivolá), tento však nemůže pokračovat přesunem k lince konzervace A4, neboť zde již zastavil předchozí dopravník. Nyní již je tedy hodnota HDZ *false* a v tom případě je další vysunutí zvedáku zakázáno. Po navěšení však zvedák sjíždí dolů, kde může ještě převzít další karoserii A4 od otočného stolu.

Bude-li dále obsazen karoserií A4 také otočný stůl, dochází k zablokování i všech prvků mezi zdrojem karoserií a zvedákem (v reálném provozu od provozu lakovny přes vstup do D13A až po zvedák). K odblokování dojde až v okamžiku, kdy závěsový dopravník na počátku linky konzervace A4 (která je v SimPro modelována prvkem SD\_1 simulujícím řetězový dopravník s konstantní vzdáleností mezi přepravovanými objekty, tj. neakumulační) se v důsledku uvolnění dále následujícího úseku rozjede. K uvolnění úseku dále za dopravníkem ovšem dojde pouze tehdy, bude-li na zvedáku přesuvné stanice (Příloha č. 1, pozice H) převěšena karoserie A4\_MB, a na prázdné místo vzniklé po závěsovém dopravníku, jenž navěsil A4\_MB, najedou dopravníky, které byly blokovány za ním (nakonec včetně obsazeného dopravníku na počátku linky konzervace A4 blokujícího zde popisovaný zvedák).

Může se ovšem stát, že k převěšení A4\_MB na zvedáku přesuvné stanice nedojde, protože v okruhu závěsových dopravníků lakovny (viz Obr. 5-2 na str. 32) se žádná karoserie A5\_MB nenachází. Do okruhu dopravníků lakovny se totiž A5\_MB dostávají společným tokem s ostatními karoseriemi přes otočný stůl. Ten však, pokud je blokován a obsazen karoserií A4, nemůže přepouštět karoserie A5 do příslušného okruhu.

Již bez experimentů lze tedy vidět, že otočný stůl je úzkým místem<sup>24</sup>. V případě zablokování vstupu konzervace A4, horní pozice zvedáku, obsazení zvedáku v dolní pozici a obsazení otočného stolu (vše karoseriemi A4) za situace, kdy nedojde k převěšení A5\_MB na dopravník úseku montáže na zvedácích přesuvné stanice, dochází k zablokování celého dopravníkového systému. Stačí tedy, aby zvolený výrobní program (tj. v simulačním modelu sekvence typů karoserií generovaných zdrojem) neobsahoval typ A5\_MB a v okamžiku nájezdu čtvrté karoserie A4 dochází k obsazení otočného stolu (další místa toku A4 budou již obsazena) a tím k zablokování systému. Nebezpečí zablokování však hrozí i v případě, kdy

<sup>24</sup> Ne nutně z hlediska průchodnosti či doby průchodu, zde je na mysli zejména nebezpečí jeho zablokování.

výrobní program zahrnuje též A5\_MB, avšak v malém poměru vzhledem k vysoké četnosti A4. To způsobí právě situaci, kdy v okruhu závěsových dopravníků lakovny nebude aktuálně A5\_MB (všechny A5\_MB budou před zablokovaným otočným stolem a do okruhu dopravníků lakovny neprojdou). V kapitole 6.4 zmiňují možné úpravy (spíše stavebního rázu), které by toto nebezpečí zablokování systému mohly omezit.

#### **F) Konzervace karoserií A4\_AUS – sekvence pracovišť (viz Příloha č. 1, pozice F)**

Poté, co jsou karoserie A4 navěšeny pomocí zvedáku (popsaného v předchozí části) na závěsové dopravníky, posunují se na těchto dopravnících (okruhu montáže) linkou konzervace (označenou na Obr. 5-4 na str. 34 jako Konzervace A4). V SimPro jsou tato pracoviště modelována dvěma po sobě následujícími prvky typu *Strecke*, které mají kapacitu 3 a 2 dopravníky (ty mohou, ale nemusí být obsazeny karoseriemi<sup>25</sup>). Funkce obou prvků je ovšem *Fließband*, tzn., že je zachována vzdálenost po sobě následujících dopravníků (BEO pohybujících se po těchto prvcích). Účelem je simulovat pohyb závěsového dopravníku, kdy mezi závěsy je konstantní vzdálenost (dopravníková trať není akumulací). V případě nejnižší možné vzdálenosti mezi dopravníky je tedy celková kapacita (obou prvků v SimPro dohromady) 5 dopravníků, ovšem v situaci, že např. další dopravník začne najíždět na prvek o kapacitě 3ks ve chvíli, kdy předchozí dopravník je již na konci prvku, kapacita nebude využita.

Oba prvky jsou navíc v SimPro sdruženy do skupiny s označením *HRK*, kde je možné parametrizovat rychlost pohybu objektů přes prvky (a tím simulovat různé nastavení taktu příslušné linky) stejně jako simulovat náhodné výskyty poruch na těchto pracovištích a směnový režim. (Je to podobné jako u dříve popisovaných prvků *Takt\_Dekor* a *DLZ\_Dekor* patřících do skupiny *Dekor*). Za prvky představujícími pracoviště konzervace A4 následuje prvek simulující výhybku. Prázdné závěsové dopravníky jsou totiž odesílány do zásobní větve prázdných dopravníků (v SimPro jde o tři navazující prvky *Strecke* o celkové kapacitě 6 (prázdných) dopravníků. Oproti tomu závěsové dopravníky obsazené karoseriemi A4 pokračují do větve s prvky typu *Verkettete Bearbeitungsstation* a *Bearbeitung im Durchfluss*, které mají simulovat pracoviště ohřevu karoserie (pro dokonalé zatečení konzervační směsí do dutin – viz podkapitola 5.1.3). Pro tyto prvky je typické simulování nájezdu karoserie do pracovní pozice (nájezd trvá danou dobu  $t_{\text{nájezd}}$ ) a setrvání na pracovní pozici (po daný čas  $t_{\text{technologie}}$ ).

Ve vytvářeném modelu v Plant Simulation bylo nutné zajistit správnou parametrizaci taktu obou prvků patřících do analogicky vytvořené skupiny *HRK*, kdy stejně jako v případě skupiny *Dekor* je možné před spuštěním simulace měnit požadovaný takt. Problematické však bylo řešení poloh příslušných senzorů a dodržení kapacit rozebíraných již v části C), viz též Obr. 6-1. Zde se totiž právě jedná o dva po sobě následující prvky typu *Strecke* s pevně danou

<sup>25</sup> Úsekem projíždějí též prázdné závěsové dopravníky okruhu montáže, pokud jejich počet mezi zvedákem A4 a zvedákem přesuvné stanice poklesl pod hranici stanovenou v SimPro na 13 ks.

(maximální) kapacitou, navíc neakumulační (BEO na prvku dodržují stejnou vzdálenost). Na vstupním prvku je v modelu Plant Simulation použit senzor inkrementující počet závěsových dopravníků přepuštěných od předchozího zvedáku popsaného v části E). V případě dosažení hodnoty 13 již nebudou přepouštěny volné závěsové dopravníky, protože v tom okamžiku bude v celém úseku mezi zvedákem a zvedákem přesuvné stanice (viz Příloha č. 1, pozice E a H v příslušném pořadí) dosažen jejich požadovaný počet. Ten je snižován při odjezdu závěsového dopravníku od zvedáku přesuvné stanice a teprve při poklesu pod 13 je přepouštěn další volný závěsový dopravník (ovšem jen v případě, že tím nevznikne kolize se zvedákem popisovaným v předchozí části E)). Nicméně závěsové dopravníky, které od zvedáku převzali karoserii A4 mohou najíždět do úseku konzervace A4 i v případě, že se v něm (spolu s odbočnou větví pro volné závěsové dopravníky) již 13 dopravníků nachází.

#### **G) Svěšování karoserií A4 do přízemí, tok skidů v přízemí (viz Příloha č. 1, pozice G)**

Svěšování karoserií A4\_AUS poté, co projedou sekvencí pracovišť popsanou výše v části F), je modelováno v SimPro opět pomocí zvedáku. V přízemí, kam jsou karoserie spouštěny, poté dochází k přeložení na skidy. Pohyb těchto skidů je též vyznačen na Obr. 5-3 na str. 33). Příloha č. 10 zde popisovaný úsek modelu schematicky zobrazuje spolu s popisem hlavních pozic, který je použit ve vývojovém diagramu logiky řízení příslušných manipulačních úkonů. Tento diagram znázorňuje Příloha č. 11.

Vývojový diagram začíná v okamžiku, kdy nad zvedák (na pozici Z) přijíždí závěsový dopravník. Pokud na předchozích čekacích pozicích jsou k dispozici jak volné dopravníky (ve větvi pro prázdné dopravníky), tak dopravník s A4 (ve větvi s pracovišti ohřevu za konzervací A4), přednost dostává obsazený dopravník (s karoserií). Nájezd volného dopravníku je možný jen tehdy, je-li volná čekací pozice za zvedákem (pozice P3) – volný dopravník nesmí nad zvedákem zastavit. Uvolňování pozic P3, P4 a P5 se děje v důsledku převěšování karoserií A5\_MB na zvedáku přesuvné stanice (pozice ZPS). V případě, že nad zvedák pro A4\_AUS přijel dopravník s A4\_AUS, dojde ke svěšení. Prázdný dopravník pak může (v okamžiku uvolnění P3) opustit pozici Z. V tom okamžiku je možné spuštění zvedáku s A4 do dolní pozice, ale jen tehdy, je-li v dolní pozici vychystán skid, který karoserii převezme. Logiku řízení toku skidů, zejména nájezd na pozici S, tj. pod zvedák, popisuje Příloha č. 12). V případě, že volný skid není k dispozici, čeká obsazený zvedák v horní pozici do doby, než bude volný skid na pozici S přisunut. V tom případě ovšem není možný přesun dalších závěsových dopravníků (ani těch prázdných) z čekacích pozic přes pozici Z ke zvedáku přesuvné stanice. To může způsobit zablokování zvedáku přesuvné stanice, kdy zde čeká karoserie A5\_MB na navěšení na volný závěsový dopravník (nejsou-li pozice P3, P4 i P5 obsazeny). V okamžiku, kdy je zvedák Z v dolní pozici (ZD) a převěsil karoserii na volný skid (pozice S), může proběhnout jeho zpětný zdvih. Současně se započítáním zdvihu se uvolní nájezd dalšího dopravníku s A4 od čekací pozice P1, je-li ovšem tato obsazena (to je možné proto, že nájezd P1 → Z trvá déle než zdvih zvedáku, je tedy zajištěno, že v okamžiku dojezdu dopravníku na Z bude již zvedák v horní pozici).

**H) Zvedák přesuvné stanice (viz Příloha č. 1, pozice H)**

Jedná se vlastně o dva zvedáky, mezi jejichž dolní pozicí vykonává vratný pohyb skid. Protože však pohyb je stejný jako u zvedáku (ovšem v horizontálním směru), je příslušný prvek v SimPro opět typu RGB. Ten tak zajišťuje přesun karoserie A5\_MB (svěšené prvním zvedákem ze závěsového dopravníku okruhu lakovny) ke druhému zvedáku, který ji z přízemí vyzdvihne a navěsí na závěsový dopravník okruhu montáže. Schematické zakreslení situace viz Příloha č. 13. Zde jsou také znázorněny doby trvání jednotlivých manipulačních pohybů. To je významné především pro logiku řízení, která byla přenesena do modelu v Plant Simulation (viz dále). Tuto logiku zobrazuje Příloha č. 14.

Doby (resp. rychlosti) pohybů jednotlivých prvků zajišťují plynulou činnost celé skupiny. Nicméně, jak ukazuje vývojový diagram logiky řízení, jsou (do modelu v Plant Simulation) implementovány (v příslušných metodách) příkazy, které ověřují obsazenost příslušných pozic, polohu zvedáku atp. Přestože tedy například v okamžiku, kdy se vysunuje volný pravý zvedák do horní pozice, se současně uvolní vjezd k P6 pro dopravník s A5\_MB, v horní pozici pravý zvedák ověřuje, zda není P6 již dopravníkem obsazena apod. Tím je zamezeno, aby nastala situace, kterou by logika řízení nerozpoznala (v takovém případě dochází k chybě v běhu simulace). Ověření, že v průběhu simulace nedojde ke stavům, které logika řízení některých prvků nedefinuje, je součástí validace modelu (viz kapitola 6.2).

Jak již bylo zmíněno, po navěšení A5\_MB na závěsový dopravník okruhu montáže (na výstupu ze skupiny prvků tvořící zvedák přesuvné stanice) je dekrementován počet závěsových dopravníků v úseku mezi zvedákem popisovaným v části E) a zvedákem přesuvné stanice. Je třeba, aby v každém okamžiku bylo v tomto úseku min. 13 dopravníků. Pokud tedy dojde k poklesu pod tuto hodnotu, je vydán (v příslušné metodě v modelu v Plant Simulation) příkaz k přepuštění volného závěsového dopravníku, který je zastaven v čekací pozici před zvedákem E (viz Příloha č. 8, pozice CP). Vykonání příkazu je podmíněno několika stavy, jak ukazuje vývojový diagram logiky řízení (symbolizující algoritmus příslušné metody) viz Příloha č. 15. Čísla v rozhodovacích bodech diagramu odpovídají manipulačním úkonům popsáným pod diagramem. Příloha č. 8 používá stejné označení odpovídajících úkonů. Přejezd volného dopravníku nad zvedákem je tedy možný jedině tehdy, pokud ve stejném okamžiku, kdy byl snížen počet dopravníků v následujícím úseku pod 13, nedochází k nájezdu skidu s A4 do dolní pozice zvedáku, zvedák není v dolní pozici obsazen nebo neprobíhá jeho vysunutí s A4 do horní pozice a také pokud není již v horní pozici jiný závěsový dopravník. V rámci experimentování s modelem jsem některé tyto podmínky odstranil a porovnal průchodnost modelu původního a takto upraveného.

Některé z těchto podmínek jsou totiž fakultativní, neboť např. v době, kdy by najížděl skid k dolní pozici zvedáku (úkon č. 1), může teoreticky k přesunu dopravníku dojít. V okamžiku jeho přejezdu nad zvedákem je ovšem hodnota proměnné HPZ volno rovna *false* (horní pozice zvedáku je obsazena dopravníkem) a dokud dopravník nepřejede až k počátku linky konzervace A4 (viz Příloha č. 8, označeno jako PL), bude tato hodnota bránit ve vysunutí zvedáku s A4 do horní pozice. Zákaz přejezdu dopravníku již během najíždění A4

z otočného stolu ke zvedáku vychází z toho, že po navěšení této karoserie na závěsový dopravník bude dopravník po projetí konzervací A4 a po svěšení A4 do přízemí k dispozici pro zvedák přesuvné stanice (podobně jako by byl volný závěsový dopravník), navíc zajistí odblokování otočného stolu, ze kterého sjede A4 a nebude tak zablokována předchozí linka dekoru. Nicméně jde o jeden z možných předmětů experimentování, totiž vyšetřit, při jakých výrobních programech (mixech typů karoserií na vstupu) je výhodné tuto podmínku využít a kdy naopak může zbytečně brzdit nájezd dopravníku (přejezd volného dopravníku přes oblast zvedáku trvá kratší čas než čekání dopravníku na nájezd skidu s A4 od otočného stolu ke zvedáku, zdvih zvedáku, nájezd dopravníku do horní pozice zvedáku, navěšení, spuštění prázdného zvedáku zpět do dolní pozice a až následné pokračování závěsového dopravníku).

#### **I) Spojení toku karoserií A4\_AUS a A5\_AUS, navěšování A4\_AUS do horního podlaží (viz Příloha č. 1, pozice I)**

Oba uvedené typy karoserií jsou určeny pro expedici do pobočných závodů. V modelu tedy existuje místo, kde se toky obou typů karoserií spojují. To zajišťuje v SimPro prvek *Verteilwagen*. Situace je ovšem ještě komplikovanější v tom, že je simulována simultánní činnost zvedáku (navěšující A4\_AUS z přízemí na volné dopravníky okruhu lakovny) a tok skidů v přízemí. V tomto případě tedy bylo nutné vytknout poměrně rozsáhlý soubor prvků, které ve smyslu topologické dekompozice tvoří autonomní subsystém. Schematické zobrazení, jakož i ukázka příslušné části v modelu v SimPro viz Příloha č. 16 a jako obvykle nechybí popis zkratk použitých v následujícím rozboru logiky řízení. Manipulační pohyby prvků (resp. jejich simulace) jsou navzájem řízeny v závislosti na poloze a obsazenosti dalších prvků. To ukazuje Příloha č. 17.

Rozbor začíná v okamžiku obsazení prvku rozdělující tok A5\_MB a A5\_AUS (v SimPro prvek typu *Verteilwagen*, v Plant Simulation prvek *Flusssteuerung*, kde na výstupní metodě je určen následovník, na který je objekt BEO předán). Kritériem při výběru následujícího prvku je typ karoserie – A5\_MB pokračuje ke zvedáku přesuvné stanice na převěšení na závěsové dopravníky montáže, zatímco A5\_AUS je přeposlána do větve směřující k pozicím P9, P10 a dále (označení viz Příloha č. 16). Ve vývojovém diagramu je zachycena i logika pohybu dopravníků po prvcích (simulujících úseky dopravníkové tratě specifické např. rychlostí pohybu dopravníků apod.). Kontrola obsazenosti následujícího úseku před jeho obsazením je v souladu s popisem činnosti senzorů a tzv. *Einfahrparameter* v SimPro uvedeným v části C).

Složitost logiky plyne též z nebezpečí zablokování daného úseku modelu, kterému je předcházeno kontrolou obsazenosti čekacích pozic, stavu zvedáku ZV navěšujícího A4\_AUS z přízemí na prázdné závěsové dopravníky atd. Zablokování hrozí v následujících situacích:

- Zvedák ZV v horní poloze (ZVH) s A4\_AUS čeká na nájezd prázdného dopravníku z pozice P8 – pokud by byla P8 prázdná za situace označené jako ID blok, nebyl by nikdy dopravník k dispozici, proto před vysunutím zvedáku je kontrolována obsazenost P8,

- Zvedák ZV je v dolní pozici (ZVD) obsazen A4, současně je v přízemí další A4 na St\_56 a na KS, takže další skid na pozici S (pod zvedákem svěšujícím A4 do přízemí – viz Příloha č. 1, pozice G, a popis v části G)) není k dispozici. Pokud nebude na P8 volný závěsový dopravník (např. není-li ve výrobním programu zastoupena A5\_MB), nebude zvedák vysunut do horní pozice. Pak může dojít k zablokování zvedáku svěšujícího A4 do přízemí, který bude v horní poloze obsazen A4 a tím znemožní nájezd závěsových dopravníků z okruhu montáže ke zvedáku přesuvné stanice.
- Zvedák ZV může vykonat zdvih a navěšení A4 jen v případě, že závěsový dopravník po navěšení A4 bude moci opustit pozici ZV a najet min. do pozice P11. Ovšem následující linka expedice do pobočných závodů je (v obou simulačních modelech) tvořena prvkem patřícím do skupiny *Sveseni\_A4\_A5*, kde je simulován výskyt poruch. Dlouho trvající porucha může tedy rovněž zablokovat zvedák ZV obsazený karoserií A4 v dolní pozici.

#### **J) Přesun karoserií A5\_MB a A5\_AUS po skidové dopravníkové trati ke zvedáku pro navěšení na dopravníky okruhu lakovny (viz Příloha č. 1, pozice J)**

V modelu v SimPro i v nově vytvořeném modelu v Plant Simulation není tok skidů samostatně modelován (v tomto ohledu je tok skidů v přízemí výjimkou). Předmětem zájmu je pouze ta část toku, kde skid tvoří s karoserií manipulační jednotku, tok volných skidů je nepodstatný. Důležitá je ovšem simulace činnosti kyvných stolů. Část tohoto úseku zobrazuje Příloha č. 6. V SimPro je doba (dopředného i vratného) otočení kyvného stolu simulována prostřednictvím prvku *Entscheidungstabelle*, který ovlivňuje okamžik uvolnění vjezdu BEO (skidu s karoserií) na příslušný prvek (typu *Strecke*). V Plant Simulation je graficky naznačeno otáčení stolu, zablokování a odblokování vjezdu na něj je řešeno pomocí metod spouštěných při vstupu objektu na prvky typu pracoviště, které slouží (prostřednictvím nastavení doby „práce“) k simulaci prodlevy v realitě způsobené najetím skidu na stůl a sjetím ze stolu. Celý úsek (viz Příloha č. 1, pozice J) je možno chápat jako zásobník karoserií. Mezi zvedáky označenými pozicemi E a K v téže příloze se mohou nacházet 3 karoserie (na skidech) – kapacita dvou prvků typu *Strecke* modelujících daný úsek v SimPro je 2 a 1 objekt BEO.

Za předpokladu, že nelze měnit rychlost otáčení kyvných stolů ani související trvání najetí a vyjetí skidu, lze spatřovat prostor k optimalizaci taktu těchto úseků v polohování senzorů, při jejichž incidenci s objektem (na daném prvku v modelu) dojde k odblokování vstupu předchozích prvků (modelujících kyvné stoly). Samozřejmě je ovšem nutné respektovat omezení v reálném provozu vyplývající z potřeby dodržet jisté bezpečnostní odstupy pro zabránění kolize pohybujícího se kyvného stolu s jiným najíždějícím nebo vyjíždějícím skidem a případná technická omezení.

**K) Navěšování karoserií A5 ze zvedáku na závěsové dopravníky okruhu lakovny (viz Příloha č. 1, pozice K)**

Na rozdíl od zvedáku popsaného v odstavci E), zde je v logice řízení souvisejících manipulačních úkonů zohledněna odlišná konstrukce závěsových dopravníků úseku lakovny (viz podkapitola 5.1 a její oddíly). Rozdíl spočívá v tom, že zde dojde nejprve k nájezdu závěsového dopravníku nad zvedák a až poté k vysunutí zvedáku s karoserií do horní pozice, kde proběhne navěšení karoserie. To je odlišnost od zvedáků spolupracujících s dopravníky okruhu montáže, kde je nutný naopak nejprve zdvih zvedáku, jenž teprve v horní poloze přivolá závěsový dopravník, který karoserii převezme.

Příloha č. 18 schematicky znázorňuje situaci spolu s výřezem příslušné části modelu v SimPro. Dále pak Příloha č. 19 uvádí formou vývojového diagramu logiku řízení manipulačních úkonů. Je možné si povšimnout, že je v rámci zvedáku ještě odvoláván předchozí kyvný stůl, z něhož do dolní pozice zvedáku najíždí na skidu karoserie A5. Pokud dojde k navěšení karoserie na zvedák, může z kyvného sjet další skid. Z něj ovšem zvedák karoserii převezme až v okamžiku, kdy bude v dolní pozici volný (na počátku nebo po opětovném spuštění prázdného zvedáku). Stejně tak vysunutí zvedáku je možné jen tehdy, je-li v horní pozici vychystán závěsový dopravník. Je tedy nutné, aby při obsazení pozice CP dalším dopravníkem bylo kontrolováno, zda již není zvedák v dolní pozici obsazen.

Veškeré stavy jednotlivých prvků jsou v modelu v Plant Simulation opět spjaty s hodnotami globálních proměnných, na jejichž hodnoty se dotazují metody spouštěné na senzorech horní a dolní pozice zvedáku, bodu SP, CP a výjezdu z kyvného stolu KS2 (označení shodné jako uvádí Příloha č. 18).

**L) Zaplavování A5, sekvence pracovišť (viz Příloha č. 1, pozice L)**

V modelu v SimPro je tento úsek tvořen deseti sériově řazenými prvky typu *Bearbeitung im Durchfluss*. Tyto prvky simulují pracoviště, u nichž je podstatná doba nájezdu BEO (dopravníku s karoserií) do pozice – dána podílem délky (*Einfahrweg*) a rychlosti, ve které je po stanovenou dobu objekt pozdržen (to simuluje probíhající technologický proces). Teprve poté, co objekt opustí tento prvek, smí další objekt do prvku vstupovat (tj. smí se započít fáze nájezdu do pozice). V původním modelu tyto prvky patří do skupiny *Zaplavovani\_A5*. To opět znamená, že je na nich simulován náhodný výskyt poruch a že je možné definovat takt (podle skutečného taktu linky konzervace A5).

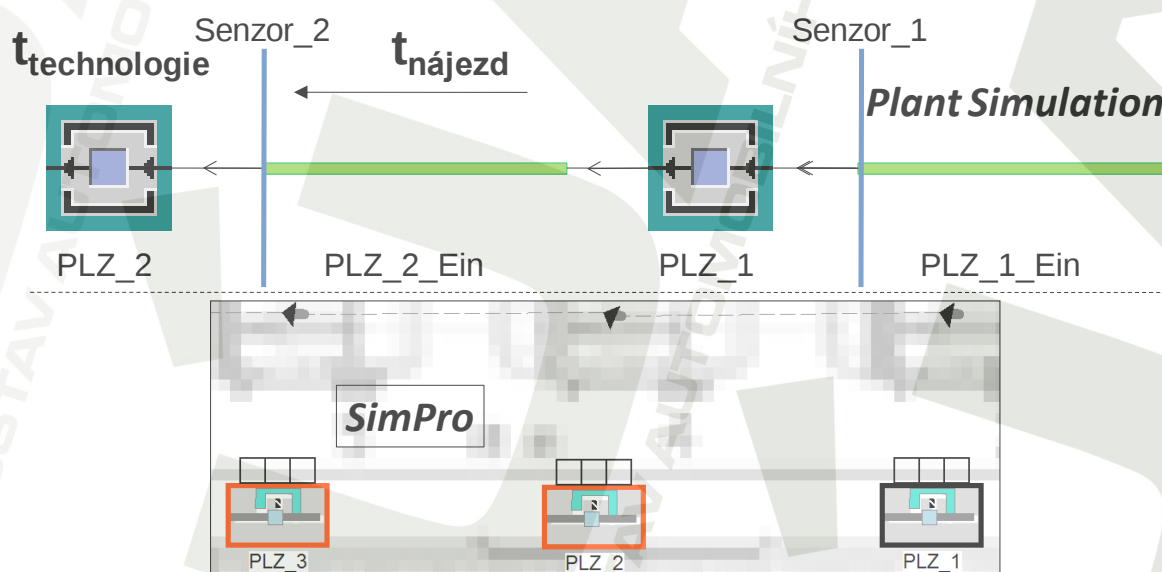
V modelu v Plant Simulation je tato skupina ještě rozdělena do dvou (každá po 5-ti stanovištích), a to *Zaplavovani\_A5\_automat* a *Zaplavovani\_A5\_rucni*. To lépe zohledňuje realitu, kdy prvních pět pracovišť je automatických a pracuje (obecně) jiným taktem než je takt úseku ručního čištění karoserií od vosku (viz kapitola 5.1.4). To umožňuje nastavit pro obě skupiny prvků jiný takt (samozřejmě v případě, že bude nastaven vyšší takt *Zaplavovani\_A5\_rucni*, který v toku karoserií následuje po *Zaplavovani\_A5\_automat*, výsledkem bude výstup karoserií z posledního prvku s taktem nižším, „rychlejší“ prvky první skupiny budou část simulárního času blokovány následovnými prvky s vyšším taktem).

Na posledním prvku typu pracoviště skupiny *Zaplavovani\_A5\_rucni* (prvek PLZ\_10) je umístěn EB s názvem PLZ\_10. Při vstupu BEO (závěsového dopravníku s karoserií) na tento prvek se spustí metoda, která zaznamená do textového souboru potřebná data, jež se k průjezdu vztahují.

Je nutné si uvědomit, co je do taktu každého pracoviště zahrnuto. V modelu v Plant Simulation je každý prvek *Bearbeitung im Durchfluss* z modelu v SimPro modelován pomocí prvku typu *Förderstrecke* (dopravní trať) a následujícího prvku typu *Maschine* (pracoviště). V horní části Obr. 6-2 jsou tyto prvky vyznačeny zelenou linií a ikonou použitou v Plant Simulation pro prvek pracoviště. *Förderstrecke* nahrazuje funkci nájezdu do pozice, druhý prvek pak technologický proces (např. tedy po PLZ\_2\_Ein najíždí objekt po dobu  $t_{\text{nájezd}}$  na pracoviště PLZ\_2, kde je objekt zdržen po dobu  $t_{\text{technologie}}$ ). Doba nájezdu je shodná jako podíl hodnoty *Einfahrweg* a rychlosti nastavené v masce parametrů každého prvku v SimPro.  $t_{\text{nájezd}}$  tvoří první část taktu pracoviště, který je neměnný (předpokládá se, že rychlost ani délku nájezdu do pozice nelze měnit).  $t_{\text{technologie}}$  je pak doba (technologického zpracování) v pozici, nastavená jako pracovní čas v prvku *Maschine*. Ta tvoří druhou složku taktu. Takt je však ukončen až ve chvíli, kdy může na pracoviště (v Plant Simulation na příslušnou *Förderstrecke*) najet další objekt. To je díky funkci *Freiplatzsteuerung* v SimPro možné až tehdy, kdy předchozí prvek opustí výjezd z pracoviště. Do taktu pracoviště je tak tedy ještě třeba započítat dobu odjezdu  $t_{\text{odjezd}}$  (pohybu objektu po *Förderstrecke* následující za daným pracovištěm). Při parametrizaci taktu je tedy měněna pouze hodnota  $t_{\text{technologie}}$ , přičemž musí být zajištěno, že platí:

$$Takt = t_{\text{technologie}} + t_{\text{nájezd}} + t_{\text{odjezd}} [s] \quad (2)$$

Proto je v inicializační metodě v Plant Simulation kontrolováno, že požadovaný takt není nižší než součet  $t_{\text{technologie}} + t_{\text{odjezd}}$ . V tom případě je uživatel modelu upozorněn, že takt nebude dodržen a doba  $t_{\text{technologie}}$  se nastaví na 0s.



Obr. 6-2 Sekvence prvků simulující pracoviště zaplavování A5, rozdíl modelu v SimPro a v Plant Simulation

Jak je též vidět na Obr. 6-2, na konci prvků *Förderstrecke* je senzor, který průjezdem (zádí) objektu spouští metodu, jež uvolní předchozí nájezd. Tak zde na Senzoru\_2 se uvolní nájezd na PLZ\_1\_Ein, podobně u ostatních prvků ve vytvořeném modelu. Proto doba přejezdu objektu po prvku PLZ\_2\_Ein je z hlediska nájezdu na PLZ\_2 parametr  $t_{\text{nájezd}}$ , z hlediska odjezdu z PLZ\_1 je však třeba ji považovat za  $t_{\text{odjezd}}$ .

#### **M) Svěšování A5\_AUS a A4\_AUS na linku expedice do pobočných závodů a řízení toku volných závěsových dopravníků (viz Příloha č. 1, pozice M)**

Toto místo není v modelu v SimPro vytvořeno pomocí prvku *Regalbediengert* (RGB), který jinak simuluje zvedák. Namísto toho dochází pouze na prvku typu *Entladestation* k přesunu BEO znázorňujícího karoserii z prvku symbolizující zvedák na prvek *Bearbeitung im Durchfluss*. Ten simuluje činnost expediční linky. V následujícím prvku typu *Senke* již objekty (karoserie) zanikají. Nicméně v modelu v Plant Simulation byl zvedák vytvořen, jeho parametry jsou voleny tak, aby byla zachována stejná doba pohybu zvedáku, jako je simulovaná doba „činnosti“ prvku *Entladestation* v SimPro. Na prvku s názvem *Prac\_sv\_A5*, který představuje expediční linku, je umístěn EB stejného označení. V Plant Simulation opět prostřednictvím inicializace senzoru (umístěného až na výstupu z tohoto prvku – jde o prvek typu *Förderstrecke*) je spuštěna metoda zaznamenávající data o průchodech BEO (karoserií) do textového souboru.

Po svěšení na linku expedice volný závěsový dopravník odjíždí směrem ke zvedáku popisovanému v části K) (viz též Příloha č. 1, pozice K). Tím se uzavírá okruh trati dopravníků lakovny. Jak naznačila Příloha č. 13, v místě označením ID dochází k rozdělení toku závěsových dopravníků podle toho, zda nesou A5\_MB nebo A5\_AUS. Některé dopravníky nesoucí A5\_MB po jejich předání na zvedáku přesuvné stanice mohou následně vyjždět do zásobního úseku (tento přejezd zachycuje Příloha č. 16 jako pohyb (posloupnost) P8 → V10 → ZD), kde může být zastaveno až 6 dopravníků. Svěšovaná karoserie je spuštěna do přízemí na prvek *Prac\_sv\_A5* (označení tohoto prvku je snad trochu matoucí, protože jsou spouštěny nejen A5\_AUS, ale také A4\_AUS). V SimPro patří tento prvek do skupiny *Sveseni\_A4\_A5*, tj. je zde simulován náhodný výskyt poruch, lze měnit takt tohoto prvku (odpovídající v realitě taktu linky expedice, tj. taktu, s jakým paletový vůz odváží zabalené karoserie pryč z linky) a pracoviště podléhá směnovému režimu. Podobně v nově vytvořeném modelu v Plant Simulation je toto pracoviště zahrnuto do skupiny *Sveseni\_A4\_A5* (čítající právě tento jediný prvek), kde je prostřednictvím tabulky (element *Tabelle*) možné měnit takt prvku typu *Förderstrecke* (čili měnit rychlost pohybu po prvku při jeho neměnné délce), který expediční linku simuluje.

Celý zde popisovaný úsek znázorňuje Příloha č. 20. Zde jsou opět vysvětleny zkratky použité v následujícím vývojovém diagramu logiky řízení svěšování karoserií a spojení toku volných závěsových dopravníků. Ten uvádí Příloha č. 21 a také Příloha č. 22, která detailněji rozebírá logiku spojení toku dopravníků (v SimPro pomocí prvku *Verwirbler\_KRZ*, v Plant Simulation pomocí prvku typu *Flusssteuerung*). Ve stručnosti popíši jeden cyklus (tj. jedno svěšení). V okamžiku nájezdu dopravníku na zvedák ZV2 je nutné kontrolovat, zda je tento

volný (v okruhu dopravníků lakovny mohou dopravníky najíždět ke zvedáku, i když je tento v horní pozici). Nemusí tomu tak být např. z důvodu poruchy na prvku *Parc\_sv\_A5*, kdy může být zvedák již obsazen (v případě poruchy *Prac\_sv\_A5*, tj. kdy bude podmínka „LE připravena“ vyhodnocena jako *false*). V tom případě čeká obsazený zvedák v dolní pozici (je blokován). Je-li svěšení úspěšně dokončeno, zastavuje volný závěsový dopravník na pozici CP (to je počátek prvku typu *Förderstrecke* sloužícího pro simulaci nájezdu dopravníku k výhybce *Ver\_5*). Obsazenost CP je znamením při uvolnění některé ze čtyř pozic mezi *Ver\_5* a zvedákem pro navěšení A5 (včetně) pro nájezd od CP k *Ver\_5*. Mezitím po spuštění karoserie na linku expedice zvedák vyjíždí do horní pozice, kde v případě, že již najel další dopravník s karoserií, tuto přebírá a spouští k lince expedice.

Z důvodu prostoje skupiny prvků *Zaplavovani\_A5\_rucni* nebo *Zaplavovani\_A5\_automat*, resp. prvku *Svesovani\_A5* skupiny *Sveseni\_A4\_A5* může dojít k situaci, kdy mezi *Ver\_5* a zvedákem pro navěšení A5 bude chybět dopravník (žádný dopravník pro najetí na CP – viz Příloha č. 18 – nebude k dispozici). V tom případě v okamžiku, kdy je přepuštěn dopravník od P8 na ZD (viz Příloha č. 16), dojde na konci ZD (ZD tvoří v Plant Simulation prvek typu *Förderstrecke* opatřený senzorem na výstupu, který se aktivuje přidí BEO – závěsového dopravníku) ke spuštění metody, jejíž princip naznačuje Příloha č. 22. Situace, kdy *Ver\_5* čeká, odpovídá stavu, kdy chybí (alespoň) jeden dopravník mezi zvedákem pro navěšení A5 a spojkou (výhybkou) *Ver\_5*. Jak je vidět v příslušném vývojovém diagramu, je preferován nájezd dopravníku uvolněného po svěšení karoserie na linku expedice, ten však nemusí být vždy k dispozici.

#### **N) Zvedák závěsových dopravníků na rozhraní D13A – M13 (viz Příloha č. 1, pozice N)**

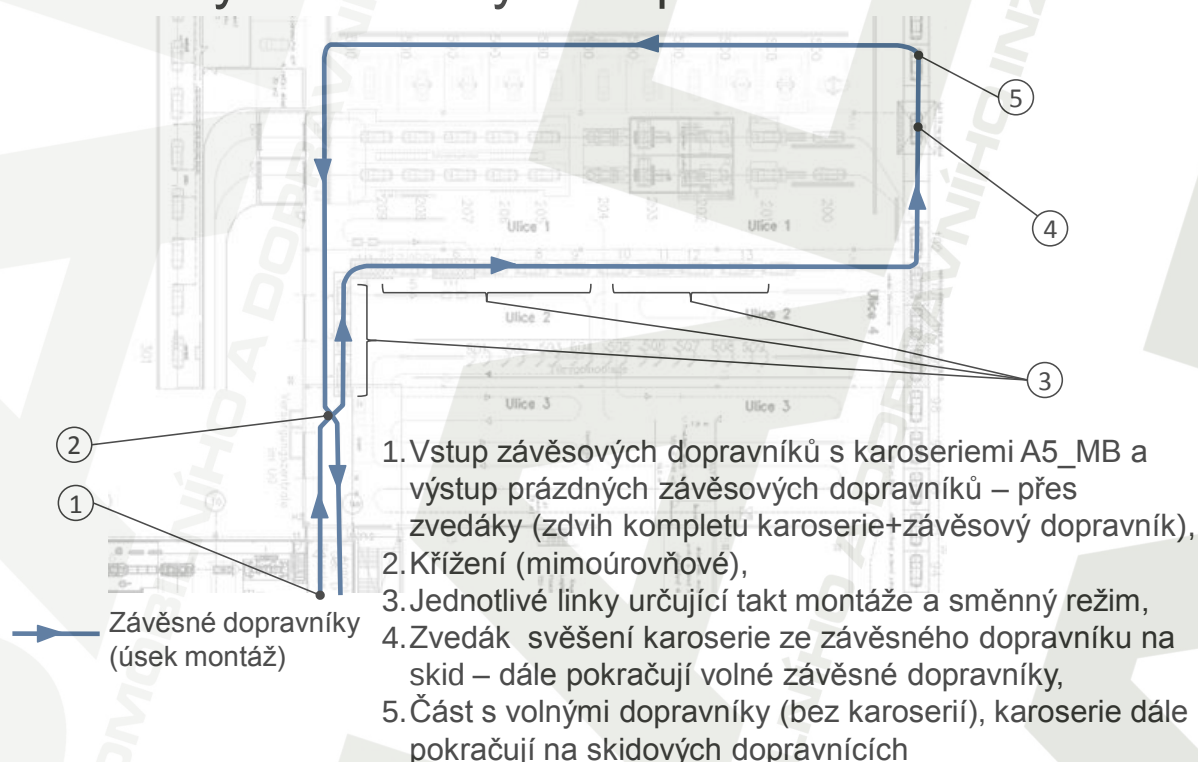
Zatímco v modelu SimPro (a také v modelu vytvořeném na jeho základě v Plant Simulation) se jedná o zvedáky analogického principu jako u zvedáku popsaného v části B), ve skutečném provozu došlo od doby vytvoření modelu v SimPro ke změně. Ta spočívala k nahrazení těchto zvedáků novým zařízením, které překonává horizontální rozdíly mezi oběma halami (dopravníkový most – montáž) vertikální manipulací kompletu karoserie + závěsový dopravník. Ve stručnosti je princip tohoto zařízení popsán v podkapitole 5.1.7.

Pro správnou funkci modelu jsou dále důležité ještě některé úseky z oblasti montáže (hala M13), které jsou vyznačeny na následujícím Obr. 6-3. Je zde vidět též půdorysný plán úseku montáže a je vyznačena trajektorie (dána úseky dopravníkové trati a polohou pracovišť), kterou při pohybu okruhem montáže dopravníky opisují. Tak je tomu v realitě a též v modelu v SimPro. V modelu v Plant Simulation nejsou spojeny prvky simulující trasu závěsových dopravníků montáže v uzavřený okruh, nýbrž po svěšení karoserie z dopravníku na skid (viz pozice č. 4 na Obr. 6-3) dále BEO simulující pohyb dopravníku směřuje do prvku typu *Senke*, kde zaniká. Nové prázdné dopravníky (BEO) naopak vznikají v prvku typu *Quelle*, jehož takt je 0s. Jde tedy o tzv. push-princip, kdy nový dopravník je do úseků před

mimoúrovňovým křížením (viz pozice č. 2 na Obr. 6-3) vpuštěn až tehdy, když je tento úsek volný. V Plant Simulation mimoúrovňové křížení není řešeno, model je tvořen ve 2D.

Je třeba zmínit montážní linky označené na Obr. 6-3 pozicí č. 3. Ty jsou v modelu v SimPro i v Plant Simulation tvořeny třemi prvky. První St\_MO\_1 o kapacitě 2 závěsové dopravníky patří do skupiny *PrvniUsek\_1*, druhé dva – St\_MO\_2 (kapacita 6) a St\_MO\_3 (kapacita 4) do skupiny *PrvniUsek\_2*. Jde opět o skupiny prvků, u nichž lze nastavit takt a simulovat poruchy a směnný režim. Všechny tři prvky jsou v SimPro typu *Fließband*, dodržují tedy konstantní vzdálenost objektů (neakumulační dopravníková trať). Na prvcích St\_MO\_1 a St\_MO\_3 jsou dále umístěny EB. To znamená, že při průjezdu BEO (karoserie) přes příslušný senzor umístěný na těchto prvcích je spuštěna metoda, která do textového souboru zaznamená název EB, typ karoserie (zde A5\_MB) a čas průchodu.

## Pohyb závěsových dopravníků - montáž



Obr. 6-3 Významné body a úseky v pohybu závěsových dopravníků montáží

Krátce ještě rozeberu logiku svěšení karoserie na skid ze závěsového dopravníku, k čemuž dochází v místě označeném na Obr. 6-3 pozicí č. 4.

Svěšené karoserie postupují od zvedáku k pracovišti Takt\_Montaze (na Obr. 6-3 pozice č. 5). V SimPro jde o prvek typu *Bearbeitung im Durchfluss*, v Plant Simulation je tedy opět nahrazen prvkem Takt\_Montaze\_Einfahrt typu *Förderstrecke* představujícím nájezd do pozice a prvkem Takt\_Montaze typu pracoviště simulujícím dobu obsazení pozice. Oba prvky pak patří do skupiny *Montaz*, u které je opět možné nastavit takt (jde o takt, s jakým v reálném provozu pracují linky v montážní hale), jsou zde simulovány náhodné poruchy a směnový režim. Podobně jako v případě nastavení taktu skupiny *Zaplavovani\_A5\_Automat* a *Zaplavovani\_A5\_Rucni* (viz část L), i zde je v modelu v Plant Simulation do taktu započítána

doba nájezdu na prvek Takt\_Montaze, kterou simuluje prvek Takt\_Montaze\_Einfahrt typu *Förderstrecke*. Přestože v SimPro má prvek Takt\_Montaze funkci *Freiplatzsteuerung*, nenásleduje v modelu v Plant Simulation prvek simulující výjezd z pracoviště. A to proto, že následujícím prvkem je již *Senke* s taktem 0s. Ovšem teprve po nájezdu objektu do *Senke* se uvolňuje vjezd na prvek Takt\_Montaze\_Einfahrt. Délka i rychlost tohoto prvku je neměnná, mění se pouze tak prvku Takt\_Montaze. Zde tedy pro nastavovaný takt platí rovnice:

$$Takt = t_{technologie} + t_{nájezd} \quad [s] \quad (3)$$

kde

$t_{technologie}$  je doba zdržení objektu na prvku představujícím pracoviště [s],

$t_{nájezd}$  je doba nájezdu objektu na prvek představující pracoviště [s].

Na prvku Takt\_Montaze je EB stejného názvu. V Plant Simulation je záznam průchodu A5\_MB proveden po aktivaci metody, ke které dojde při vstupu na prvek Takt\_Montaze.

## 6.2 Validace vytvořeného modelu

Poté, co byl na základě pojmového modelu vycházejícího z modelu v SimPro vytvořen nový simulační model v Plant Simulation, bylo nutné ověřit jeho shodu s pojmovým modelem. Validace spočívala v následujících krocích:

- kontrola správné funkcionality všech částí simulačního modelu,
- kontrola průchodnosti vybraných úseků modelu.

Simulační model si lze obecně přestavit jako systém měnící vstupní proměnné na výstupní. Na vstupu lze rozlišit říditelné proměnné (parametry) a náhodné proměnné (poruchy). Na výstupu jsou to pak cílové veličiny, čili sledované veličiny (jejich hodnoty) představující zpravidla předmět optimalizace<sup>26</sup>. (7) V případě vytvořeného simulačního modelu jsou to konkrétně:

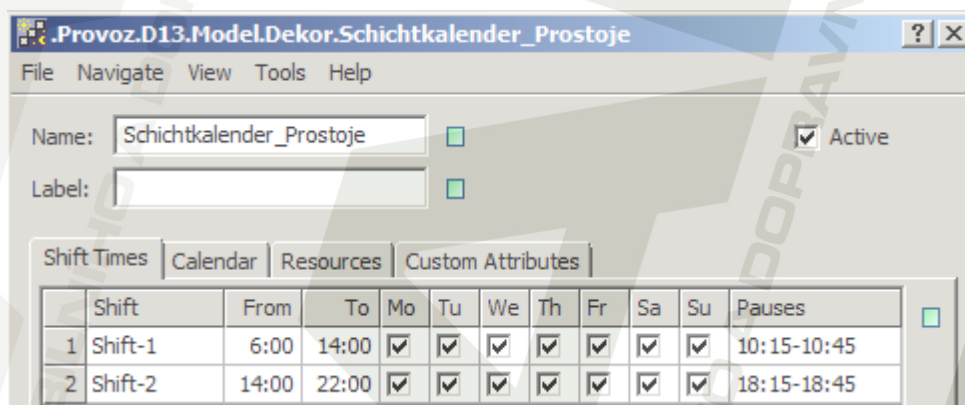
- parametry: takty skupin pracovišť,  
výrobní program (vstupní poměr typů karoserií),
- poruchy: náhodné poruchy simulované na základě inicializačních hodnot proudů poruch,
- cílové veličiny: průchodnost systému,  
obsazenost a doba průchodu mezi zvolenými evidenčními body.

Kontrola správné funkcionality tedy znamenala ověření, že model (a všechny jeho části, zejména ty popisované v kapitole 6.1.1) se chovají v souladu s pojmovým modelem (který je zjednodušením resp. jistým zápisem chování původního modelu v SimPro). Bylo

<sup>26</sup> Jedná-li se o optimalizační úlohu jako např. maximalizace průchodnosti systému, minimalizace nutné kapacity skladů apod.

nutné různě měnit parametry (v souladu s plánem experimentů) a provádět simulační běhy v dlouhém časovém období, aby bylo zajištěno, že za běhu simulace nedochází k nedefinovaným stavům.

Dostatečně dlouhý běh simulace je nutný proto, že na počátku simulace probíhá tzv. doba náběhu (*transient phase*), během níž jsou hodnoty cílových veličin (a tedy i chování modelu) ovlivněno počátečním nastavením (hodnotami) proudů poruch. Po této fázi již hodnoty cílových veličin konvergují (klesá pravděpodobnost, že nastane situace, neboli současný stav všech prvků modelu, výrazně odlišná od předchozích stavů). Model přechází do ustáleného stavu. Pro určení délky simulárního času nutného k dosažení ustáleného stavu dnes však neexistuje obecně platná metoda. (7) Byl zvolen požadavek, že v průběhu simulace (vzhledem k délce simulovaného období to znamená min. po dobu 2 měsíců, resp. 60 dnů simulárního času), nesmí dojít k nedefinovanému chování modelu<sup>27</sup>. Toto ověření neposkytuje žádný fyzický výstup, který by mohl být prezentován (kromě vlastního předvedení běhu simulace, resp. jeho videozáznamu). Ověření, zda skupiny prvků, které simulují činnost pracovišť v souladu s nastaveným směnovým kalendářem, se skutečně podle směnového kalendáře řídí, již má konkrétní výstupy. Ve všech prováděných experimentech byl nastaven stejný směnový režim, a to následující:



Obr. 6-4 Nastavení prvku směnový kalendář v modelu v Plant Simulation

Na Obr. 6-4 je výřez masky nastavení prvku typu *Schichtkalender* (směnový kalendář) v modelu v Plant Simulation. Tento prvek ovládá chování všech těch prvků, které v modelu znázorňují pracoviště zařazená do některé ze skupin uvedených dále, viz Tabulka 6-1.

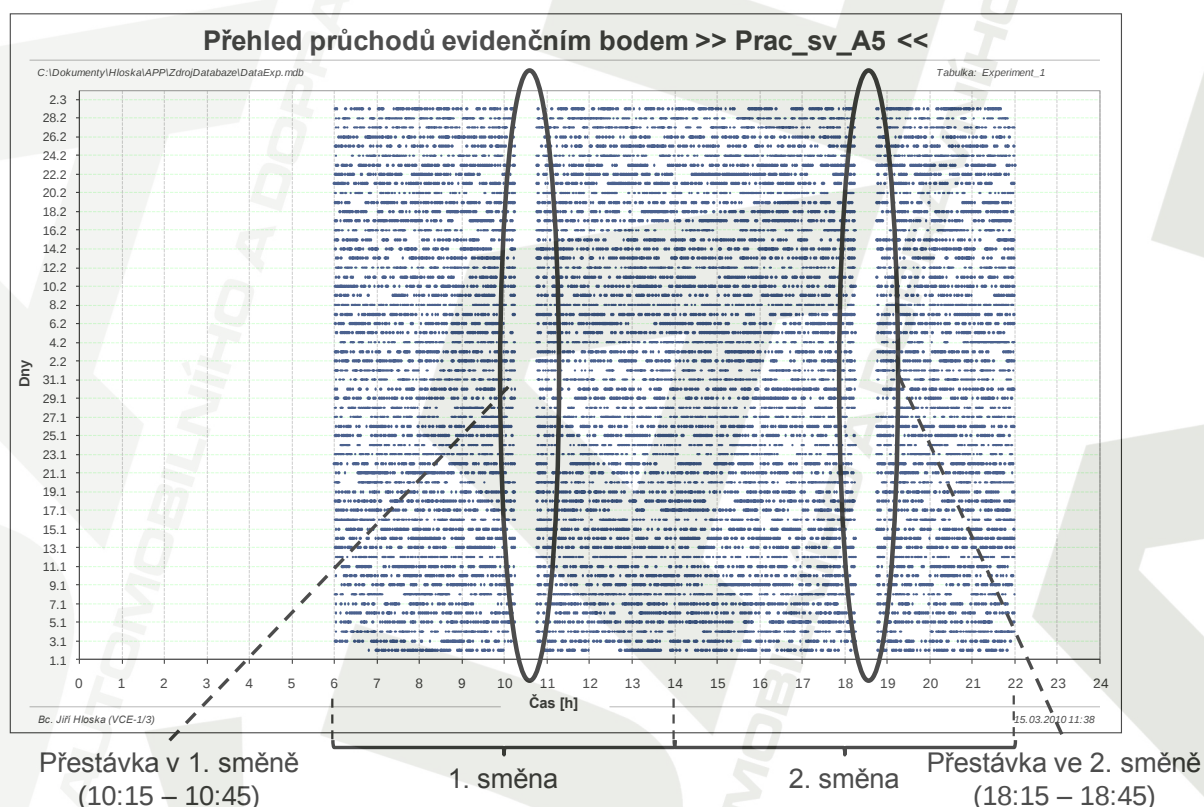
Zvolen byl tedy dvousměnný režim s délkou směny 8 hodin a přestávkou 30 minut v každé směně. Tzn., že prvky simulovaly provoz celkově 15 hodin denně.

<sup>27</sup> Běh simulace může být neplánovaně zastaven dříve pouze v případě zablokování otočného stolu v důsledku obsazení zvedáku popisovaného v části E) kapitoly 6.1.1, jak je v této části zmíněno.

| Skupina                | Popis                                                       |
|------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Dekor                  | Prvky simulující linku dekoru                               |
| HRK                    | Prvky simulující linku zaplavování A4                       |
| Montaz                 | Prvek simulující takt pracovišť v hale montáže              |
| Osvit_A4               | Prvek simulující výjezd z úseku zaplavování A4              |
| PrvníUsek_1            | Prvky simulující první úsek pracovišť montáže               |
| PrveniUsek_2           | Prvky simulující druhý úsek pracovišť montáže               |
| Sveseni_A4_A5          | Prvek simulující linku expedice do pobočných závodů         |
| Zaplavovani_A5_Automat | Prvky simulující automatický úsek linky zaplavování A5      |
| Zaplavovani_A5_Rucni   | Prvky simulující ruční část pracoviště linky zaplavování A5 |

Tabulka 6-1 Přehled skupin prvků s nastavitelným taktem, směnami a poruchami

Na základě analýzy záznamů průchodu objektů (karoserií) evidenčními body v APP byly vytvořeny pro jednotlivé EB grafické přehledy průchodu. Za všechny uvedu následující na Obr. 6-5.



Obr. 6-5 Příklad grafického přehledu průchodu objektů vybraným evidenčním bodem jako kontrola správné simulace směnového kalendáře

Graf na Obr. 6-5 je jedním z možných výstupů APP. V tomto případě na vodorovné ose je vyneseno čas (24 hodin pro každý den), na svislé pak dny (datum). Každá tečka představuje záznam průchodu objektu evidenčním bodem. Jsou zvýrazněny dvě prodlevy odpovídající přestávkám v jednotlivých směnách. Směny na sebe bezprostředně navazují ve 14:00. Graf na Obr. 6-5 přísluší EB na prvku Prac\_sv\_A5, který simuluje linku expedice do

pobočných závodů. Je možné si povšimnout, že první den (u všech simulací bylo nastaveno výchozí datum 2. 1.) začínají záznamy (tečky) až se zpožděním, ne ihned v 6:00. Je tomu tak proto, že mezi počátkem běhu simulace (vysláním prvního objektu z prvku typu *Quelle*) do průchodu BEO představujícího příslušnou karoserii uplyne jistá doba<sup>28</sup>.

Kontrola průchodnosti vybraných úseků modelu má též konkrétní výsledky. Byla kontrolována průchodnost skupin prvků, u kterých je možné ve vytvořeném modelu před spuštěním simulace měnit takt. Tyto skupiny uvádí Tabulka 6-1 a byly již také postupně zmíněny v částech podkapitoly 6.1.1.

Porovnána byla u těchto skupin teoreticky dosažitelná a skutečná průchodnost (jedná se o průměrnou denní průchodnost, jednotkou je počet karoserií za den, tj. [aut / den]), zjištěnou analýzou záznamů průchodů objektů (karoserií) evidenčními body v APP. Ověření probíhalo při deaktivaci generátorů poruch (tj. kdy pravděpodobnost bezporuchového provozu, neboli funkce spolehlivosti, prvků simulujících pracoviště je  $R(t) = 1$ ). Tento generátor poruch byl do modelu vložen jako síť (*Netzwerk*) ovládající kromě přepínání stavu (v poruše / bez poruchy) také přestávky dle směnného kalendáře pro prvky, které se k tomuto submodelu (síti) prostřednictvím do něj vložené tabulky vztahovaly. Proto vypnutím generátoru poruch (provedeným výmazem příslušných prvků z tabulky v tomto submodelu) přestaly být přestávky ve směnovém režimu pro tyto prvky platné a jejich činnost byla simulována následovně:

- první směna ... 6:00 – 14:00,
- druhá směna ... 14:00 – 22:00.

Každý prvek tedy simuloval šestnáctihodinovou denní činnost (8 + 8 hod / den).

Je zřejmé, že vliv na dosaženou denní produkci měl právě nastavený směnový režim.

Teoreticky dosažitelnou průchodnost příslušné skupiny lze vyjádřit vztahem:

$$P = \frac{H \cdot 60 \cdot 60}{T} [\text{aut/den}] \quad (4)$$

kde

**H** je počet hodin denně, kdy je simulované pracoviště v činnosti (zde  $H=16$ ) [-],

**T** je takt pracoviště [s], v modelu takt nastavený pro celou skupinu prvků, které toto (tato) pracoviště simulují.

Testované skupiny pracovišť, jejich takty, vypočtená teoretická produkce a analýzou v APP zjištěná výsledná produkce<sup>29</sup> uvádí Tabulka 6-2.

<sup>28</sup> Jak bude ukázáno dále, pomocí APP lze též analyzovat dobu průchodu objektu mezi dvěma (různými) zvolenými EB.

<sup>29</sup> V případě, kdy nejsou simulovány poruchy, se zároveň jedná o průměrnou denní produkci. Nedochází k fluktuaci denní produkce v jednotlivých dnech.

| Skupina                | Takt [s] | Teoretická produkce [aut/den] | Výsledná produkce [aut/den] |
|------------------------|----------|-------------------------------|-----------------------------|
| Dekor                  | 57       | 1010,53                       | 1010,44                     |
| HRK                    | 96       | 600                           | 596,60                      |
| Montaz                 | 113      | 509,73                        | 509,75                      |
| Osvit_A4               | 96       | 600,00                        | 600,00                      |
| PrvniUsek_1            | 113      | 509,73                        | 509,80                      |
| PrvniUsek_2            | 113      | 509,73                        |                             |
| Sveseni_A4_A5          | 120      | 480,00                        | 480,00                      |
| Zaplavovani_A5_Automat | 75       | 768,00                        | 768,00                      |
| Zaplavovani_A5_Rucni   | 75       | 768,00                        |                             |

Tabulka 6-2 Výsledky testu průchodnosti skupin prvků v modelu v Plant Simulation

Vlastní testování bylo provedeno úpravou modelu, která spočívala v oddělení zkoumaných prvků od zbytku modelu, takže materiálový tok byl simulován pouze na těchto vybraných prvcích (patřících do některé ze skupin). Uvedení společné hodnoty pro skupiny *PrvniUsek\_1* a *PrvniUsek\_2*, stejně jako pro *Zaplavovani\_A5\_Automat* a *Zaplavovani\_A5\_Rucni* je z důvodu, že byly v těchto případech izolovány všechny prvky patřící do obou (na sebe navazujících) skupin souhrnně. Bylo to možné proto, že jak ukazuje tabulka, ve sloučených skupinách byl nastaven stejný takt a mezi prvky patřícími do sloučených skupin nejsou další (vnější) prvky, skupiny na sebe bezprostředně navazují. Jednotlivé hodnoty byly získány pomocí APP v grafické podobě jako popisná statistika četnosti průchodů příslušnými EB. Ty zde pro stručnost nejsou uvedeny (číselné výsledky shrnuje Tabulka 6-2), nicméně pro ukázkou je jeden graf uveden jako Příloha č. 25 (je v něm zvýrazněna oblast číselných výstupů). Protože nebyly simulovány žádné náhodné jevy, stačilo provést analýzu na základě krátkého běhu simulace (simuloval jsem 9 dní provozu).

Jak je vidět z výsledků, až na prvky skupiny *Dekor* a *HRK* byla průchodnost (produkce) dosažena. Nedosažení produkce v těchto dvou případech si vysvětlují komplikovaným nastavením senzorů na příslušných prvcích, které souvisí s rozdíly mezi SW SimPro a Plant Simulation rozebranými v podkapitole 6.1.1, oddíl C).

### 6.3 Simulační experimenty

S verifikovaným modelem již bylo možné provádět simulační experimenty. Při provádění experimentů jsem vycházel z metody postupných změn faktorů (viz kapitola 4.1, kde jsou jednotlivé metody stručně popsány). Jak bude uvedeno dále, zvláště jsem zkoumal důsledky změn výrobního programu (faktor A) a změn taktu vybraných skupin pracovišť (faktor B).

Je třeba si uvědomit, že vzhledem ke stochastické povaze poruch na vstupu modelu (viz kapitola 6.2) je třeba rovněž výstupy, tj. výsledky simulačních experimentů, považovat za

náhodná čísla. Proto je vždy nutné ověřit, že vlivem spolupůsobení náhodných vstupů (které se mohou v jistých případech vychýlit na stejnou stranu) nedojde k odchýlení výsledků. Je nutné prověřit, že výskyt náhodných poruch (a obecně dalších simulovaných náhodných dějů) vykazuje charakteristiky požadovaného rozdělení náhodné veličiny. To lze ověřit provedením testů dobré shody. Vzhledem k tomu, že ve vytvořeném modelu jsou náhodně simulovány pouze poruchy prvků představujících technologické úseky, nehrozí spolupůsobení dalších náhodných vstupů. Proto v případě modelu, který jsem v Plant Simulation vytvořil, nebudou výsledky simulačních experimentů od očekávaných hodnot vychýleny.

Nelze však vyloučit vliv přechodové fáze (viz podkapitola 6.2). Proto jsem při analýze dat v APP očistil záznamy průchodů karoserií o ty vztahující se k prvnímu simulovanému dni. Celkově tedy bylo simulováno v každém experimentu období 3. 1. – 3. 3., tedy 60 dní.

Na základě výsledků provedených simulačních experimentů (získaných analýzou záznamů průchodů karoserií evidenčními body v APP) jsem hledal úzká místa simulovaného systému. Dále jsem navrhl opatření (změny), která je nutno pro dosažení vyšší průchodnosti systému realizovat. S takto upraveným (optimalizovaným) modelem jsem opakoval stejné simulační experimenty. Porovnáním jejich výsledků s hodnotami platnými pro původní model jsem zhodnotil efekt navrhovaných opatření.

### 6.3.1 Ověření dosažení požadované denní produkce

Byl zadán požadavek minimální průměrné denní produkce, který má být dosažen se zadaným výrobním programem. Výrobní program je možné v modelu měnit v prvku *Quelle*, kde v příslušné tabulce lze nastavit poměr četností, s jakými budou jednotlivé typy karoserií (pseudonáhodně) generovány. Toto nastavení pak současně odpovídá požadované produkci. Takty skupin prvků představující technologické úseky byly stejné, jaké uvádí Tabulka 6-2. Tabulka 6-3 dává přehled o požadované produkci a výsledné průměrné denní průchodnosti modelem (uváděná s přesností na dvě desetinná čísla – převzato z APP na základě analýzy průchodů karoserií evidenčním bodem Dekor, který se nachází na prvku DLZ\_Dekor simulující linku Dekoru).

| Požadovaná produkce | Typ karoserie | Četnost    | Výsledná produkce | Typ karoserie | Četnost       |
|---------------------|---------------|------------|-------------------|---------------|---------------|
|                     | A4_AUS        | 76         |                   | A4_AUS        | 73,37         |
|                     | A5_MB         | 450        |                   | A5_MB         | 441,15        |
|                     | A5_AUS        | 250        |                   | A5_AUS        | 249,67        |
|                     | <b>Celkem</b> | <b>776</b> |                   | <b>Celkem</b> | <b>764,19</b> |

Tabulka 6-3 Požadovaná průměrná denní produkce (průchodnost) simulovaného systému

Je vidět, že požadovanou produkci 776 karoserií denně nelze se stávajícím modelem dosáhnout (denně by bylo vyrobeno zhruba o 12 karoserií méně).

Dalším úkolem proto bylo měnit výrobní program tak, že poroste zastoupení karoserií A4\_AUS na úkor typu A5\_MB (při nezměněné celkové požadované produkci 776 karoserií

denně), a ověřit změny v průchodnosti systému. Zvolil jsem změnu výrobního programu s krokem 5 karoserií. Výsledky simulačních experimentů provedených pro tyto výrobní programy (včetně výchozího) ukazuje následující Tabulka 6-4. Označení výrobního programu (v horním řádku tabulky) je poměrem počtu požadované produkce A4\_AUS / A5\_AUS (takto budou nadále označovány výrobní programy).

| Změny produkce      | Karoserie | 76 / 250 | 81 / 245 | 86 / 240 | 91 / 235 | 96 / 230 | 101 / 225 | 106 / 220 |
|---------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Požadovaná produkce | A4_AUS    | 76       | 81       | 86       | 91       | 96       | 101       | 106       |
|                     | A5_MB     | 450      | 450      | 450      | 450      | 450      | 450       | 450       |
|                     | A5_AUS    | 250      | 245      | 240      | 235      | 230      | 225       | 220       |
|                     | celkem    | 776      | 776      | 776      | 776      | 776      | 776       | 776       |
| Výsledná produkce   | A4_AUS    | 73,37    | 78,90    | 83,73    | 88,47    | 93,37    | 97,78     | 103,47    |
|                     | A5_MB     | 441,15   | 443,48   | 445,63   | 447,53   | 449,00   | 450,08    | 451,60    |
|                     | A5_AUS    | 249,67   | 245,33   | 241,43   | 236,65   | 232,03   | 227,47    | 223,85    |
|                     | celkem    | 764,19   | 767,71   | 770,79   | 772,65   | 774,40   | 775,33    | 778,92    |

Tabulka 6-4 Průchodnost systémem při různých výrobních programech

Na grafu, který uvádí Příloha č. 26, je vidět, že se změnou výrobního programu sice narůstá průchodnost systému, závislost je ovšem (přibližně) logaritmická (s uspokojivou hodnotou spolehlivosti  $R^2$ ), tzn., že růst průchodnosti se postupně zpomaluje. Další graf (viz Příloha č. 27) ukazuje, že přes konstantní zastoupení A5\_MB ve výrobním programu (450 ks denně) výsledná produkce tohoto typu karoserie s měnícím se výrobním programem roste. A to z hodnot, které znamenají nesplnění požadované produkce až na hodnoty tento požadavek přesahující. Současně je na tomtéž grafu vidět změna poměru počtu průchodů A4\_AUS / A5\_AUS.

Zadaná celková denní produkce 776 karoserií byla dosažena nejbližše při následujícím výrobním programu:

|                     | Typ karoserie | Četnost    |                   | Typ karoserie | Četnost       |
|---------------------|---------------|------------|-------------------|---------------|---------------|
| Požadovaná produkce | A4_AUS        | 103        | Výsledná produkce | A4_AUS        | 99,98         |
|                     | A5_MB         | 450        |                   | A5_MB         | 450,63        |
|                     | A5_AUS        | 223        |                   | A5_AUS        | 225,68        |
|                     | <b>Celkem</b> | <b>776</b> |                   | <b>Celkem</b> | <b>776,29</b> |
|                     |               |            |                   |               |               |

Tabulka 6-5 Výrobní program dosahující nejbližše celkovou požadovanou produkci

Jak ovšem Tabulka 6-5 ukazuje, byla sice v tomto případě dosažena celková požadovaná produkce, nikoliv však požadované zastoupení všech typů karoserií (denně bylo vyrobeno o cca 3 karoserie A4\_AUS méně než byl požadavek).

### 6.3.2 Analýza úzkých míst

Protože tedy s původním výrobním programem nebyla požadovaná produkce splněna, zaměřil jsem se na možná úzká místa v modelu. Předem jsem uvažoval, že úzkým místem může být některý úsek manipulační techniky (zvedáky, kyvné stoly...). V prvním přiblížení jsem tedy vyloučil z úvah technologické úseky. Změny, které jsem navrhl, byly zaměřeny na:

- snížení taktu činnosti manipulační techniky pracující cyklicky,

- optimalizaci logiky řízení prvků patřících do úseků považovaných za úzká místa.

Jak již bylo zmíněno v souvislosti s polohou senzorů na prvcích, jednou z možností snížení taktu byla právě změna této polohy. Tím může být obecně dosaženo dřívější odezvy prvku na obsazení (incidenci senzoru s přídí či zádí BEO představujícího karoserii, zvedák nebo závěsový dopravník). V praxi nelze tyto změny provést bez předchozí konzultace, která ověří, že posunutí senzorů je z bezpečnostních hledisek přípustné a technicky proveditelné.

Jako úzká místa jsem vytipoval (postupně) následující úseky manipulační techniky:

- zvedák navěšující karoserie A4\_AUS na závěsové dopravníky okruhu montáže (viz Příloha č. 1, pozice E),
- zvedák navěšující karoserie A5\_MB a A5\_AUS na závěsové dopravníky okruhu lakovny (viz Příloha č. 1, pozice K) a související řízení toku volných závěsových dopravníků (viz Příloha č. 1, pozice M).

Postupným (nikoliv současným) vytipováním úzkých míst mám na mysli to, že nejprve jsem realizoval změny v submodelu simulujícím zvedák karoserií A4\_AUS a s takto upraveným modelem jsem provedl stejné simulační experimenty, jako s modelem původním. Až poté (protože samotná tato změna nepřinesla požadované zvýšení produkce, jak bude ukázáno dále) jsem přidal změnu v logice řízení druhého zmíněného zvedáku, opět s následným provedením simulačních experimentů. Tak bylo možné vyhodnotit vliv jednotlivých změn odděleně (v případě provedení obou změn současně s teprve následným experimentováním by nebyla zřejmá míra, s jakou ta která změna přispěla k výslednému efektu). Tento postup byl ve shodě se zvolenou experimentální metodou postupných změn faktorů.

Změna logiky řízení zvedáku karoserií A4\_AUS se vztahovala k podmínkám, kdy byl přepouštěn volný závěsový dopravník okruhu montáže přes zvedák do oblasti zaplavování A4. Tuto logiku zobrazuje Příloha č. 15. Úprava byla následující:

- V původním modelu došlo k přepouštění volného závěsového dopravníku (čekajícího v pozici CP před zvedákem – podle nákresu viz Příloha č. 8) přes zvedák i v případě, že na otočném stole (viz Příloha č. 1, pozice D) byla identifikována karoserie A4\_AUS, která je poté na skidu přesunuta k dolní pozici zvedáku. Tato logika odpovídá vývojovému diagramu, který uvádí Příloha č. 15.
- V upraveném modelu dojde k přepuštění volného závěsového dopravníku jen za podmínky, že v úseku mezi otočným stolem a zvedákem včetně se A4\_AUS nenachází.

Smyslem úpravy bylo zamezit možnému zablokování oblasti zvedáku, resp. následujícího úseku Konzervace A4, omezením četnosti výskytu případů, kdy úsekem bude procházet volný závěsový dopravník (tedy zvýší se pravděpodobnost, že úsek zaplavování A4 je volný pro nájezd navěšené karoserie A4\_AUS, která tak nebude zvedák a předchozí úseky blokovat).

Porovnání průchodnosti původního modelu a modelu s úpravou logiky řízení zvedáku karoserií A4 uvádí Tabulka 6-6. V prvním řádku tabulky je uveden nastavený výrobní program (poměr A4\_AUS / A5\_AUS).

| Porovnání modelů | Karoserie | 76 / 250 | 81 / 245 | 86 / 240 | 91 / 235 | 96 / 230 | 101 / 225 | 106 / 220 | 111 / 215 | 116 / 210 |
|------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Původní model    | A4_AUS    | 73,37    | 78,90    | 83,73    | 88,47    | 93,37    | 97,78     | 103,47    | 108,65    | 113,52    |
|                  | A5_MB     | 441,15   | 443,48   | 445,63   | 447,53   | 449,00   | 450,08    | 451,60    | 451,78    | 452,60    |
|                  | A5_AUS    | 249,67   | 245,33   | 241,43   | 236,65   | 232,03   | 227,47    | 223,85    | 218,80    | 213,13    |
|                  | celkem    | 764,19   | 767,71   | 770,79   | 772,65   | 774,40   | 775,33    | 778,92    | 779,23    | 779,25    |
| Upravený model   | A4_AUS    | 73,57    | 78,87    | 83,75    | 88,45    | 93,25    | 97,77     | 103,25    | 108,68    | 113,50    |
|                  | A5_MB     | 441,47   | 443,45   | 445,70   | 447,57   | 448,62   | 450,08    | 451,10    | 451,82    | 452,60    |
|                  | A5_AUS    | 249,48   | 245,35   | 241,57   | 236,62   | 231,88   | 227,42    | 223,47    | 218,75    | 214,17    |
|                  | celkem    | 764,52   | 767,67   | 771,02   | 772,64   | 773,75   | 775,27    | 777,82    | 779,25    | 780,27    |

Tabulka 6-6 Porovnání dosažené produkce pro původní a upravený model

Je vidět, že úprava nevedla k jednoznačnému zvýšení celkové průchodnosti systému. K mírnému zvýšení průchodnosti došlo pouze u výrobního programu s nízkým podílem A4\_AUS, poté až s podílem  $A4\_AUS / A5\_AUS = 111 / 215$  a vyšším. Možné vysvětlení je toto:

Namísto očekávaného zvýšení plynulosti činnosti zvedáku a zvýšení průchodnosti karoserií od linky Dekoru, které nebudou blokovány v důsledku obsazení otočného stolu, resp. zvedáku pro A4\_AUS, převládl jiný efekt. Tím bylo zvýšení celkové průměrné doby čekání zvedáku přesuvné stanice (viz Příloha č. 1, pozice H) na závěsový dopravník, který musí přejet přes oblast konzervace A4, jejíž obsazenost je nižší. (Příloha č. 10 uvádí daný úsek jako nájezd do pozice P5).

Protože nebylo dosaženo požadované produkce, pokračoval jsem v úpravě modelu. Úpravou kódu metod ovládajících příslušné prvky jsem optimalizoval nájezd závěsových dopravníků okruhu lakovny ke zvedáku karoserií A5 (viz Příloha č. 1, pozice M). Byla zkrácena doba nájezdu CP → Ver\_5 (viz Příloha č. 20). Úprava byla dosažena změnou poloh senzorů na prvcích představujících nájezdové úseky dopravníkové trati a upřesněním logiky řízení (viz Příloha č. 21) tak, aby četnost stavu „Ver\_5 čeká“ byla minimální. Další úprava se týkala řízení zvedáku. Ten podle nové logiky může s karoserií zahájit zdvih do horní pozice již v okamžiku, kdy závěsový dopravník pro navěšení této karoserie teprve přijíždí k pozici CP (viz Příloha č. 18). Protože to vyžaduje konstrukce závěsových dopravníků lakovny, je zachována posloupnost, ve které nejprve zaujme dopravník pozici na CP a poté teprve dojíždí zvedák s karoserií do horní pozice. Zvolil jsem časovou prodlevu 2s mezi oběma okamžiky, což při rychlosti zdvihu zvedáku 1m/s (neuvažuji a nebylo simulováno zpomalení před horní pozicí) znamená prostor 2m mezi plošinou zvedáku a horní úvratí. Tak byl podstatně zkrácen takt zvedáku. V praxi by bylo nutné přípustnost tohoto řešení ověřit. Rovněž jsem upravil nájezd a uvolnění kyvného stolu KS2 (viz Příloha č. 18), aby byl takt zvedáku dále zkrácen (posunem senzoru bylo zrychleno uvolnění KS2). Opět by v praxi bylo nutné ověřit možnosti provedení této změny.

Porovnání celkové průchodnosti původního modelu a modelu, ve kterém byly provedeny nastíněné změny, je uvedeno viz Příloha č. 28. Jak je vidět, dosaženo bylo opět jen malého zvýšení denní produkce, a to pouze pro výrobní programy s nízkým zastoupením

A4\_AUS. Ještě s výjimkou programu A4\_AUS / A5\_AUS = 91 / 235 má úprava negativní efekt.

Protože tedy úprava úseků dopravníkové techniky, které byly vytipovány jako úzká místa systému, nepřinesla výrazné a nepodmíněné zvýšení průchodnosti systému, aby tak byla dosažena požadovaná produkce již při původně stanoveném výrobním programu, bylo nutné se zaměřit na části modelu představující technologické úseky D13A.

V D13A jsou tyto technologické úseky: *Dekor*, *Zaplavovani\_A4*, *HRK*, *Osvit\_A4*, *Zaplavovani\_A5* a *Sveseni\_A4\_A5*. Nejvyšší takt z nich má *HRK* a *Osvit\_A4* (oba 96s). Mohly by být úzkým místem, ale vzhledem k tomu, že jimi prochází pouze karoserie A4\_AUS, jejichž podíl ve výrobním programu se pohybuje mezi 9,79% (program 76 / 250) a 14,95% (program 106 / 210), nepřinesla by úprava (zkrácení) taktu těchto úseků výrazné zvýšení průchodnosti celého systému. Podobně pro skupinu *Sveseni\_A4\_A5* s taktem 120s, kde sice prochází nezávisle na poměru A4\_AUS / A5\_AUS vždy 42,01% produkce, ovšem tok obou těchto typů karoserií směřujících na linku expedice je v D13A rozdělen (viz kapitola 5.1). Naopak skupinou *Zaplavovani\_A5\_Automat* a *Zaplavovani\_A5\_Rucni* s původním taktem 75s prochází 85,05% (výrobní program 116 / 210) až 90,21% (program 76 / 250) celkové produkce.

Z těchto důvodů jsem provedl další simulační experimenty ověřující, zda úsek *Konzervace\_A5* je úzkým místem systému. V modelu jsem ponechal úpravy technologických úseků (zvedáků). Snižoval jsem postupně takt skupin *Zaplavovani\_A5\_Automat* a *Zaplavovani\_A5\_Rucni* (dodržel jsem rovnost taktu obou skupin, neboť tyto jsou sériově zařazeny a bezprostředně na sebe navazují). Krok snížení taktu jsem zvolil 1s. Všechny experimenty byly provedeny pro výrobní program A4\_AUS / A5\_AUS = 76 / 250 (viz také požadovaná produkce – Tabulka 6-3, kde je tento výrobní program uveden v levé polovině tabulky).

Příloha č. 29 uvádí plán experimentů a jejich výsledky v grafické i tabelární formě. Ukázalo se, že snížením taktu na 72s je již celková průměrná denní produkce 776 karoserií dosažena a proto úsek *Konzervace A5* byl skutečně úzkým místem. Nicméně přehled průchodů jednotlivých typů karoserií ukazuje, že plán produkce A4\_AUS a A5\_MB dodržen nebyl (naopak byla překročena produkce A5\_AUS). V praxi je nutné ověřit, zda je snížení taktu *Konzervace A5* na 72s dosažitelné (podle informací, ze kterých jsem čerpal v části 5.1.4 lze snížit takt linky z původních 75s maximálně o 1,5s).

Ověření dosažení požadované produkce je jen jedna z mnoha možných analýz, které lze s modelem (na základě dat zpracovaných v APP) provádět. Dále jsem zkoumal ukazatele vztahující se k průchodu karoserií systémem. Výsledky těchto analýz uvedu v následující části.

### 6.3.3 Analýza průchodu karoserií systémem

Pomocí APP lze získat na základě analýzy průchodů karoserií mezi dvěma zvolenými EB přehled o kolísání obsazenosti zvoleného úseku vymezeného oběma EB a dále statistické charakteristiky vztahující se k době průchodu mezi těmito EB.

Časový průběh obsazenosti může být důležitým ukazatelem zejména pro oblast technologických úseků (vymezených pak vstupním a výstupním EB), kdy přílišné kolísání znamená nepravidelné a tudíž neekonomické vytížení linky. Je možné také sledovat hodnoty obsazenosti v jednotlivé dny (např. pracovní dny vs. víkend). Další užití má tato analýza při určování potřebné kapacity navrhovaného zásobníku, nebo sledování obsazenosti již existujícího zásobníku, což může napomoci při analýze úzkých míst (nízká obsazenost může znamenat úzké místo před zásobníkem apod.).

Hodnoty doby průchodu karoserií systémem jsou podstatné pro dodržení zvoleného režimu JIT. Jde o správné načasování vychystání komponent na příslušných linkách montáže pro konkrétní karoserii, jejíž průchod byl zaznamenán na EB na výstupu zásobníku na konci lakovny před vstupem do D13A (tento zásobník není do vytvořeného modelu zahrnut). Významná je zejména zjištěná minimální doba průchodu. Ta je současně maximální přípustnou dobou vychystání potřebných komponent na první lince montáže. Doba průchodu souvisí s požadavkem na dodržení plánované produkce. Vzhledem k tomu, že tok karoserií A5\_MB z lakovny do montáže je bez větvení (není paralelní) a bez odbočení do zásobníků (simulační model neobsahuje odbočku na kontrolní stanoviště popsané v kapitole 5.1.4), lze zde očekávat závislost mezi dobou průchodu a průchodností. Na druhou stranu mezi úsekem Konzervace A5 (za zvedákem přesuvné stanice – viz Příloha č. 1, pozice H) a linkami montáže je úsek dopravníkové trati, který je využíván jako zásobník rozpracované produkce. Jak bude vidět na dále uvedených analýzách, ten má významný vliv na vztah mezi průchodností modelu a dobou průchodu.

Z důvodu neexistence větvení toku A5\_MB nedochází ani k promíchání sekvence karoserií (lišících se výbavou, barvou, určeným typem pohodu atd.), takže analýzu velikosti bloku a dodržení sekvence (jako další možný výstup APP) jsem neprováděl. Ovšem v reálné výrobě (na rozdíl od modelu) je na konci lakovny již zmíněný zásobník, ze kterého vyjíždějí karoserie do D13A v obecně jiné sekvenci než je jejich průchod lakovnou. Pro účely dodržení dodávek komponent k linkám montáže v režimu JIS je třeba, aby výstup karoserií ze zásobníku splňoval jisté podmínky. Zejména je nežádoucí, aby karoserie, které mají určenou nadstandardní výbavu (např. pohon 4x4, střešní okno atd.), přicházely na pracoviště montáže v sekvenci za sebou. Montáž vozů s vyšší úrovní výbavy je časově náročnější, a proto je nepřijatelné zřetězení těchto vozů (karoserií) za sebou.

Příklad výstupu analýzy průběhu obsazenosti úseku mezi zvolenými EB uvádí Příloha č. 30. Jako vstupní byl zvolen EB „M100“, který se nachází za zdrojem karoserií v modelu (první EB ve smyslu toku karoserií). Výstupní EB byl „St\_MO\_3“, což je současně název prvku simulujícího jednu z linek montáže. Jak je na grafu vidět, obsazenost kolísala zhruba okolo hodnoty 75 karoserií. Odečtením nejvyšší hodnoty (maxima) a jeho porovnáním

s kapacitou všech prvků mezi příslušnými EB by bylo možné provést další kontrolu v rámci validace modelu. Totiž kontrolu nepřekročení kapacity prvků představující úseky s vymezenou kapacitou. Rovněž by bylo možné průběh obsazenosti analyzovat a zvolením vhodného měřítka rozlišit denní, resp. měsíční složku trendu apod. Požadován je ovšem ustálený proces, kdy (z již uvedeného hlediska rovnoměrnosti vytížení úseku) je kolísání obsazenosti nežádoucí.

V předchozích kapitolách 6.3.1 a 6.3.2 jsem provedl řadu simulačních experimentů s cílem zjistit dopad změn ve výrobním programu a také úprav modelu na průchodnost simulovaného systému. Kromě průchodnosti jsem zkoumal také vybrané charakteristiky doby průchodu karoserií mezi zvolenými EB. Těmi byly EB „M100“ a „Takt\_Montaze“. Srovnával jsem výsledky pro různé výrobní programy, pro různou délku taktu linky Konzervace A5 a také jsem porovnal výsledky dosažené s původním modelem a s modelem, ve kterém byly provedeny úpravy popsané v kapitole 6.3.2.

Zkoumal jsem vliv taktu skupin *Zaplavovani\_A5\_Automat* a *Zaplavovani\_A5\_Rucni* (simulujících úsek Konzervace A5) na charakteristiky doby průchodu pro původní i upravený model. Výsledky poskytuje Příloha č. 31 a Příloha č. 32. Na první pohled nečekané bylo zjištění, že s vyšším taktem Konzervace A5 je doba průchodu kratší. Vysvětlení je následující: dobu průchodu neovlivňuje pouze takt Konzervace A5, nýbrž také takty všech dalších technologických úseků. Ty zůstávají nezměněny. Mezi úsekem Konzervace A5 a linkami montáže je dopravníková trať sloužící jako zásobník vyrovnávající nerovnoměrnosti činností Konzervace A5 a montáže. V modelu jde zejména o prvek St\_33 (představující jistý úsek dopravníkové trati) o kapacitě 11 závěsových dopravníků. Při delším taktu skupin prvků představujících linku Konzervace A5 tak tento zásobní úsek není zaplňován s takovou intenzitou, jako při kratším taktu (nájezdy na St\_33 vykazují nižší četnost v čase). To má za následek plynulejší odběr dopravníků z St\_33 (přesněji v reálném systému jejich nájezd na první a další linku montáže). Naopak nízký takt Konzervace A5 má za následek rychlé zaplnění následných úseků dopravníkové trati (jejich akumulární schopnost je tak vyčerpána). Pohyb dopravníků dále je pak determinován taktem linek montáže (nikoliv Konzervace A5) a teoreticky také předcházejícími zvedáky (viz Příloha č. 1, pozice N), jejichž takt je však podstatně nižší než takt technologie montáže. Dále v rámci analýz doby průchodu provedené porovnání původního a upraveného modelu vyznělo příznivěji pro ten s úpravami (kratší doba průchodu ve všech charakteristikách).

Provedl jsem rovněž analýzu dopadu výrobního programu na dobu průchodu mezi stejnou dvojicí EB jako v předchozím případě. Výsledky ukazuje Příloha č. 33. Jsou zde opět zahrnuta data pro původní i upravený model. Na prvním grafu je vidět, že (přestože na základě trendu průchodnosti modelu bylo možné předpokládat opačný trend) u výrobních programů s vyšším podílem karoserií A4\_AUS je průměrná doba průchodu vyšší. Možné vysvětlení je toto: svěšování karoserie A4\_AUS do přízemí a její opětovné navěšení na dopravníky lakovny (viz Příloha č. 1 pozice G) může blokovat výjezd karoserií A5 z úseku Konzervace A5. Vyšší zastoupení A4\_AUS znamená, že k tomuto blokování dochází častěji

(resp. s vyšší pravděpodobností). Nepravidelnost výstupů z Konzervace A5 (zejména u karoserie A5\_MB) se projeví méně intenzivním zaplňováním (průjezdy) úseku dopravníkové trati za zvedákem přesuvné stanice před vstupem do montáže. Je třeba si uvědomit, že zatímco průchodnost byla sledována na EB „Dekor“, doba průchodu nezávisí (pouze) na průchodech karoserií linkou Dekoru, nýbrž též na vzájemném vytížení (blokování, synchronizaci...) dalších úseků. Současné provedené srovnání původního modelu a modelu s úpravou logiky řízení vytipovaných úseků ukazuje, že úpravou logiky řízení bylo dosaženo zkrácení této doby u všech testovaných výrobních programů.

## 6.4 Návrhy dalších opatření vedoucí ke zvýšení průchodnosti dopravníkového systému

Na základě analýzy úzkých míst byly navrženy a otestovány určité změny, které nevyžadují zásadní stavební úpravy v dopravníkovém mostě. V této části práce uvedu několik možných úprav uspořádání dopravníkové techniky v D13A, které mají za cíl zvýšit průchodnost systému, resp. zabránit jeho zablokování<sup>30</sup>. Některá z těchto opatření jsou již v současné době v provozu realizována, avšak ve stávajícím modelu v SimPro (a tudíž ani v nově vytvořeném modelu v Plant Simulation) nebyla zohledněna. Dále budou uvedeny vlastní návrhy změn uspořádání.

Nejvýznamnější změny, které již v dopravníkové technice byly uplatněny a ve kterých se tedy simulovaná realita liší od vytvořeného modelu, jsou následující:

- Odbočná větev pro volné závěsové dopravníky lakovny (viz Obr. 5-2 na str. 32, pozice 9) – výhybka se nachází před zvedákem pro navěšení A5 na dopravníky. Odbočná větev může být použita v případě, kdy je blokována oblast svěšování do pobočných závodů (na Obr. 5-2 pozice 17). K blokování dochází v intervalech, kdy nájezd A5 ke zvedáku (pozice 10 na tomtéž obrázku) není plynulý (zvláště u výrobních programů s vysokým podílem A4\_AUS, kdy může v důsledku blokování otočného stolu dojít dokonce k úplnému zablokování nájezdu pro A5). Z odbočné větve do pracovního okruhu dopravníků může prázdný dopravník najet (v situaci toto vyžadující – dle logiky řízení). V tom případě úsekem Konzervace A5 prochází následně dopravník, který karoserii A5 nenese.
- Okruh údržby závěsových dopravníků lakovny (viz Obr. 5-2, pozice 8) – v modelu je simulováno pouze najetí dopravníků do pracovního okruhu (na počátku simulace), není simulována vratná větev do okruhu údržby. Do ní v provozu odbočí pouze poškozený dopravník, ovšem (nouzově) by bylo možné kapacitu větve použít též pro uvolnění oblasti svěšování podobně, jako je to popsáno v bodu výše.

<sup>30</sup> V současnosti hrozí (teoreticky) nebezpečí zablokování otočného stolu v místě identifikace karoserií při výrobních programech s vysokým podílem karoserií A4\_AUS.

Další body tvoří návrhy na úpravu uspořádání úseků dopravníkových tratí. Není zde řešena proveditelnost těchto úprav, byla by nutná konzultace v rámci příslušného oddělení. Samozřejmě omezením je rovněž vysoká finanční náročnost těchto úprav, navíc často spojených s omezením provozu výroby.

- Napojení odbočné větve pro prázdné závěsové dopravníky okruhu montáže již před zvedákem pro A4\_AUS (viz Obr. 5-2 na str. 32, pozice 2) – posunutím příslušné výhybky před zvedák by vznikla situace podobná jako u zvedáku karoserií A5 (viz první bod předchozího přehledu). Ve spojení s vhodnou logikou řízení by byl možný nájezd volných závěsových dopravníků k místu pro navěšení A5\_MB (viz pozice 6 na Obr. 5-2) i v případě, že linka Konzervace A4 a zvedák pro A4 jsou obsazeny. Navíc by tak byla prodloužena odbočná větev, jejíž kapacita by se tak zvýšila. Otázkou je možnost zabudování prodloužení větve, které by vedlo paralelně s linkou Konzervace A4 – prostorová náročnost apod.
- Umožnění průjezdu volného závěsového dopravníku okruhu montáže přes pozici navěšení A5\_MB (viz Obr. 5-2 na str. 32, pozice 6) alternativně s odbočením zpět před čekací pozici před zvedákem A4 (viz Příloha č. 8, pozice CP) – smyslem opatření by bylo uvolnění úseků Konzervace A4 v případě, že jsou všechny příslušné pozice obsazeny dopravníky a zvedák A4 (spolu s předřazeným otočným stolem) tak může být blokován. V současnosti aplikovaná logika řízení zastaví volný dopravník na pozici P5 (viz Příloha č. 13), odkud najíždí na pozici ZPS jediné při navěšení karoserie A5\_MB. V případě, že se již A5\_MB v úseku Konzervace A5 nenachází, bude dopravník zbytečně blokovat uvolnění předchozích pozic (P4, P3 a úseky Konzervace A4). Umožněním jeho průjezdu se docílí uvolnění předcházejících pozic a úseků a tím i zvedáku pro A4\_AUS a také otočného stolu. Povel k přejezdu by byl vydán jen za podmínek absence A5\_MB v úsecích následujících otočný stůl (viz Příloha č. 1, pozice D), tj. v úsecích značených pozicemi J, K a L ve stejné příloze. Za současné logiky řízení zůstane dopravník v této situaci trvale zastaven na pozici P5. Dále je třeba vyřešit návrat volného dopravníku, který projede přes ZPS, zpět před zvedák pro A4\_AUS, resp. za předchozí dopravník čekající v pozici CP (viz Příloha č. 8). Je-li možný průjezd prázdného dopravníku navazujícími úseky montáže, není další úprava nutná. V opačném případě navrhuji zřídit odbočku v místě před zvedáky závěsových dopravníků na rozhraní D13A – M13 (viz Příloha č. 1, pozice N). Jak je v příloze na podkladu vidět, dříve tato vratná větev dopravníkové trati existovala, její začlenění by tedy nemuselo být problematické.

## 7 Shrnutí dosažených výsledků

Pomocí nově vytvořeného simulačního modelu v prostředí Plant Simulation jsem ověřil dosažení požadované průměrné denní produkce vozu Octavia, jehož karoserie procházejí výrobním úsekem, který byl předmětem simulace. Provedl jsem řadu simulačních experimentů, které vedly k výsledkům uvedeným v kapitole 6.3 a v přílohové části diplomové práce.

Zjistil jsem, že ve stávajícím systému není možné dosáhnout požadovanou produkci. Navrhl jsem tedy optimalizaci logiky řízení oblastí představujících manipulační úseky simulované části výroby. Tyto úpravy jsou popsány v části 6.3.2. Výsledky simulačních testů s takto upraveným modelem však neprokázaly uspokojivé zvýšení průchodnosti simulovaného systému.

Na základě úvah uvedených dále v kapitole 6.3.2 jsem navrhl zkrácení taktu linky Konzervace A5, kde probíhá konzervace karoserií současné generace vozu Octavia. Vzhledem k tomu, že zkrácením taktu příslušných pracovišť bylo na základě dalších simulačních experimentů prokázáno zvýšení průchodnosti, lze považovat linku Konzervace A5 za úzké místo celého systému. Požadovaná celková průměrná denní produkce byla dosažena při taktu 72s. To ovšem znamená zkrácení o více než 1,5s (které jsou považovány za limitní) z původního taktu 75s. Navíc nebyla dosažena stanovená (dílčí) produkce jednotlivých typů karoserií určených původním výrobním programem. Zhledem ke zjištěnému vlivu výrobního programu a taktu linky Konzervace A5 na průchodnost systému lze při očekávaném spolupůsobení obou vlivů přistoupit ke kompromisnímu řešení. To bude spočívat ve snížení taktu Konzervace A5 jen o nejnižší nutnou hodnotu, aby byla při zvoleném modelovém mixu požadovaná produkce dosažena. U jistých výrobních programů tak vůbec nebude nutné ke zkrácení taktu linky Konzervace A5 přistoupit, resp. bude nutné jen malé snížení taktu.

V rámci prováděných simulačních experimentů jsem kromě průchodnosti systému zpracoval další analýzy. Nejvýznamnější zjištění se týkala doby průchodu karoserií mezi EB „M100“, tj. vstupem do haly lakovny a EB „Takt\_Montáže“, tj. posledním úsekem haly montáže. Doba průchodu karoserií takto vymezeným úsekem se zkracovala s tím, jak se prodlužoval takt linky Konzervace A5. Naopak u výrobních programů, kde byla s vyšším podílem zastoupena karoserie A4\_AUS (starší model vozu Octavia), doba průchodu karoserií rostla. Zjištěné závislosti tak vyvrátily nabízející se domněnku, že totiž vyšší průchodnost systémem je nutně spojená s kratší dobou průchodu mezi zvolenými evidenčními body. Najevo tak vyšel vliv úseku dopravníkové trati, která přes dopravníkový most pokračuje do haly montáže. Tento úsek funguje současně jako zásobník a vyrovnává rozdíly v režimech provozu technologických úseků v oblasti D13 a v hale montáže. Porovnáním původního modelu a modelu s úpravami vztahujícími se k logice řízení vytipovaných oblastí manipulační techniky jsem dále zjistil, že úpravy modelu vedly ke zkrácení doby průchodu.

## 8 Závěr

Na základě stávajícího simulačního modelu dopravníkového mostu mezi provozem lakovny a montáže v prostředí SimPro jsem vytvořil nový model v prostředí simulačního software Plant Simulation. Tento model je v práci popsán. Popis vychází z provedené systémové analýzy dopravníkové techniky používané v dané výrobní oblasti a dále z pojmového modelu opírajícího se o poznatky získané rozбором stávajícího simulačního modelu v SimPro.

S novým simulačním modelem jsem provedl řadu experimentů. Ty ověřovaly průchodnost dopravníkového mostu při různých výrobních programech. Na základě výsledků těchto simulačních experimentů, které jsou v práci rovněž uvedeny, jsem přešel k analýze úzkých míst simulované výrobní oblasti. Postup a výsledky této analýzy, stejně jako návrh opatření, která mají zvýšit průchodnost, jsou dále uvedeny v praktické části práce. Další simulační experimenty s upraveným modelem ověřily dopady navrhovaných změn. Výsledky jsou v práci popsány a z nich vyplývající doporučení jsou shrnuta.

V závěru praktické části práce jsou nastíněna další možná opatření vyžadující rozsáhlejší stavební úpravy v dopravníkovém mostu. Cílem těchto úprav je zvýšení průchodnosti daného úseku výroby a také snížení rizika zablokování dopravníkového systému při nevhodné sekvenci procházejících karoserií, která při nepřizpůsobení výrobnímu programu může k takovému zablokování vést.

## 9 Seznam použitých zdrojů

1. ŠTOČEK, Jiří. *Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě*. Brno, 2004. 114 s. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav dopravní techniky, Odbor stavebních a transportních strojů.
2. ČSN 26 0001. *Dopravní zařízení - Názvosloví a rozdělení*. Praha : Český normalizační institut, 12. 4. 1989. 249 s.
3. BANGSHOW, Steffen. *Fertigungssimulationen mit Plant Simulation und SimTalk: Anwendung und Programmierung mit Beispielen und Lösungen*. 1. Ausgabe. München : Carl Hanser Verlag, 2008. 288 s. Dostupné z www: <<http://books.google.cz/books>>. ISBN 978-3-446-41490-7.
4. VOTRUBA, Zdeněk; KALIKOVÁ, Jana, KALIKA, Marek. *Systémová analýza*. Vyd 2. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. 192 s. ISBN 978-80\_01-0401-2.
5. VDI 3633. Logistik, VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluß. místo neznámé : VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluß Logistik, 1996. VDI 3633.
6. ZEIGLER, Bernard P.; PRAEHOFER, Herbert; KIM, Tag Gon. *Theory of modeling and simulation : Integrating discrete event and continuous complex dynamic systems [online]*. second edition. San Diego (California) : Academic Press, 1976 [cit. 2010-03-12]. Framework for modeling and simulation. Dostupné z www: <<http://books.google.cz>>. ISBN 0-12-778455\_1.
7. WANG, Yufei. *Methode für die simulationsunterstützte Optimierung am Beispiel von Montagesystemen*. München : Carl Hanser Verlag, 1995. 161 s. ISBN 3-446-18171-7.
8. KUHN, Axel; RABE, Markus. *Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung*. vyd. 1. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 1998. 199 s. ISBN 3-540-63854-7.
9. HUŠEK, Roman; LAUBER, Josef. *Simulační modely*. vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury., 1987, 352 s. ISBN 04-326-87.
10. RÁBOVÁ, Zdeňka, et al. *Modelování a simulace*. vyd. 3. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992, 227 s. ISBN 80-214-0480-9.
11. KLIMEŠ, Roman. *Aplikace diskrétní simulace pro potřeby koncepčního plánování v hromadné výrobě automobilů*. Brno, 2008. 116 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství.
12. ŠTASTNÝ, Jiří. *Počítačová simulace a informační systémy*. druhé přepracované vydání. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 151 s. ISBN 80-214-0460-4.

13. PELC, Václav. ČSN 26 9004. *Manipulační jednotky - Názvosloví*. Praha : Český normalizační institut, 1983.
14. Wikipedie. *otevřená encyklopedie*. [Online] [Cit. 12. 03. 2010] Dostupné z www: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Objektov%C4%9B\\_orientovan%C3%A9\\_programov%C3%A1n%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Objektov%C4%9B_orientovan%C3%A9_programov%C3%A1n%C3%AD)>.



## 10 Seznam použitých zkratk a symbolů

### 10.1 Seznam použitých zkratk

| Zkratka   | Význam                                                                                                       |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A         | množina prvků systému                                                                                        |
| A4        | karoserie vozu Octavia první generace                                                                        |
| A4_AUS    | karoserie vozu Octavia první generace určená k expedici do pobočných závodů                                  |
| A5        | karoserie vozu Octavia druhé generace                                                                        |
| A5_AUS    | karoserie vozu Octavia druhé generace určená k expedici do pobočných závodů                                  |
| A5_MB     | karoserie vozu Octavia druhé generace určená k montáži v závodu v Mladé Boleslavi                            |
| and       | a zároveň, logická spojka významu konjunkce používaná v jazyce SimTalk                                       |
| APP       | analyzátor výroby Škoda – Auto, a.s. (Analyser of production prcesses)                                       |
| BEO       | beweglicher Objekt – typ prvku v simulačních modelech představující předmět materiálového toku               |
| CP        | čekací pozice (místo zastavení závěsového dopravníku)                                                        |
| CP_1      | pozice pro volný skid v přízemí dopravníkového mostu                                                         |
| D13A      | dopravníkový most mezi provozem lakovny a montáže modelové řady Octavia                                      |
| DLZ_Dekor | prvek představující pracoviště linky dekoru                                                                  |
| DPZ       | dolní pozice zvedáku                                                                                         |
| EB        | evidenční bod – místo, kde jsou zaznamenávány průchody karoserií                                             |
| else      | jinak, část logické podmínky významu implikace v jazyce SimTalk                                              |
| elseif    | jinak pokud, část logické podmínky významu implikace v jazyce SimTalk                                        |
| Ent_3     | prvek simulující prodlevu při svěšení karoserie ze závěsového dopravníku na zvedák                           |
| F         | množina funkcí jednotlivých prvků systému                                                                    |
| false     | nepravda (hodnota logické, booleovské, proměnné)                                                             |
| FIFO      | „First In, First Out“ – typ fronty, kdy první příchozí prvek je současně prvním prvkem, který frontu opouští |
| HPZ       | horní pozice zvedáku                                                                                         |
| ID        | místo identifikace typu karoserií (A5_AUS / A5_MB)                                                           |
| JIS       | just in sequence, druh logistické technologie (dodávky „v přesné posloupnosti“)                              |
| JIT       | just in time, druh logistické technologie (dodávky „právě v čas“)                                            |
| KS        | kyvný stůl                                                                                                   |
| KS2       | kyvný stůl před zvedákem karoserií A5                                                                        |

|                  |                                                                                                    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| L                | levý zvedák (z dvojice zvedáků skupiny „zvedák přesuvné stanice“)                                  |
| LD               | levý zvedák skupiny „zvedák přesuvné stanice“ v dolní poloze                                       |
| LH               | levý zvedák skupiny „zvedák přesuvné stanice“ v horní poloze                                       |
| M11B             | hala lakovny                                                                                       |
| M13              | hala montáže                                                                                       |
| or               | nebo, logická spojka významu disjunkce používaná v jazyce SimTalk                                  |
| OS               | otočný stůl                                                                                        |
| PD               | přesuvný dopravník v přízemí skupiny „zvedák přesuvné stanice“                                     |
| PDOL             | přesuvný dopravník v přízemí „zvedáku přesuvné stanice“ v levé úvratí                              |
| PDOR             | přesuvný dopravník v přízemí „zvedáku přesuvné stanice“ v pravé úvratí                             |
| PKS              | pozice kyvného stolu (kyvný stůl je připraven pro nájezd skidu s karoserií)                        |
| PL               | počátek linky konzervace karoserií A4                                                              |
| Plant Simulation | simulační software Plant Simulation                                                                |
| QD               | zdroj závěsových dopravníků vstupujících do okruhu lakovny (v modelu)                              |
| R                | pravý zvedák (z dvojice zvedáků skupiny „zvedák přesuvné stanice“)                                 |
| R/P              | množina relací mezi prvky systému                                                                  |
| RD               | pravý zvedák skupiny „zvedák přesuvné stanice“ v dolní poloze                                      |
| RGB              | Regalbediengerät – typ prvku v SimPro určený pro simulaci činnosti zvedáku                         |
| RH               | pravý zvedák skupiny „zvedák přesuvné stanice“ v horní poloze                                      |
| S                | systém                                                                                             |
| SimPro           | simulační software SimPro                                                                          |
| SimTalk          | programovací jazyk používaný v prostředí Plant Simulation                                          |
| SP               | senzor přejezdu závěsových dopravníků po navěšení karoserie A5                                     |
| St_1             | pozice pro výjezd skidu s karoserií z linky dekoru                                                 |
| St_2             | příčný přesuvný dopravník mezi linkou dekoru a otočným stolem                                      |
| St_3             | příčný přesuvný dopravník mezi otočným stolem a zvedákem karoserií A4                              |
| St_43            | úsek dopravníkové trati uvolněných závěsových dopravníků v hale montáže po svěšení karoserie A5_MB |
| St_54            | prvek představující skidovou dopravníkovou trať v přízemí mostu                                    |
| St_55            | prvek představující skidovou dopravníkovou trať v přízemí mostu                                    |
| St_56            | prvek představující skidovou dopravníkovou trať v přízemí mostu                                    |
| St_lack_6        | prvek představující linku lakovny na vstupu zvedáku v úseku lakovny                                |
| St_lack_7        | prvek představující linku lakovny na výstupu zvedáku v úseku lakovny                               |
| St_lack_9        | prvek představující linku, jež určuje takt příchodu karoserií z lakovny                            |
| St_Z             | přesuvný dopravník pro přesun skidu zpět ke kyvnému stolu v přízemí dopravníkového mostu           |
| SW               | software                                                                                           |
| Takt_Dekor       | prvek představující pozici pro výjezd skidu od zvedáku Zvedák_2                                    |
| Takt_Montaze     | prvek představující linku montáže, část skidové dopravníkové trati                                 |

|          |                                                                                                           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| then     | potom, část logické podmínky významu implikace v jazyce SimTalk                                           |
| TPS      | Tages-Produktion-Schild, štítek připevněný na karoserii označující její typ                               |
| True     | pravda (hodnota logické, booleovské, proměnné)                                                            |
| Ver_5    | prvek představující výhybku dopravníkové trati spojující zásobní úsek ZD a zdroj závěsových dopravníků QD |
| Z        | zvedák pro spouštění karoserií A4 do přízemí dopravníkového mostu                                         |
| ZD       | dolní pozice zvedáku pro spouštění karoserií A4 do přízemí mostu                                          |
| ZH       | horní pozice zvedáku pro spouštění karoserií A4 do přízemí mostu                                          |
| ZPS      | skupina dvou zvedáku „zvedák přesuvné stanice „                                                           |
| ZV       | zvedák vysunující karoserie A5_AUS do horního podlaží mostu                                               |
| ZV2      | zvedák svěšující karoserie na linku expedice do pobočných závodů                                          |
| ZV2D     | dolní poloha zvedáku svěšujícího karoserie na linku expedice                                              |
| ZV2H     | horní poloha zvedáku svěšujícího karoserie na linku expedice                                              |
| ZVD      | zvedák vysunující karoserie A4_AUS do horního podlaží v horní poloze                                      |
| Zvedák_1 | zvedák pro vyrovnání výškového rozdílu mezi linkami v úseku lakovny                                       |
| Zvedák_2 | zvedák pro vyrovnání výškového rozdílu mezi skidovým dopravníkem lakovny a navazující linkou dekoru       |
| ZVH      | zvedák vysunující karoserie A4_AUS do horního podlaží v horní poloze                                      |
| 2D       | dvourozměrný prostor, dvě dimenze                                                                         |
| 4x4      | náhon na všechna čtyři kola podvozku automobilu                                                           |

## 10.2 Seznam použitých symbolů

| Symbol                   | Jednotka  | Význam                                                                   |
|--------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|
| H                        | [-]       | počet hodin denně, kdy je simulované pracoviště v činnosti               |
| P                        | [aut/den] | teoreticky dosažitelná průchodnost skupiny prvků                         |
| R(t)                     | [-]       | pravděpodobnost bezporuchového provozu, funkce spolehlivosti             |
| R <sup>2</sup>           | [-]       | spolehlivost (těsnost) regresní křivky proložené daty v příslušném grafu |
| T                        | [s]       | takt pracoviště                                                          |
| t <sub>nájezd</sub>      | [s]       | doba nájezdu objektu na prvek představující pracoviště                   |
| t <sub>odjezd</sub>      | [s]       | doba odjezdu objektu z prvku představujícího pracoviště                  |
| t <sub>technologie</sub> | [s]       | doba zdržení objektu na prvku představujícím pracoviště                  |

## 11 Seznam obrázků a tabulek

### 11.1 Seznam obrázků

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 3-1 Příklad válečkové trati .....                                                                                                   | 12 |
| Obr. 3-2 Dvousloupový zvedák (jeden vstup a jeden výstup) a jeho pracovní fáze .....                                                     | 13 |
| Obr. 3-3 Kyvný stůl (jeden vstup a jeden výstup) a jeho pracovní fáze při jednom přepravním cyklu .....                                  | 14 |
| Obr. 3-4 Příčný přesuvný dopravník (jeden vstup a jeden výstup) a jeho pracovní fáze při jednom přepravním cyklu .....                   | 15 |
| Obr. 3-5 Příčný pásový dopravník (jeden vstup a jeden výstup) a jeho pracovní fáze .....                                                 | 16 |
| Obr. 3-6 Závěsový dopravník .....                                                                                                        | 16 |
| Obr. 4-1 Základní princip simulace .....                                                                                                 | 21 |
| Obr. 4-2 Pracovní okno programu Plant Simulation .....                                                                                   | 27 |
| Obr. 5-1 Rozbor toku karoserií ve výrobní oblasti D13A .....                                                                             | 31 |
| Obr. 5-2 Pohyb závěsových dopravníků v úseku D13A .....                                                                                  | 32 |
| Obr. 5-3 Pohyb skidů v přízemí dopravníkového mostu D13A .....                                                                           | 33 |
| Obr. 5-4 Tok karoserií a pracoviště v horním podlaží dopravníkového mostu D13A .....                                                     | 34 |
| Obr. 5-5 Tok karoserií a pracoviště v přízemí dopravníkového mostu D13A .....                                                            | 35 |
| Obr. 6-1 Rozdíl SimPro vs. Plant Simulation u délkově orientovaných objektů .....                                                        | 47 |
| Obr. 6-2 Sekvence prvků simulující pracoviště zaplavování A5, rozdíl modelu v SimPro a v Plant Simulation .....                          | 56 |
| Obr. 6-3 Významné body a úseky v pohybu závěsových dopravníků motnáží .....                                                              | 59 |
| Obr. 6-4 Nastavení prvku směnový kalendář v modelu v Plant Simulation .....                                                              | 61 |
| Obr. 6-5 Příklad grafického přehledu průchodu objektů vybraným evidenčním bodem jako kontrola správné simulace směnového kalendáře ..... | 62 |

### 11.2 Seznam tabulek

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabulka 6-1 Přehled skupin prvků s nastavitelným taktem, směny a poruchami .....        | 62 |
| Tabulka 6-2 Výsledky testu průchodnosti skupin prvků v modelu v Plant Simulation .....  | 64 |
| Tabulka 6-3 Požadovaná průměrná denní produkce (průchodnost) simulovaného systému ..... | 65 |
| Tabulka 6-4 Průchodnost systémem při různých výrobních programech .....                 | 66 |
| Tabulka 6-5 Výrobní program dosahující nejbližší celkovou požadovanou produkci .....    | 66 |
| Tabulka 6-6 Porovnání dosažené produkce pro původní a upravený model .....              | 68 |

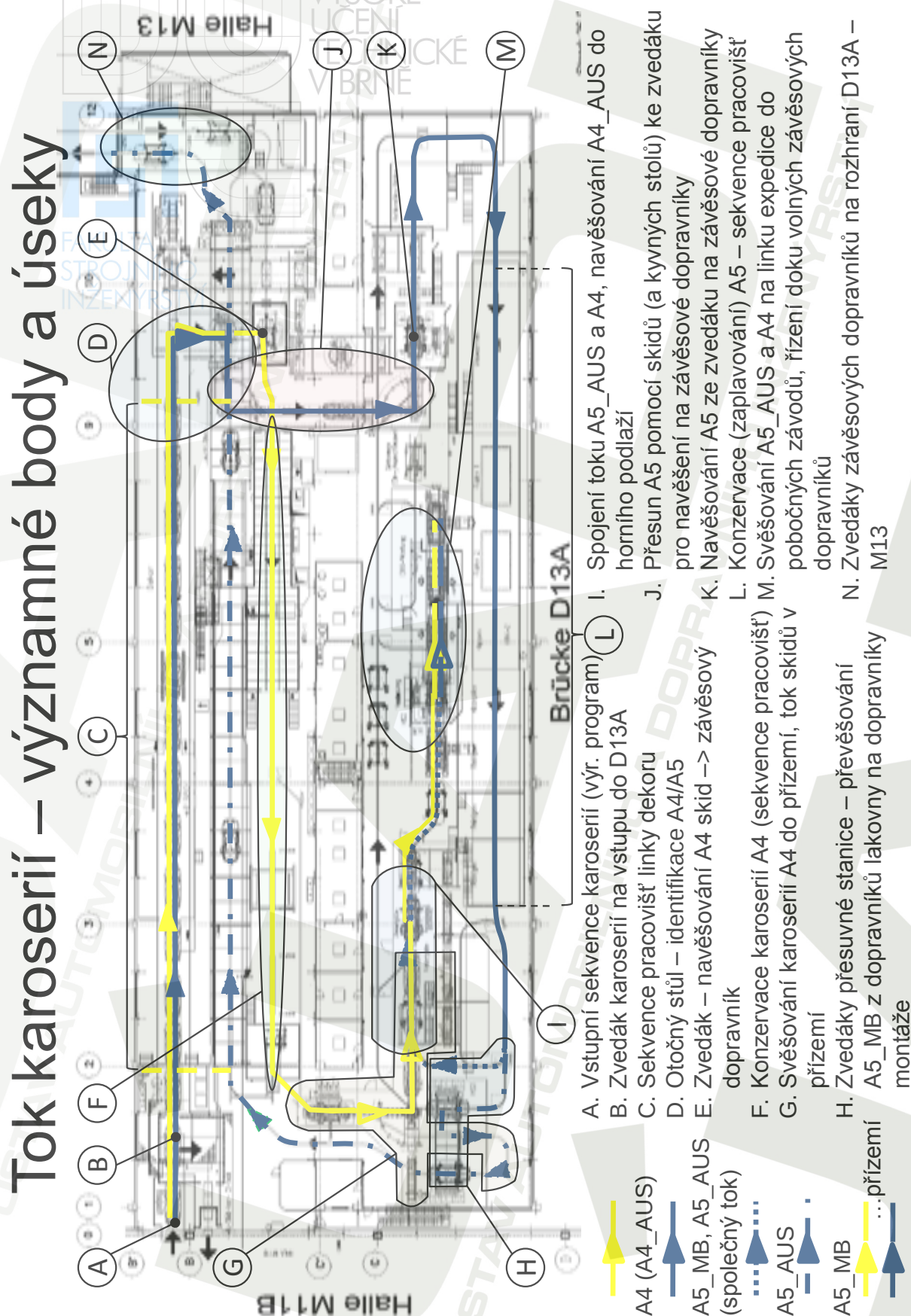
**12 Seznam příloh**

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Příloha č. 1 Tok karoserií – významné body a úseky .....                                                                                                         | 84  |
| Příloha č. 2 Zvedák_1 v úseku lakovny.....                                                                                                                       | 85  |
| Příloha č. 3 Logika řízení Zvedáku_1 v úseku lakovny .....                                                                                                       | 86  |
| Příloha č. 4 Zvedák_2 na vstupu do D13A.....                                                                                                                     | 87  |
| Příloha č. 5 Logika řízení Zvedáku_2 na vstupu do D13A .....                                                                                                     | 88  |
| Příloha č. 6 Otočný stůl s identifikací karoserií A4 /A5 .....                                                                                                   | 89  |
| Příloha č. 7 Logika řízení otočného stolu a identifikace karoserií A4 / A5 .....                                                                                 | 90  |
| Příloha č. 8 Zvedák pro navěšení karoserií A4 na závěsové dopravníky montáže .....                                                                               | 91  |
| Příloha č. 9 Logika řízení navěšování karoserií A4 na závěsové dopravníky .....                                                                                  | 92  |
| Příloha č. 10 Svěšování karoserií A4_AUS do přízemí.....                                                                                                         | 93  |
| Příloha č. 11 Logika řízení pohybu závěsových dopravníků v místě svěšování karoserií A4_AUS do přízemí .....                                                     | 94  |
| Příloha č. 12 Logika řízení pohybu skidu při přesunu na pozici S (přízemí) .....                                                                                 | 95  |
| Příloha č. 13 Zvedák přesuvné stanice .....                                                                                                                      | 96  |
| Příloha č. 14 Logika řízení převěšování A5_MB mezi závěsovémi dopravníky úseku lakovny a montáže na zvedacích přesuvné stanice .....                             | 97  |
| Příloha č. 15 Řízení prepouštění volných závěsových dopravníků od místa navěšování karoserií A4 .....                                                            | 99  |
| Příloha č. 16 Spojení toku karoserií A5_AUS a A4_AUS, navěšování A4_AUS do horního podlaží.....                                                                  | 100 |
| Příloha č. 17 Logika řízení pohybu skidů a toku karoserií A4_AUS v přízemí .....                                                                                 | 102 |
| Příloha č. 18 Navěšování karoserií A5 ze zvedáku na závěsové dopravníky .....                                                                                    | 104 |
| Příloha č. 19 Logika řízení navěšování karoserií A5 ze zvedáku na závěsové dopravníky okruhu lakovny .....                                                       | 105 |
| Příloha č. 20 Svěšování A5_AUS a A4_AUS na linku expedice do pobočných závodů, tok prázdných závěsových dopravníků .....                                         | 106 |
| Příloha č. 21 Logika řízení svěšování karoserií A5_AUS a A4_AUS na linku expedice do pobočných závodů a logika sloučení toku volných závěsových dopravníků ..... | 107 |
| Příloha č. 22 Logika řízení nájezdu závěsových dopravníků na konec (výjezdovou pozici) zásobníku dopravníků ZD .....                                             | 108 |
| Příloha č. 23 Svěšování A5_MB v úseku montáže ze závěsových dopravníků na skidy.....                                                                             | 109 |

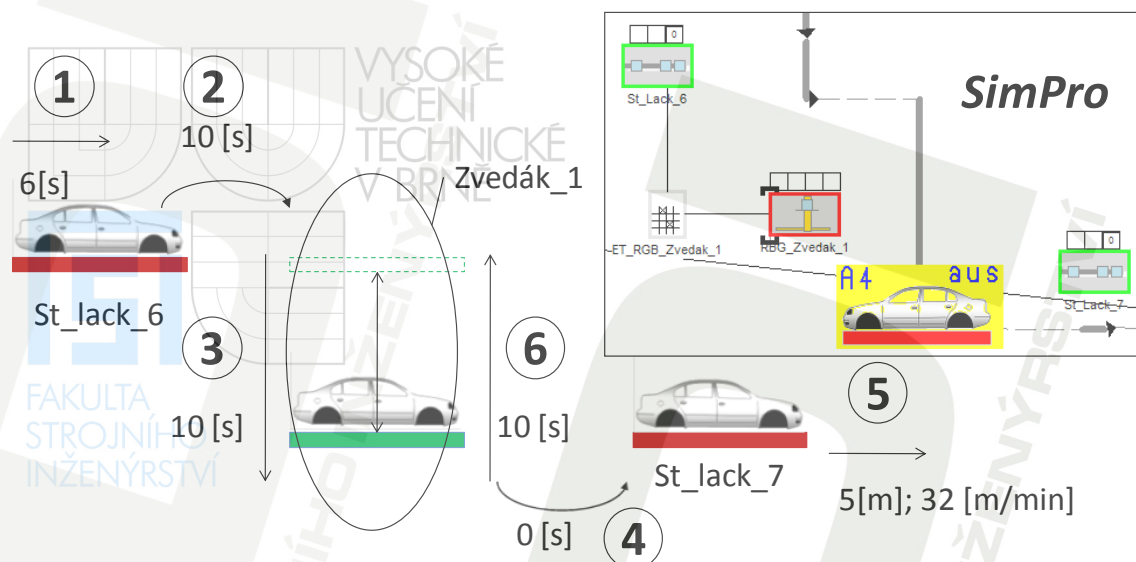
|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Příloha č. 24 Logika řízení svěšování A5_MB v úseku montáže .....                                                                          | 109 |
| Příloha č. 25 Grafický výstup APP pro účely kontroly průchodnosti vybraných úseků modelu .....                                             | 111 |
| Příloha č. 26 Růst průchodnosti modelu podle změny výrobního programu .....                                                                | 111 |
| Příloha č. 27 Poměrné zastoupení jednotlivých typů karoserií ve výsledné produkci pro různé výrobní programy .....                         | 112 |
| Příloha č. 28 Vliv optimalizace modelu na jeho průchodnost .....                                                                           | 113 |
| Příloha č. 29 Změna průchodnosti modelu dle taktu linky Konzervace A5 .....                                                                | 114 |
| Příloha č. 30 Ukázka grafu průběhu obsazenosti úseku mezi zvolenými evidenčními body .....                                                 | 115 |
| Příloha č. 31 Průměrná doba průchodu karoserií mezi evidenčními body dle výrobního programu pro původní i optimalizovaný model .....       | 115 |
| Příloha č. 32 Analýza doby průchodu karoserií mezi evidenčními body dle taktu linky Konzervace A5 pro původní i optimalizovaný model ..... | 116 |
| Příloha č. 33 Analýza doby průchodu karoserií mezi evidenčními body dle výrobního programu pro původní i optimalizovaný model .....        | 117 |

# 13 Přílohy k diplomové práci

Příloha č. 1 Tok karoserií – významné body a úseky



## Příloha č. 2 Zvedák\_1 v úseku lakovny



- St\_lack\_6 ... linka lakovny na vstupu zvedáku
- Zvedák\_1 ... zvedací stůl pro vyrovnání výškového rozdílu
- St\_lack\_7... linka lakovny na výstupu zvedáku

- 1 – příjezd karoserie na skidu na pozici (linku) St\_lack\_6
- 2 – předání karoserie z linky St\_lack\_6 na (připravený) zvedák
- 3 – spuštění zvedáku s karoserií dolů
- 4 – předání karoserie ze zvedáku na následující linku St\_lack\_7
- 5 – přejezd skidu s karoserií přes linku St\_lack\_7
- 6 – vysunutí zvedáku zpět do (výchozí) horní pozice

St\_lack\_6 vstup uzavřen – na linku St\_lack\_6 nemohou najíždět další karoserie, její vstup je uzavřen,

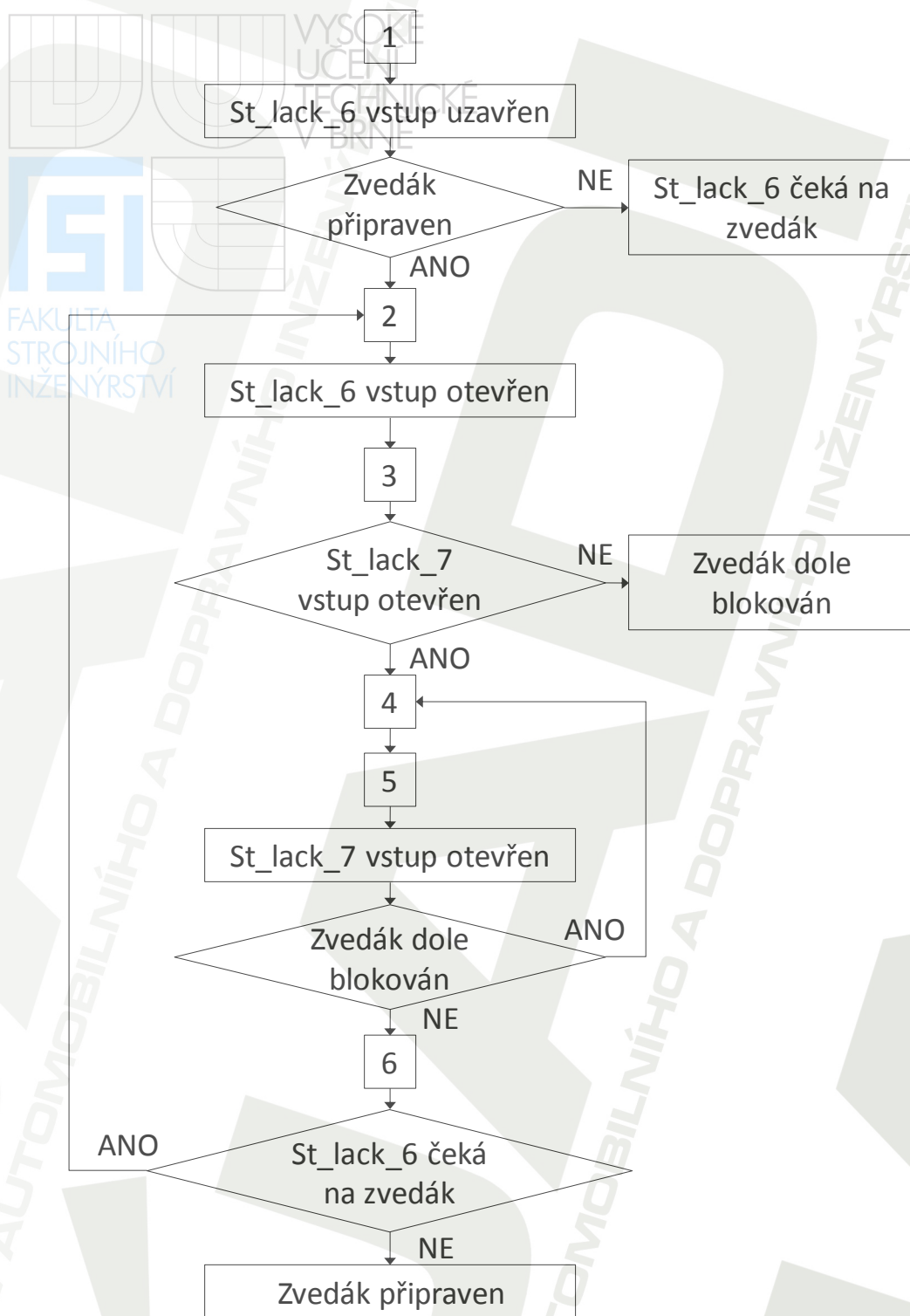
St\_lack\_6 vstup otevřen – na linku St\_lack\_6 mohou najíždět karoserie,

Zvedák připraven – Zvedák\_1 je neobsazen v horní pozici, čeká na předání karoserie od St\_lack\_6,

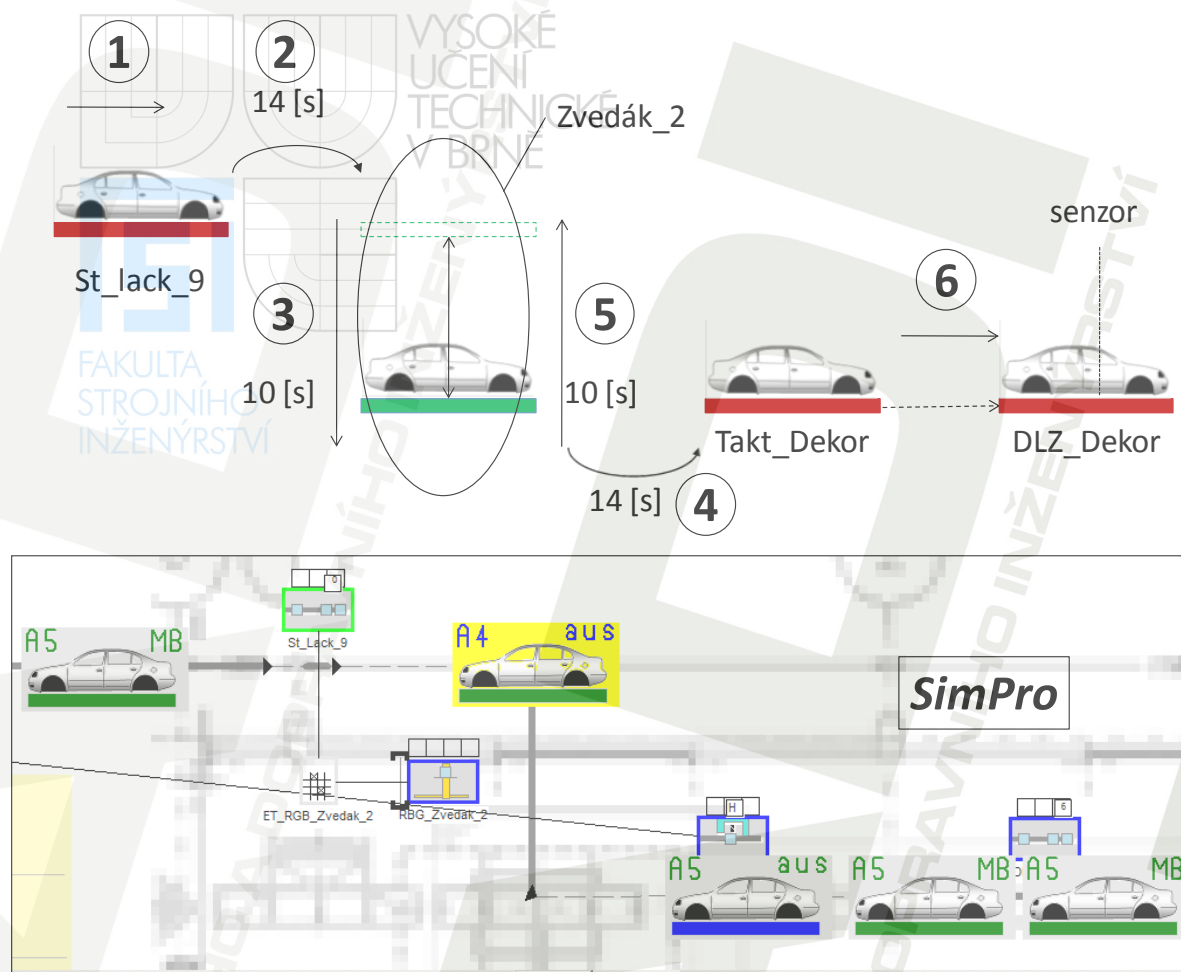
St\_lack\_7 vstup otevřen – na linku St\_lack\_7 může být ze zvedáku přeložena karoserie (linka není obsazena),

Zvedák dole blokován – Zvedák\_1 obsazený karoserií v dolní pozici nemůže tuto předat na St\_lack\_7, protože vstup St\_lack\_7 je uzavřen (St\_lack\_7 je obsazena)

Příloha č. 3 Logika řízení Zvedáku\_1 v úseku lakovny



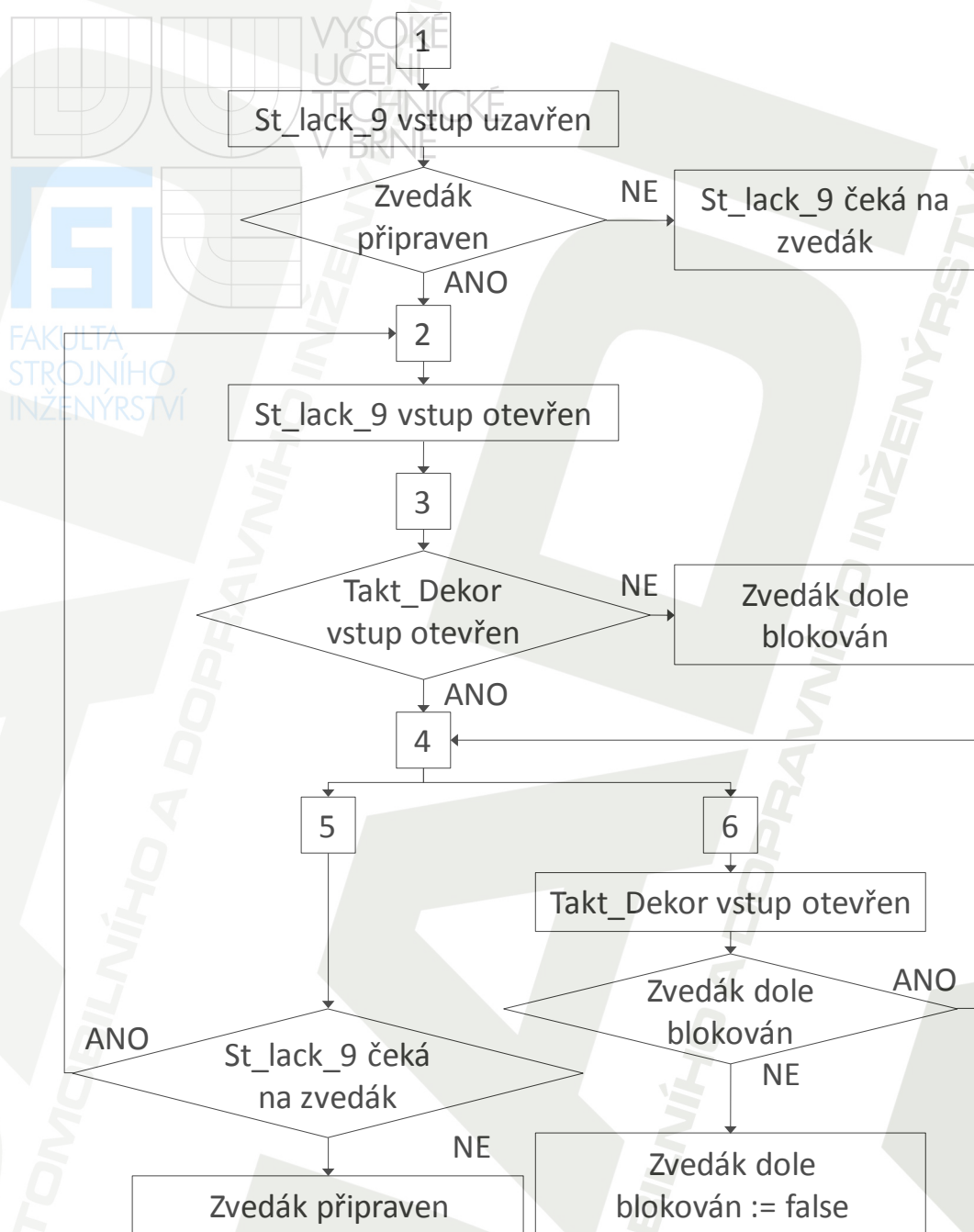
Příloha č. 4 Zvedák\_2 na vstupu do D13A



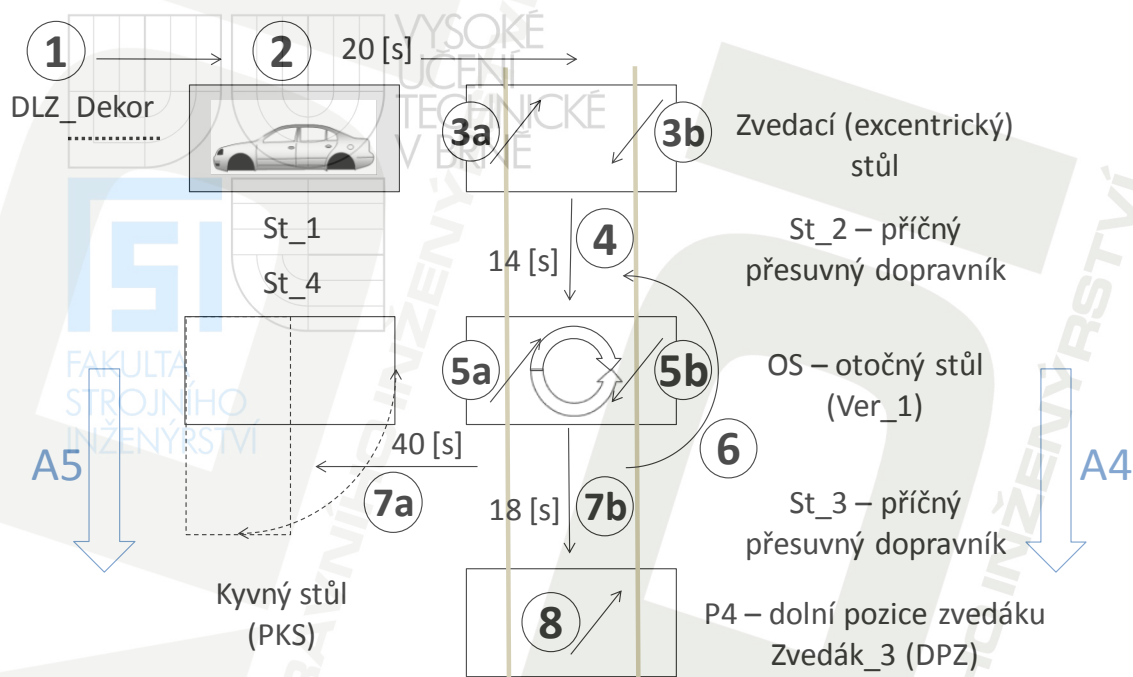
- St\_lack\_9 ... linka určující takt příchodu karoserií z lakovny
- Zvedák\_2 ... zvedací stůl pro vyrovnání výškového rozdílu úrovně skidového dopravníku lakovny a navazující linky dekoru
- Takt\_Dekor ... pozice pro výjezd skidu s karoserií ze zvedáku
- DLZ\_Dekor ... linka dekoru (jednotlivá pracoviště), senzor linky při aktivaci kontroluje obsazenost pracoviště Takt\_Dekor a zvedáku

- 1 – příjezd karoserie na skidu na pozici (linku) St\_lack\_9
- 2 – předání karoserie z linky St\_lack\_9 na (připravený) zvedák
- 3 – spuštění zvedáku s karoserií dolů
- 4 – předání karoserie ze zvedáku na Takt\_Dekor
- 5 – vyjetí zvedáku zpět do (výchozí) horní pozice
- 6 – přejezd skidu s karoserií na pracoviště DLZ\_Dekor

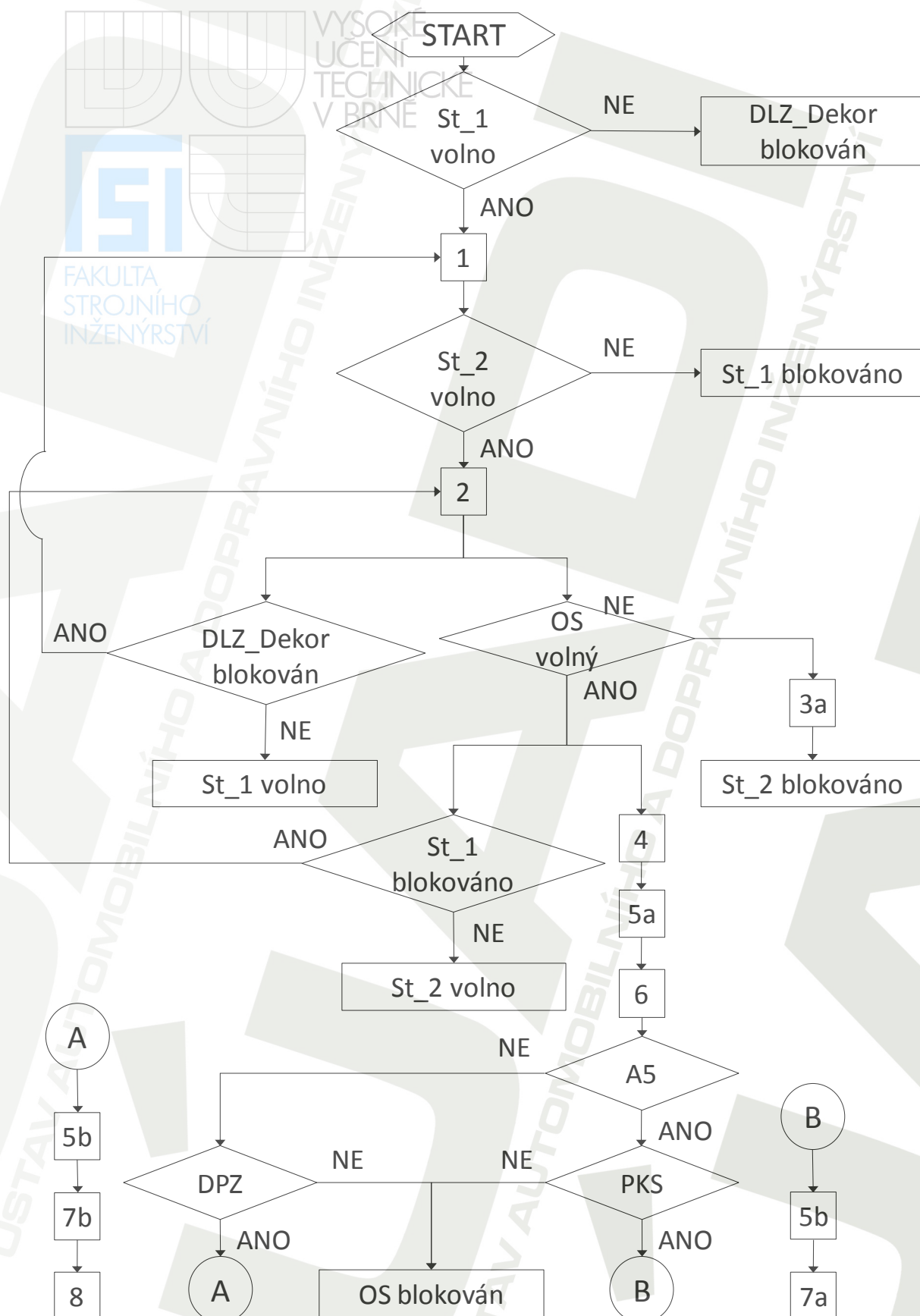
Příloha č. 5 Logika řízení Zvedáku\_2 na vstupu do D13A



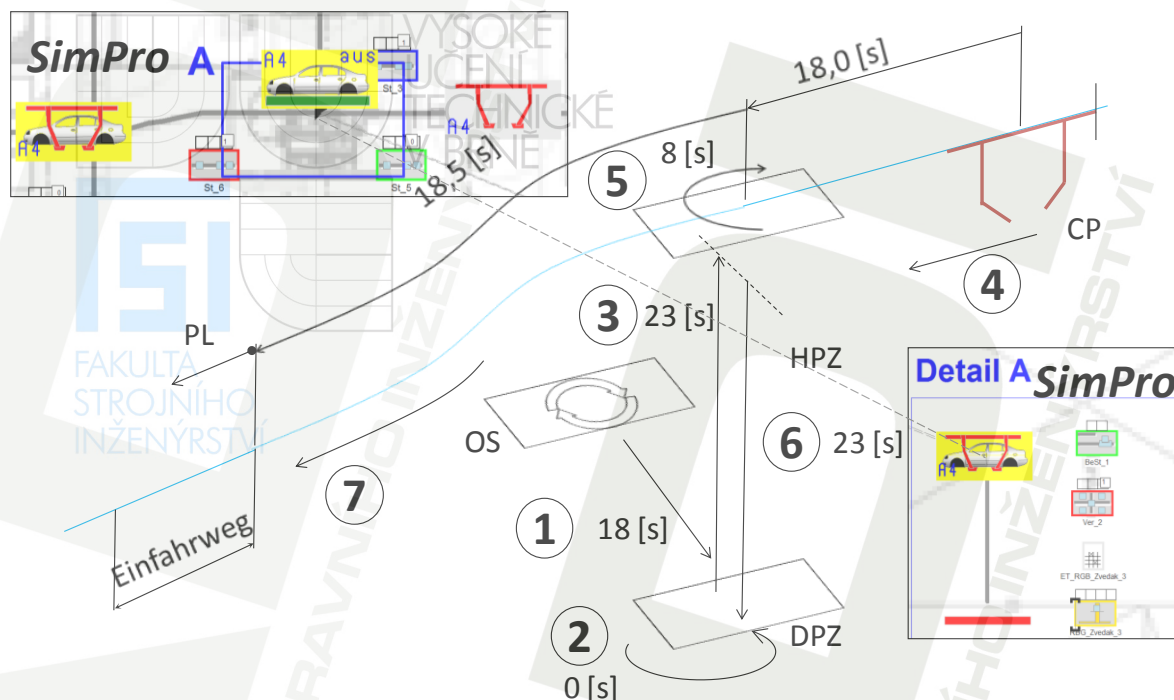
## Příloha č. 6 Otočný stůl s identifikací karoserií A4 / A5



- 1 – příjezd karoserie na skidu na pozici St\_1 od DLZ\_Dekor
  - 2 – přejezd na excentrický zvedací stůl nad příčný přesuvný dopravník St\_2
  - 3a – přizvednutí skidu s karoserií (pro zastavení na příčném přesuvném dopravníku St\_2)
  - 3b – spuštění skidu s karoserií na příčný přesuvný dopravník St\_2
  - 4 – nájezd skidu s karoserií po příčném přesuvném dopravníku St\_2 k otočnému stolu OS
  - 5a – přizvednutí skidu s karoserií (pro zastavení na příčném přesuvném dopravníku St\_2) a identifikace karoserie (A4 / A5)
  - 5b – spuštění skidu s karoserií na příčný přesuvný dopravník St\_3
  - 6 – otočení stolu (se skidem a karoserií) o 180°
  - 7a – přesun skidu s karoserií A5 na kyvný stůl po St\_4
  - 7b – přesun skidu s karoserií A4 ke zvedáku po příčném přesuvném dopravníku St\_3, resp. St\_4
  - 8 – přeložení karoserie na zvedák (v dolní pozici – DPZ)
- A5 – na otočném stole je identifikována karoserie A5 (A5\_MB nebo A5\_AUS),
- OS – otočný stůl připraven pro najetí dalšího skidu s karoserií (otočný stůl je tedy volný),
- PKS – pozice kyvného stolu (kyvný stůl je v pozici umožňující nájezd skidu s karoserií A5 z otočného stolu),
- DPZ – dolní pozice zvedáku (tzn. Zvedák\_3 je v dolní pozici připraven pro převzetí karoserie A4 ze skidu přejíždějícího od otočného stolu)



Příloha č. 8 Zvedák pro navěšení karoserií A4 na závěsové dopravníky montáže



- 1 – příjezd skidu s karoserií A4 od otočného stolu ke zvedáku po přesuvném dopravníku St\_3 (za podmínky DPZ)
- 2 – převzetí karoserie A4 zvedákem
- 3 – zdvih zvedáku s karoserií A4
- 4 – odblokování příjezdu dalšího závěsového dopravníku z CP
- 5 – navěšování karoserie na závěsový dopravník (aretace)
- 6 – spuštění prázdného zvedáku do dolní pozice
- 7 – odjezd závěsového dopravníku s karoserií A4

CP – čekací pozice závěsového dopravníku (čekají, dokud neproběhne zdvih zvedáku s karoserií A4)

DPZ – dolní pozice zvedáku (zvedák je v dolní pozici, prázdný)

HPZ – horní pozice zvedáku (zvedák je v horní pozici, obsazen)

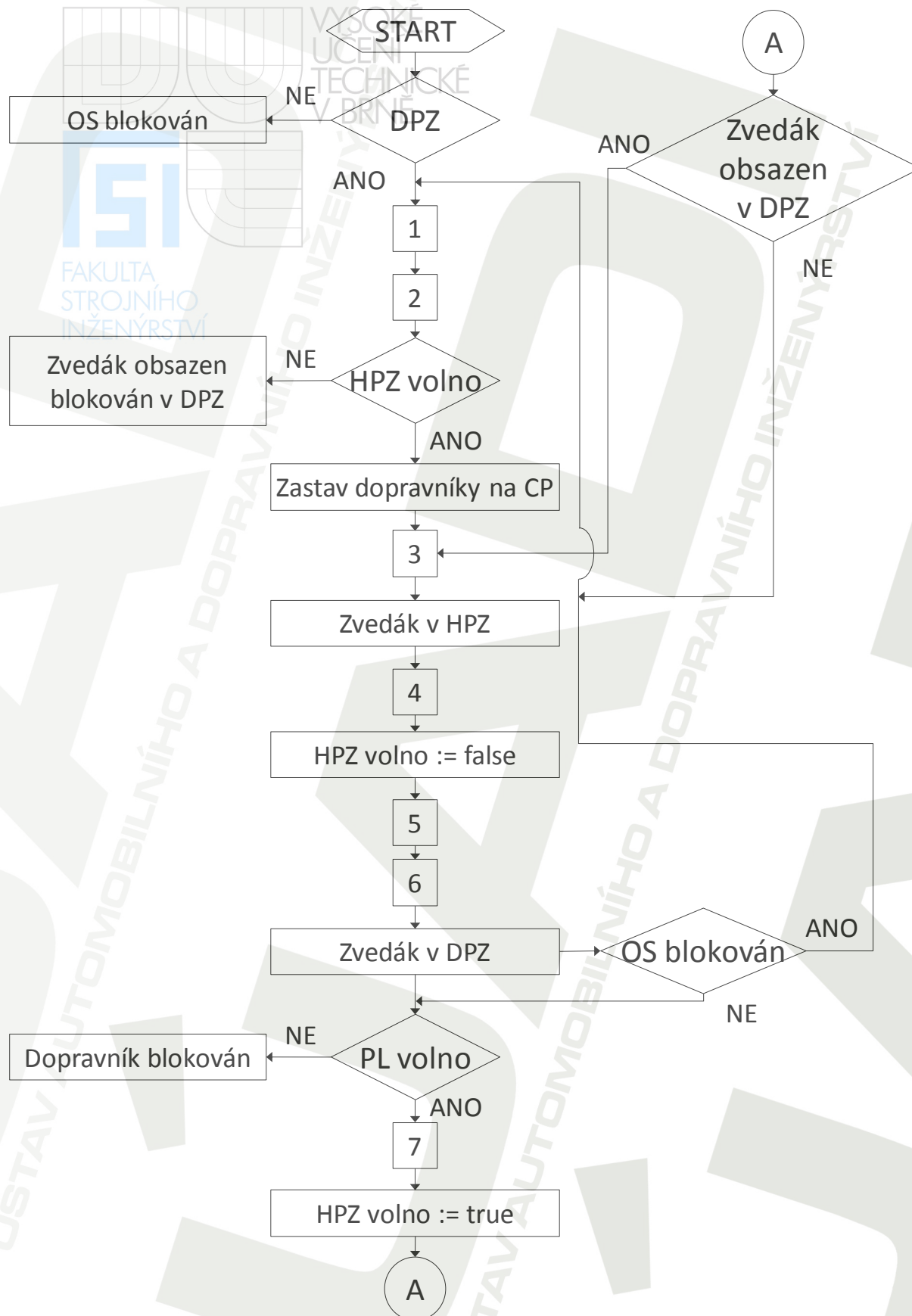
HPZ volno = v horní pozici zvedáku se nenachází ani neprojíždí závěsový dopravník

PL – počátek linky konzervace karoserií A4, při uvolnění

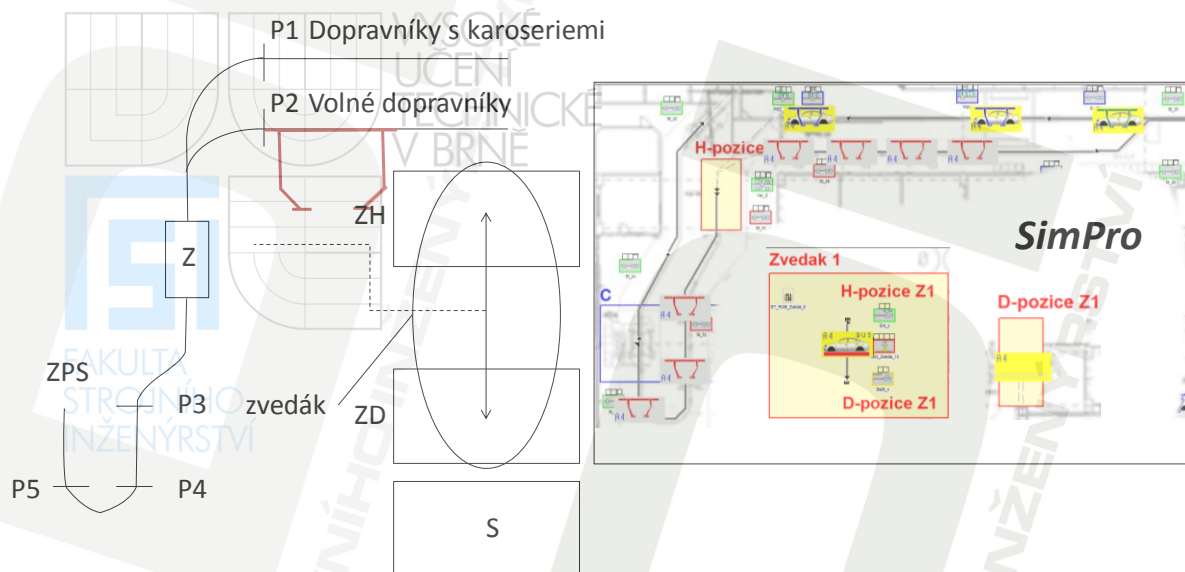
Einfahrweg může najíždět další závěsový dopravník od CP

PL volno = je volný (min.) úsek daný jako Einfahrweg linky konzervace A4 (prvek SD\_1 v SimPro)

OS – otočný stůl (kde proběhla identifikace karoserií A4 / A5)



## Příloha č. 10 Svěšování karoserií A4\_AUS do přízemí



P1 – čekací pozice závěsových dopravníků s karoseriemi A4

P2 – čekací pozice prázdných závěsových dopravníků

P3, P4, P5 – čekací pozice (konce úseků o jednotkové kapacitě)  
pro prázdné závěsové dopravníky před výstupem přesuvné  
stanice (navěšením karoserií A5\_MB na tyto dopravníky)

Z – zvedák pro spouštění karoserií A4 do přízemí

ZH – horní pozice zvedáku pro karoserie A4

ZD – dolní pozice zvedáku pro karoserie A4

S – místo předání karoserie ze zvedáku na skid v ZD

ZPS – zvedák přesuvné stanice

KS – kyvný stůl (v přízemí v části toku skidů)

P1 obsazena – na P1 čeká závěsový dopravník s karoserií A4

P3 obsazena – na P3 čeká závěsový dopravník

S obsazeno – skid je připraven pro svěšení karoserie A4

Z obsazeno – nad zvedákem pro karoserie A4 je závěsový  
dopravník

KS připraven – kyvný stůl je v pozici, kdy na něj může najet skid  
s karoserií A4 od pozice S (poté dojde k otočení)

Posloupnost pohybu závěsových dopravníků:

přesun P5 -> ZPS

=> následuje

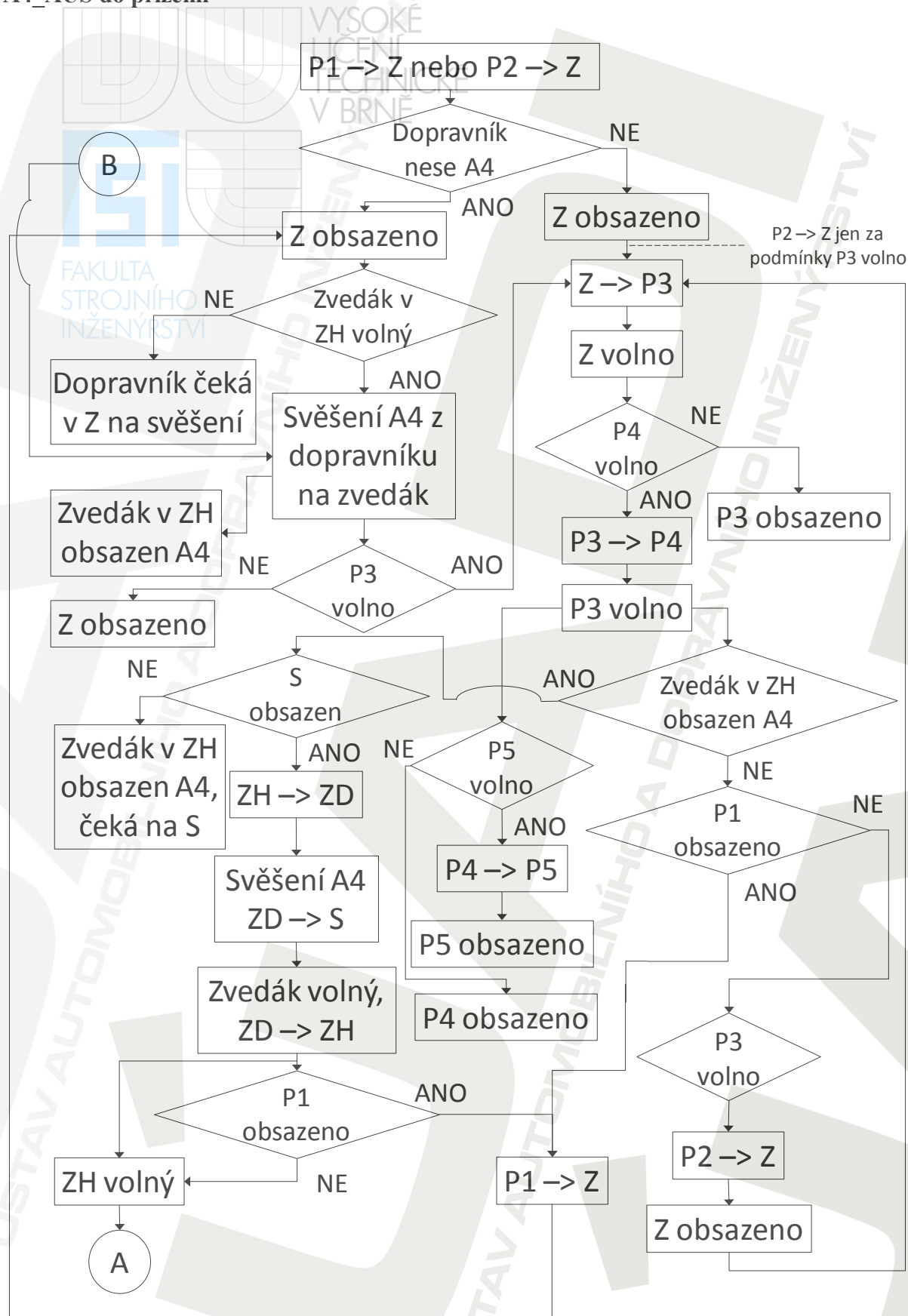
přesun P4 -> P5

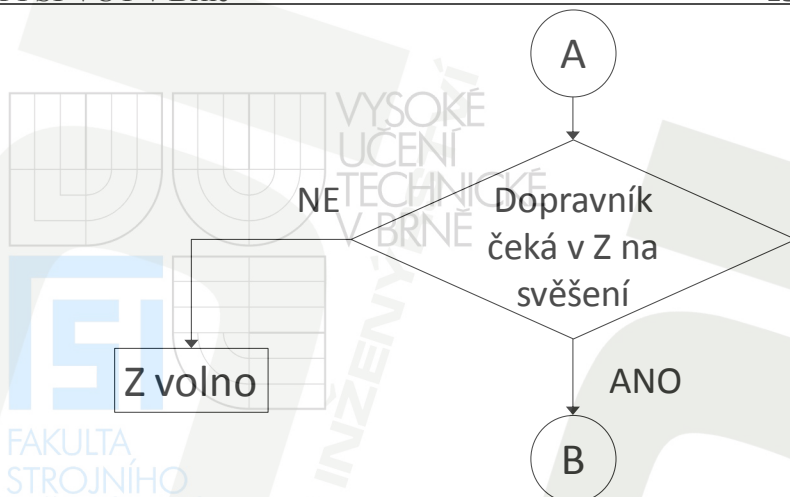
=> následuje

přesun P3 -> P4

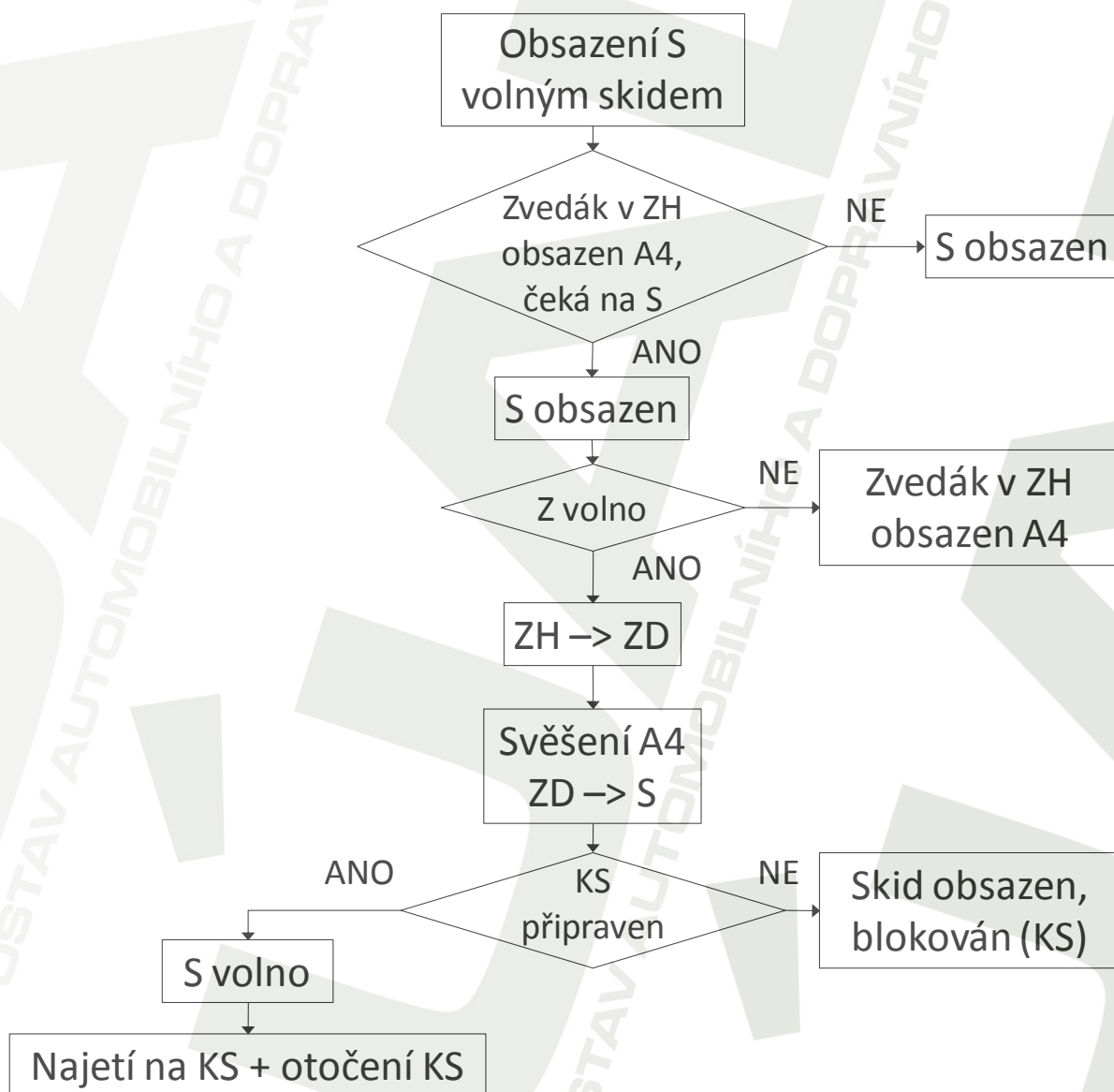
Příloha č. 11 Logika řízení pohybu závěsových dopravníků v místě svěšování karoserií

A4\_AUS do přízemí

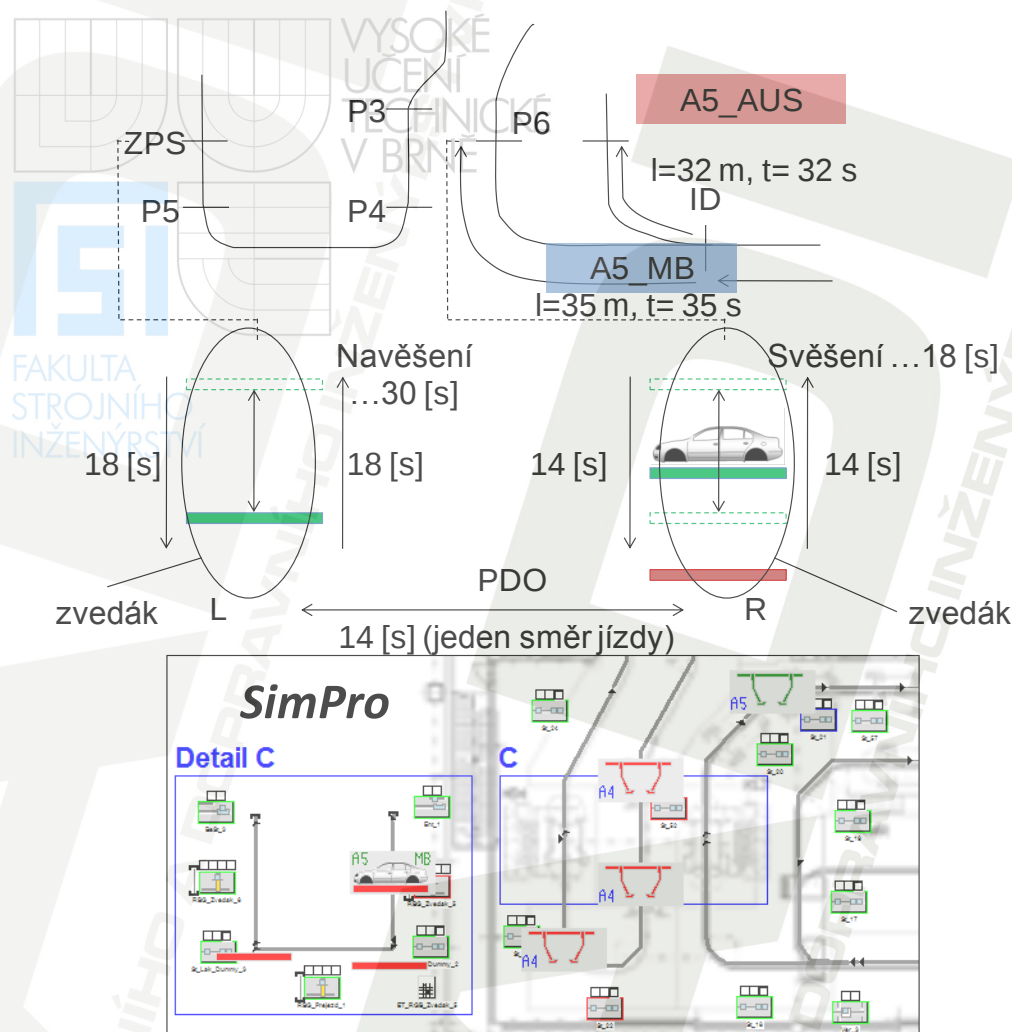




Příloha č. 12 Logika řízení pohybu skidu při přesunu na pozici S (přízemí)



## Příloha č. 13 Zvedák přesuvné stanice



P3, P4, P5 – čekací pozice prázdných závěsových dopravníků před zvedákem přesuvné stanice

ZPS – zvedák přesuvné stanice; L – levý zvedák

R – pravý zvedák

PD – přesuvný dopravník (mezi L a P)

ID – místo identifikace karoserií A5\_MB / A5\_AUS

P5 – místo čekání závěsového dopravníku před najetím k ZSP

P6 – místo svěšení A5\_MB ze závěsového dopravníku na ZSP

LH – levý zvedák v horní poloze

LD – levý zvedák v dolní poloze

RH – pravý zvedák v horní poloze

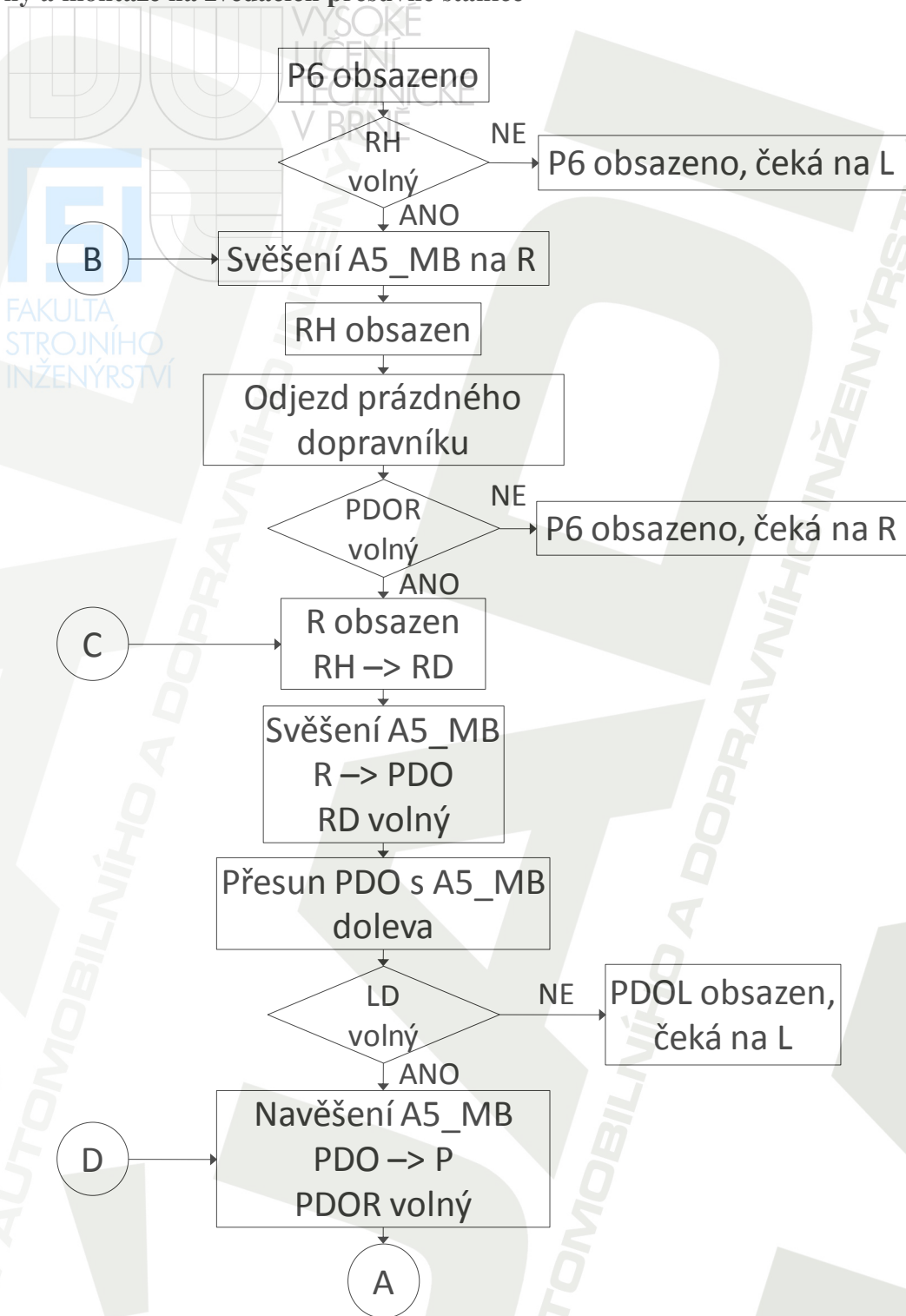
RD – pravý zvedák v dolní poloze

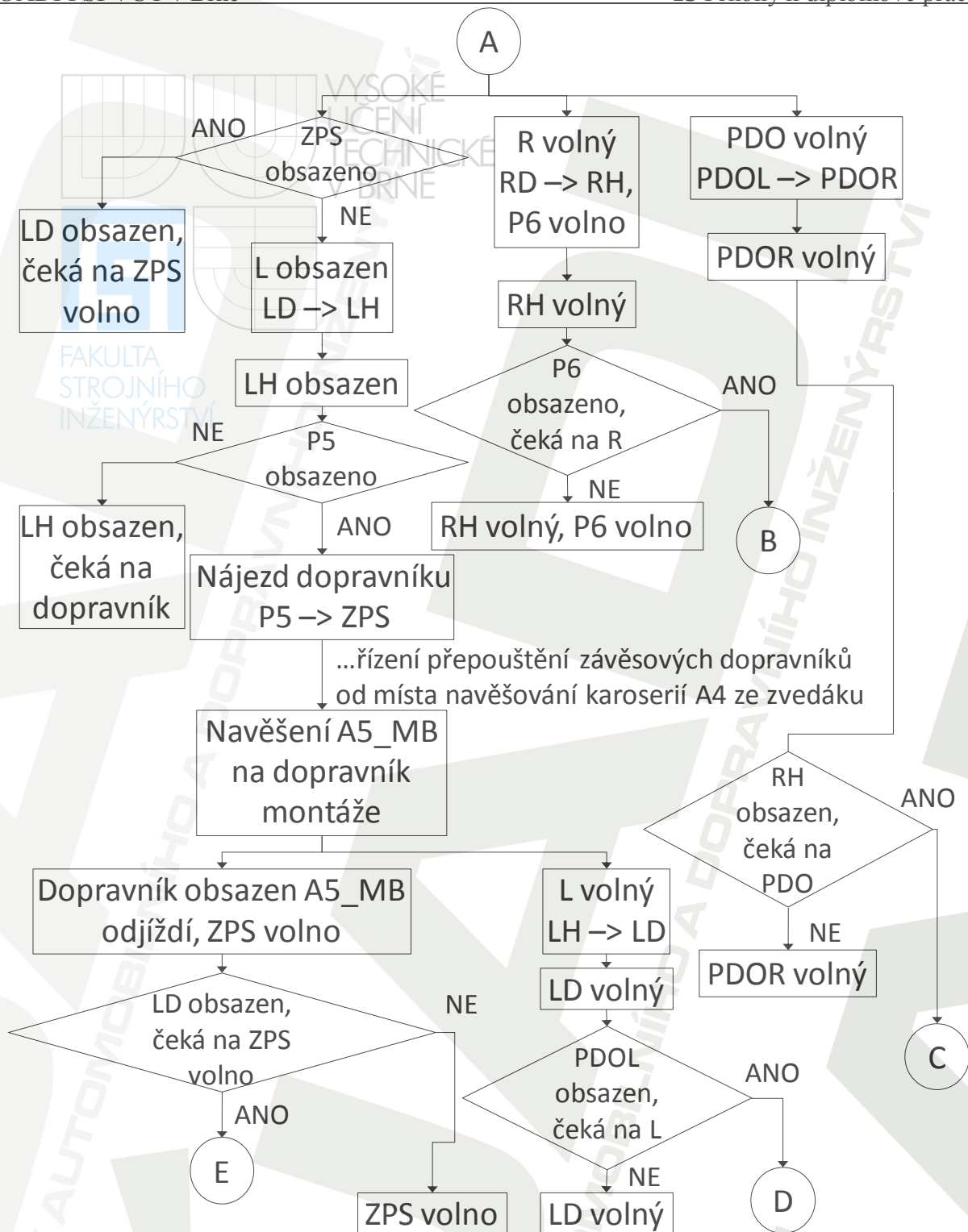
PDOL – přesuvný dopravník vlevo

PDOR – přesuvný dopravník vpravo

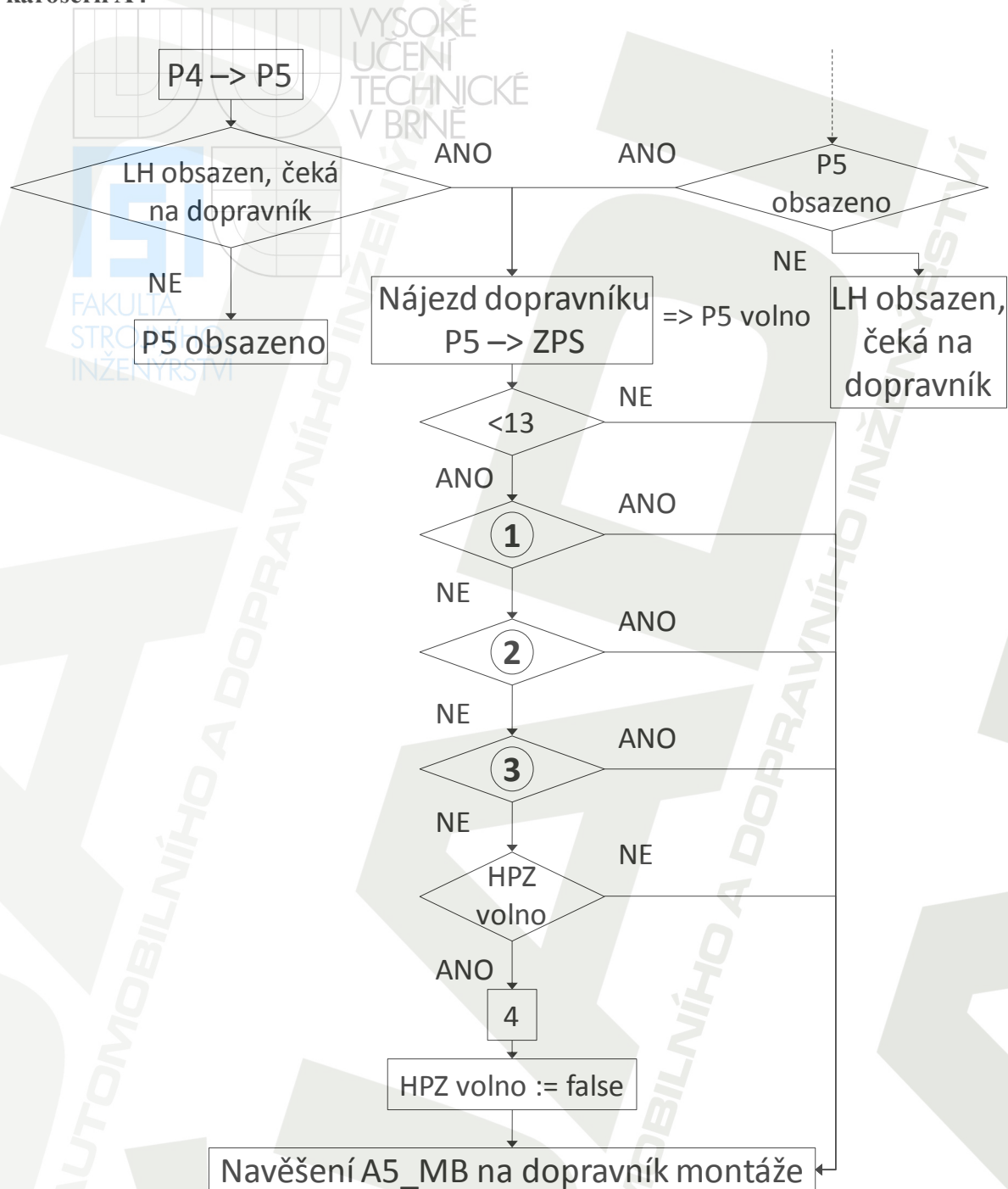
**Příloha č. 14 Logika řízení převěšování A5\_MB mezi závěsovými dopravníky úseku**

**lakovny a montáže na zvedacích přesuvné stanice**





**Příloha č. 15 Řízení přepouštění volných závěsových dopravníků od místa navěšování karoserií A4**

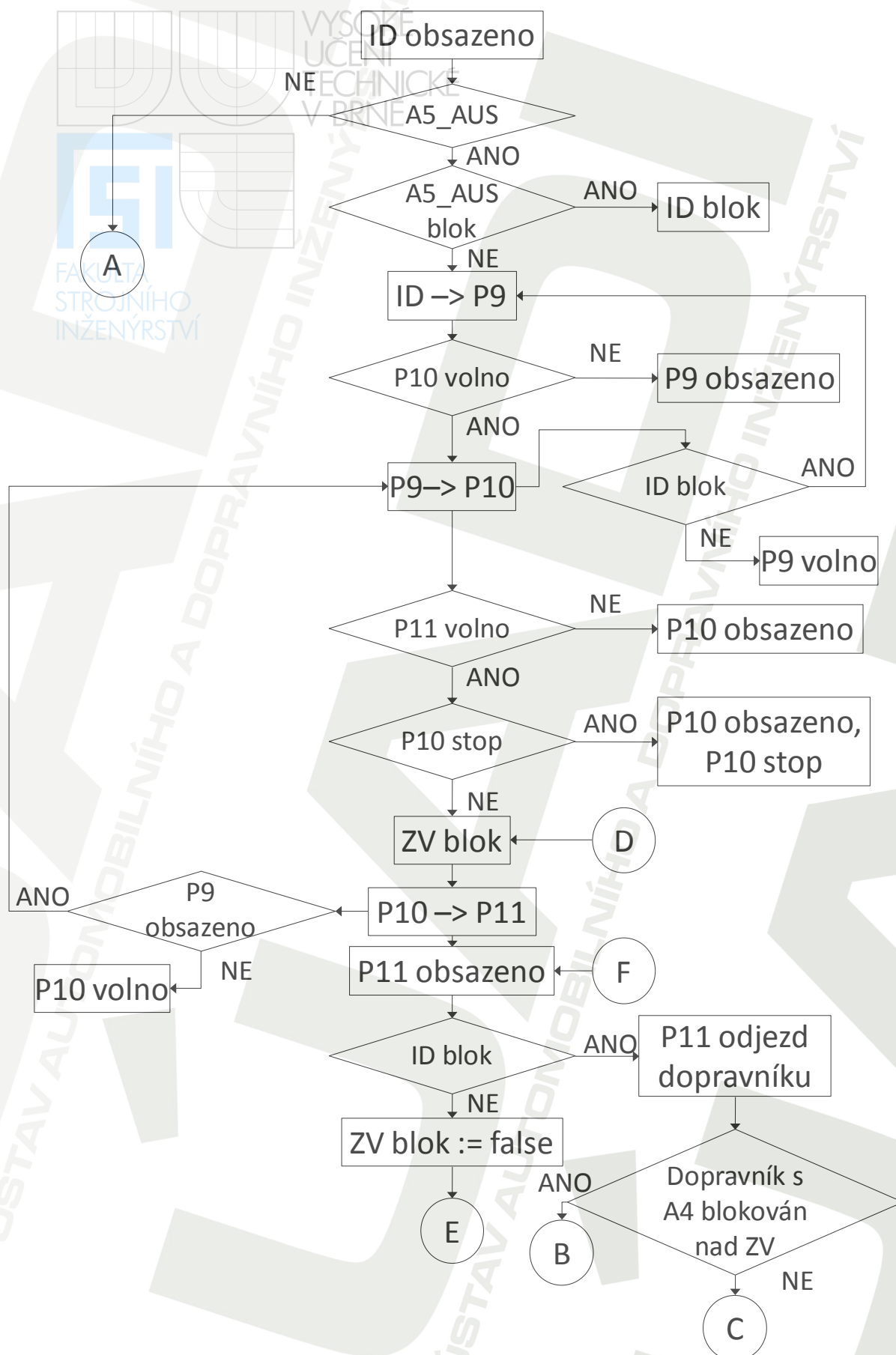


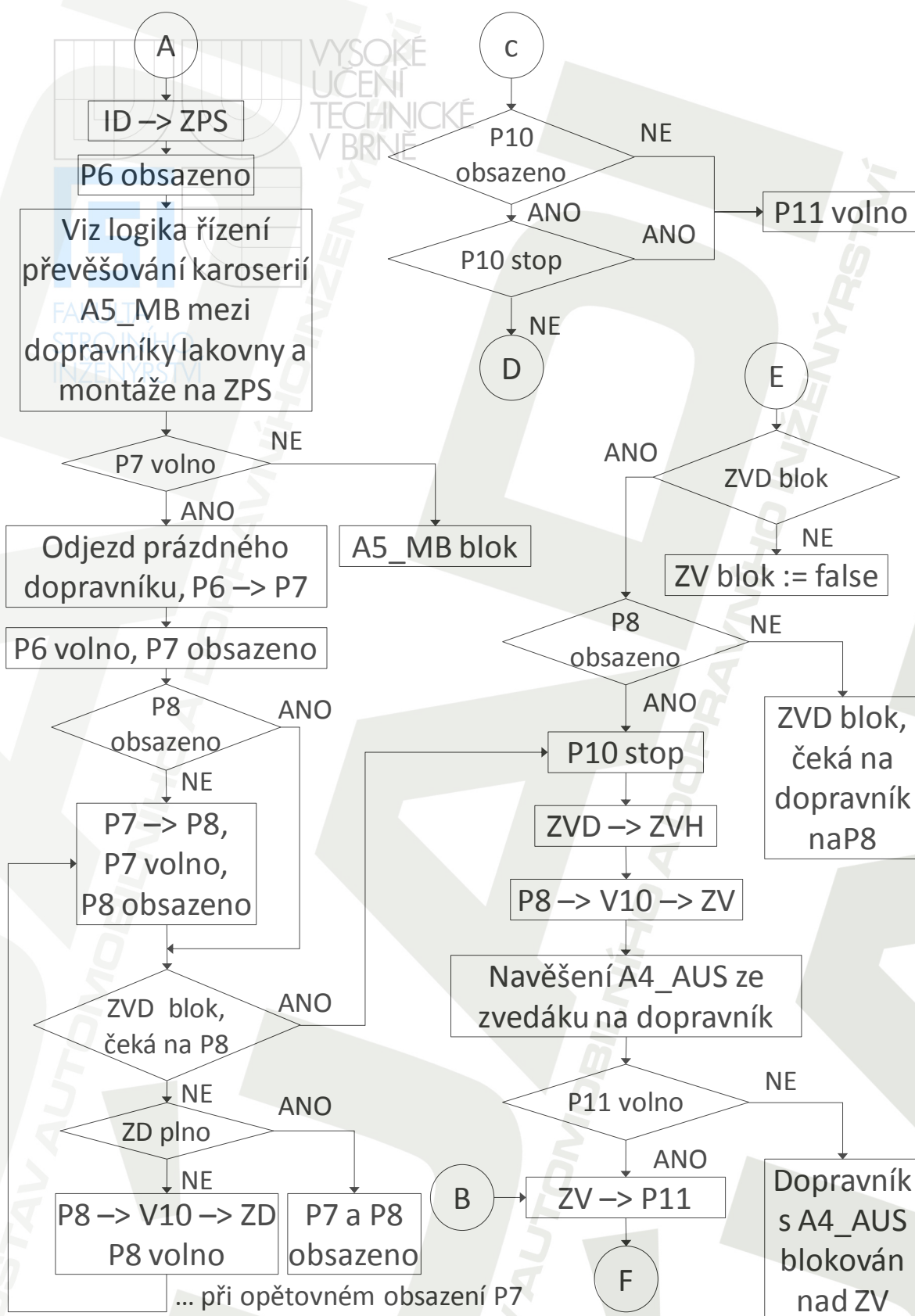
- 1 – příjezd skidu s karoserií A4 od otočného stolu ke zvedáku, který je v dolní pozici
- 2 – převzetí karoserie A4 zvedákem
- 3 – zdvih zvedáku s karoserií A4
- 4 – odblokování příjezdu dalšího závěsového dopravníku z čekací pozice



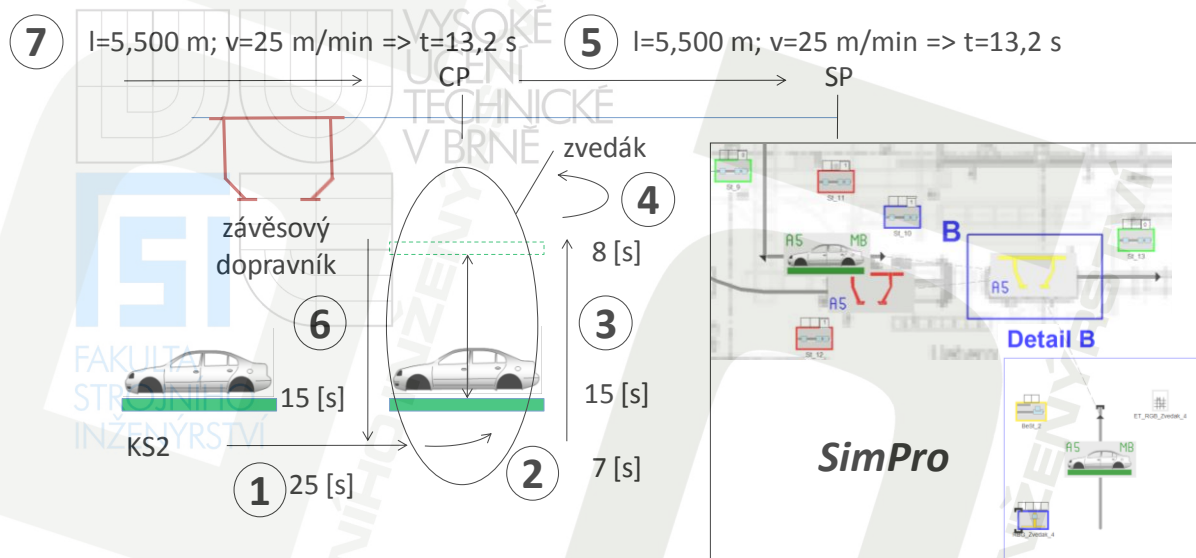
ZD – zásobní úsek (volných závěsových) dopravníků, kapacita 6 závěsových dopravníků,

St\_54 – přesuvný skidový dopravník, kapacita 3 skidy (přízemí),  
St\_55, St\_56 – přesuvné skidové dopravníky (přízemí),  
St\_Z – přesuvný skidový dopravník (přesouvá skid zpět ke  
kyvnému stolu v přízemí),  
KS – kyvný stůl,  
S – místo předání karoserie ze zvedáku na skid pod zvedákem  
pro svěšení karoserií A4\_AUS do přízemí,  
CP\_1 – místo pro volný (zásobní) skid (přízemí),  
ID blok – úseky větve pro dopravníky s A5\_AUS za ID a úsek  
před ID obsazen dopravníky, takže nemohou najíždět další  
dopravníky do větve pro dopravníky a A5\_MB,  
A5\_AUS blok – úseky za ID pro dopravníky s A5\_AUS  
obsazený,  
A5\_MB blok – úseky za ID pro dopravníky s A5\_MB obsazený,  
ZV blok – v ZVH projíždí dopravník s A5\_AUS,  
P10 stop – zastav dopravník před ZV (zákaz přesunu P11 → P12  
ZVD blok – zvedák v dolní pozici obsazen karoserií A4\_AUS,  
blokován (za stavu ZV blok),  
ZVD blok, čeká na P8 – zvedák v dolní pozici obsazen karoserií  
A4\_AUS, čeká na obsazení pozice P8 prázdným závěsovým  
dopravníkem (=> zvedák blokován)  
ZD plno – zásobní úsek pro volné závěsové dopravníky zaplněn  
(kapacita vyčerpána)



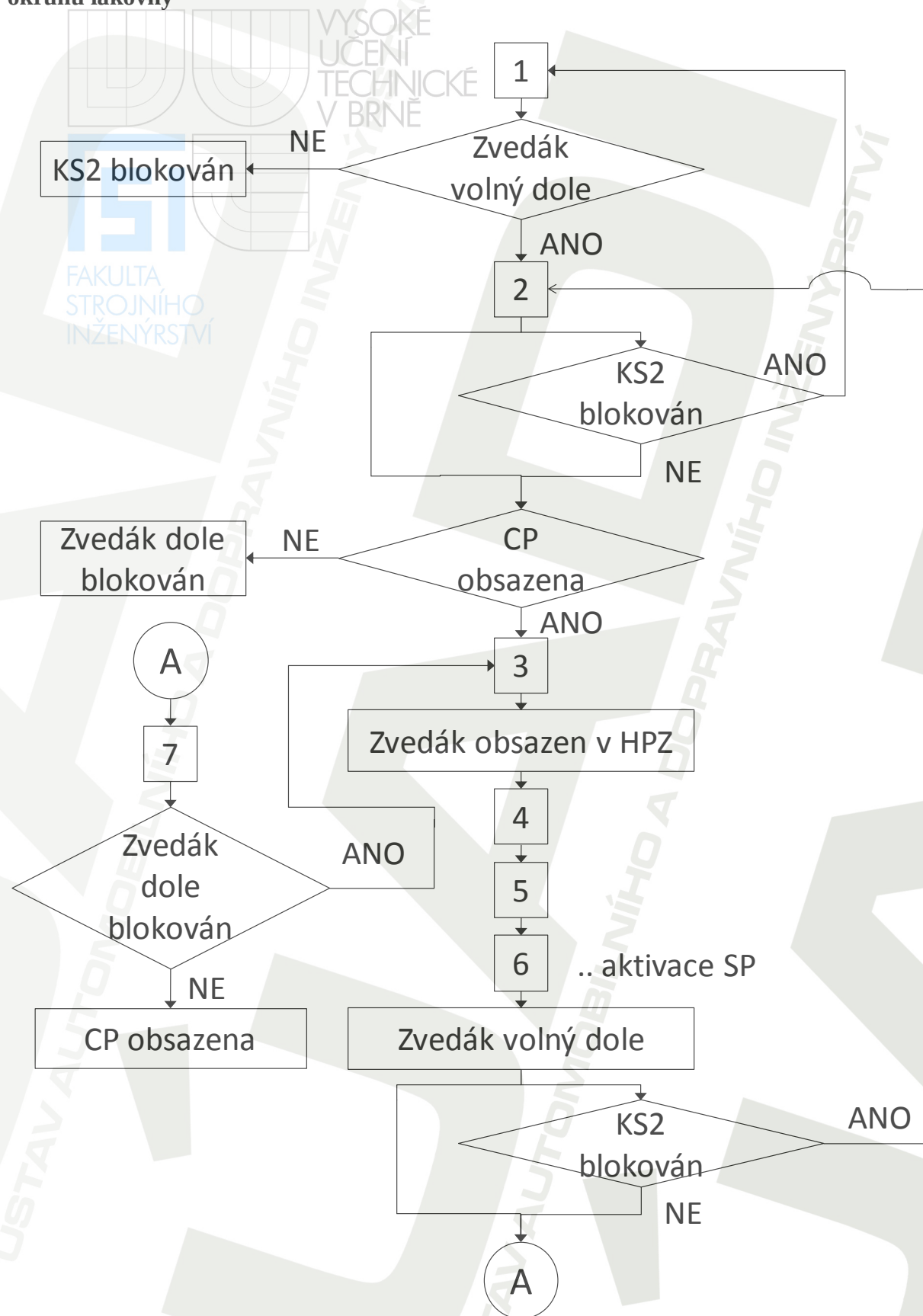


Příloha č. 18 Navěšování karoserií A5 ze zvedáku na závěsové dopravníky

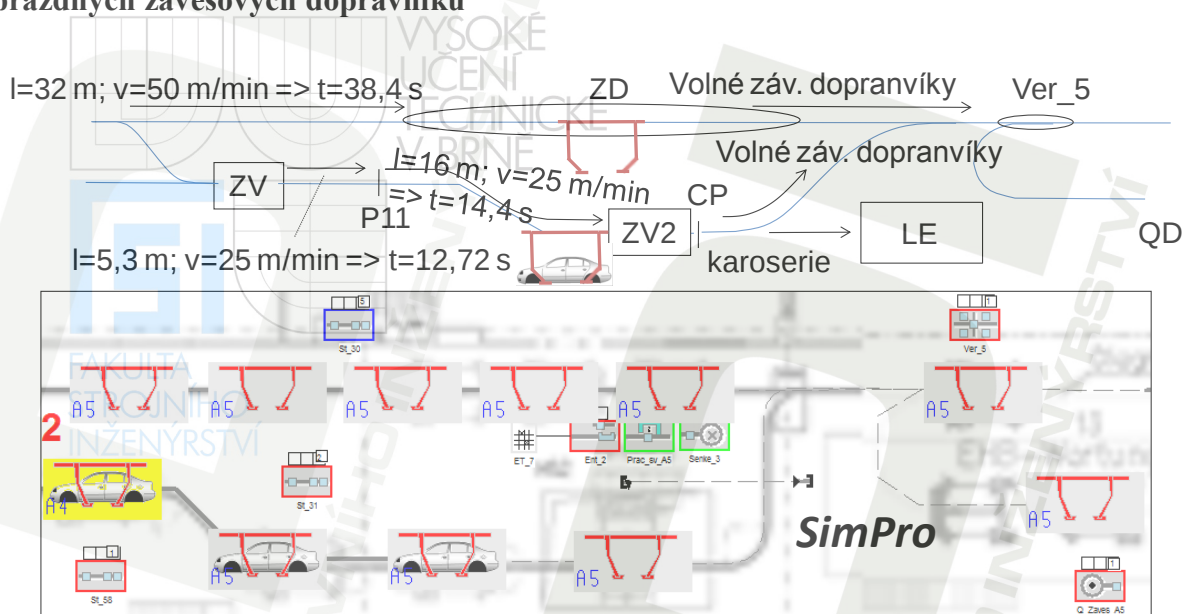


- 1 – příjezd skidu s karoserií A5 ke zvedáku (od kyvného stolu KS2)
  - 2 – převzetí karoserie ze skidu na plošinu zvedáku (aretace karoserie na zvedáku)
  - 3 – zdvih zvedáku (je-li v čekací pozici CP připraven volný závěsový dopravník)
  - 4 – navěšení karoserie ze zvedáku na závěsový dopravník
  - 5 – odjezd závěsového dopravníku s karoserií přes SP - senzor průjezdu dopravníku (senzor ovládá spuštění zvedáku opět dolů)
  - 6 – zvedák sjíždí dolů (tím uvolní výjezd nového skidu s další karoserií z KS2)
  - 7 – nájezd dalšího závěsového dopravníku do čekací pozice CP
- SP – senzor přejezdu závěsového dopravníku s karoserií (senzor spouští zvedák dolů)
- CP – čekací pozice volného závěsového dopravníku (nad zvedákem)
- KS2 – kyvný stůl, na němž čeká skid s karoserií, dokud není zvedák v dolní pozici (teprve poté následuje najetí skidu s karoserií na zvedák)
- KS2 blokován – obsazen karoserií, která nemůže sjet z důvodu nesplnění podmínky volného zvedáku v dolní poloze
- HPZ – horní poloha zvedáku
- Zvedák dole blokován – zvedák v dolní pozici převzal karoserii, nemůže proběhnout zdvih, protože na CP není dopravník

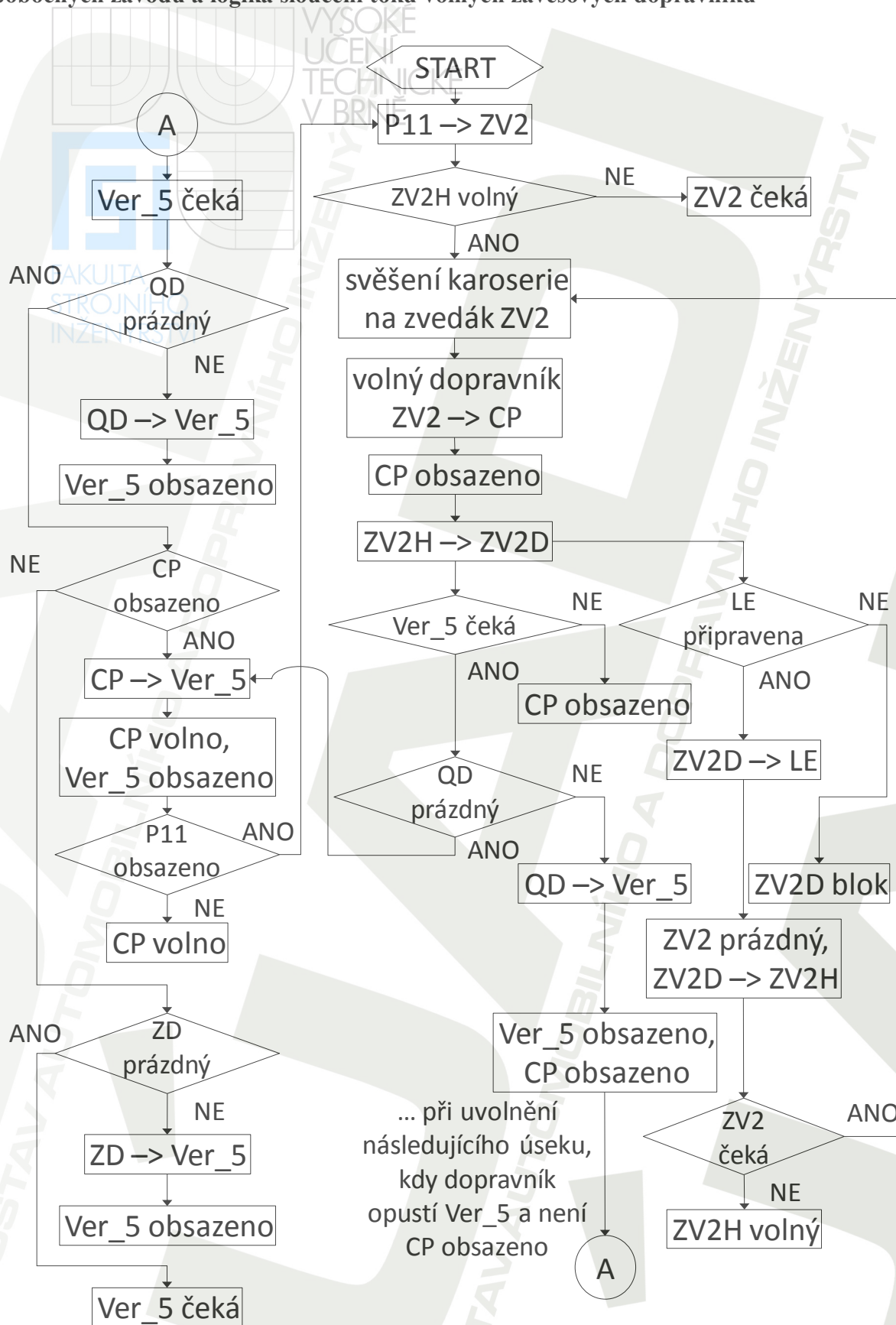
**Příloha č. 19 Logika řízení navěšování karoserií A5 ze zvedáku na závěsové dopravníky okruhu lakovny**

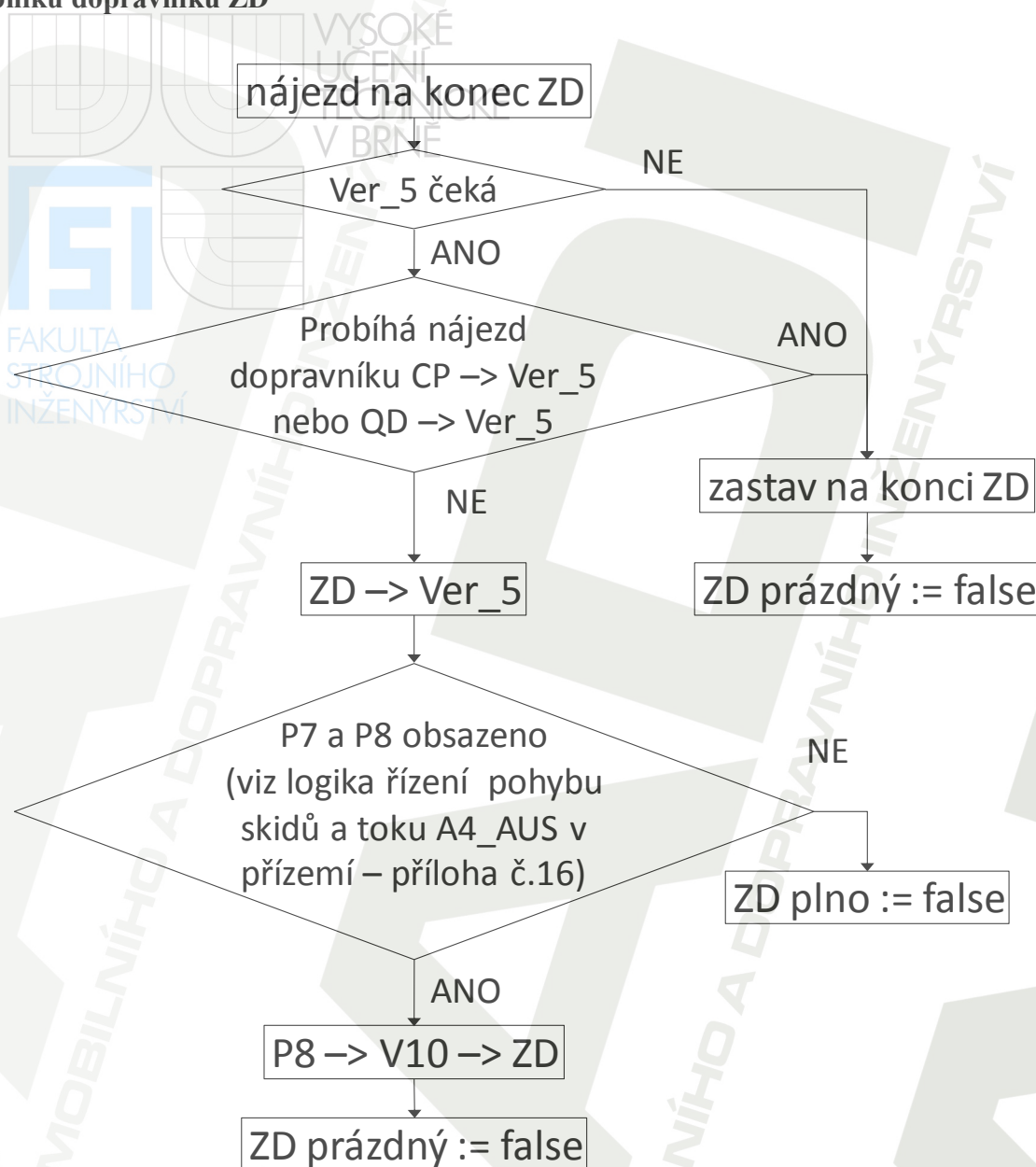


**Příloha č. 20 Svěšování A5\_AUS a A4\_AUS na linku expedice do pobočných závodů, tok prázdných závěsových dopravníků**



- CP – čekací pozice závěsových dopravníků po svěšení karoserií na zvedák ZV2,
- LE – linka expedice karoserií A4\_AUS a A5\_AUS do pobočných závodů,
- ZV – zvedák pro navěšování karoserií A4\_AUS ze skidů v přízemí na závěsové dopravníky,
- P11 – konec příslušného dopravníkového úseku za zvedákem ZV,
- ZV2 – zvedák pro svěšení karoserií A4\_AUS a A5\_AUS na expediční linku do pobočných závodů,
- QD – zdroj nových závěsových dopravníků vstupujících do okruhu dopravníků lakovny; kapacita 20 dopravníků,
- ZD – zásobní úsek (volných závěsových) dopravníků; kapacita 6 závěsových dopravníků,
- Ver\_5 – výhybka dopravníkových úseků spojující tok závěsových dopravníků ze zásobníku dopravníků (ZD), zdroje nových dopravníků (QD) a volných dopravníků od CP,
- ZV2H – zvedák pro svěšení A4\_AUS a A5\_AUS v horní poloze,
- ZV2 čeká – závěsový dopravník v pozici ZV2 čeká na příjezd zvedáku do horní pozici pro svěšení karoserie,
- ZV2D – zvedák pro svěšení A4\_AUS a A5\_AUS v dolní poloze,
- Ver\_5 čeká – Ver\_5 byla uvolněna, ale na QD, ZD ani CP nebyl k dispozici volný závěsový dopravník,



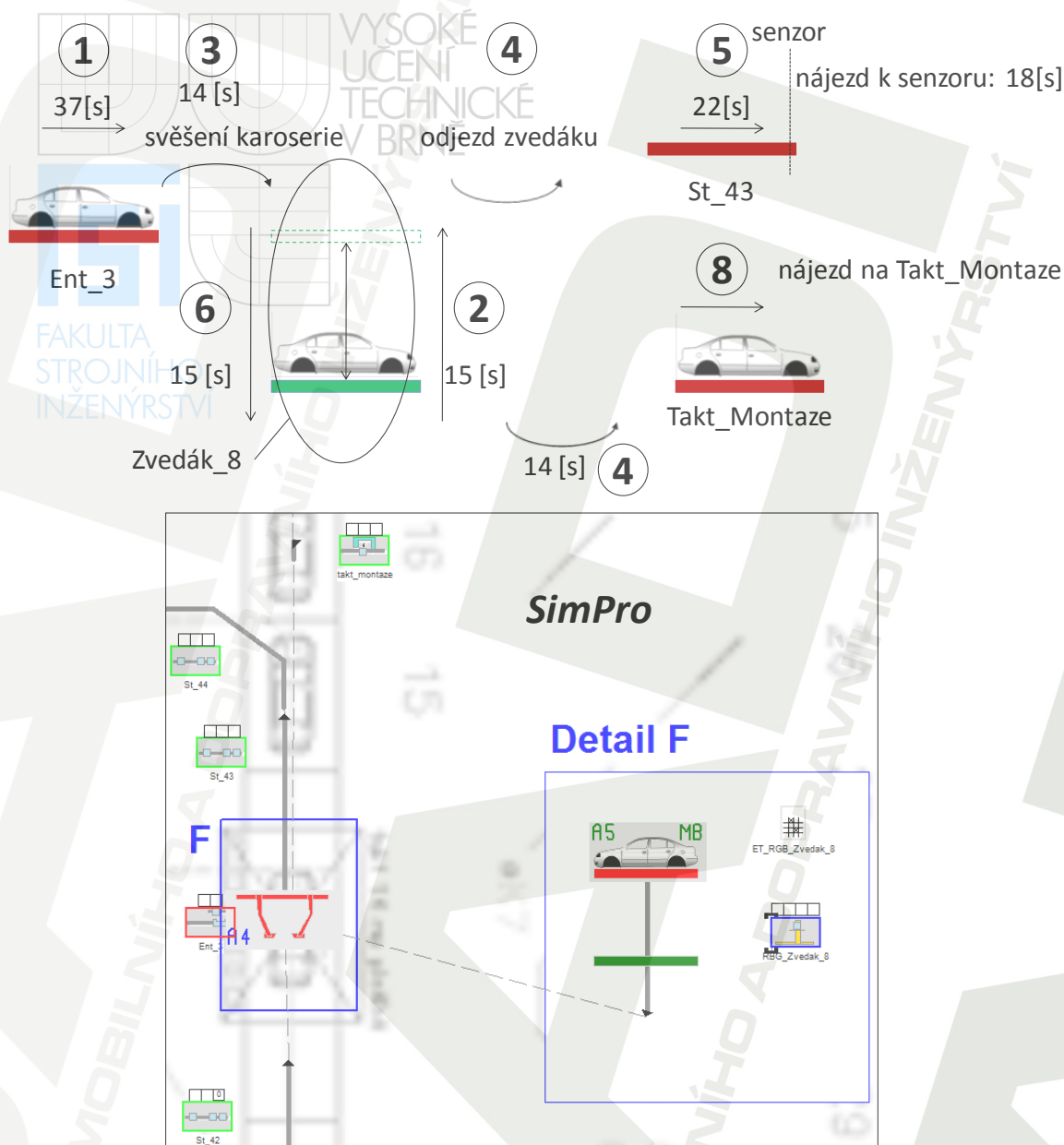


ZD plno – v zásobním úseku (volných závěsových dopravníků)

je počet dopravníků roven kapacitě ZD,

ZD prázdný – v zásobním úseku (volných závěsových

dopravníků) se nenachází žádný závěsový dopravník



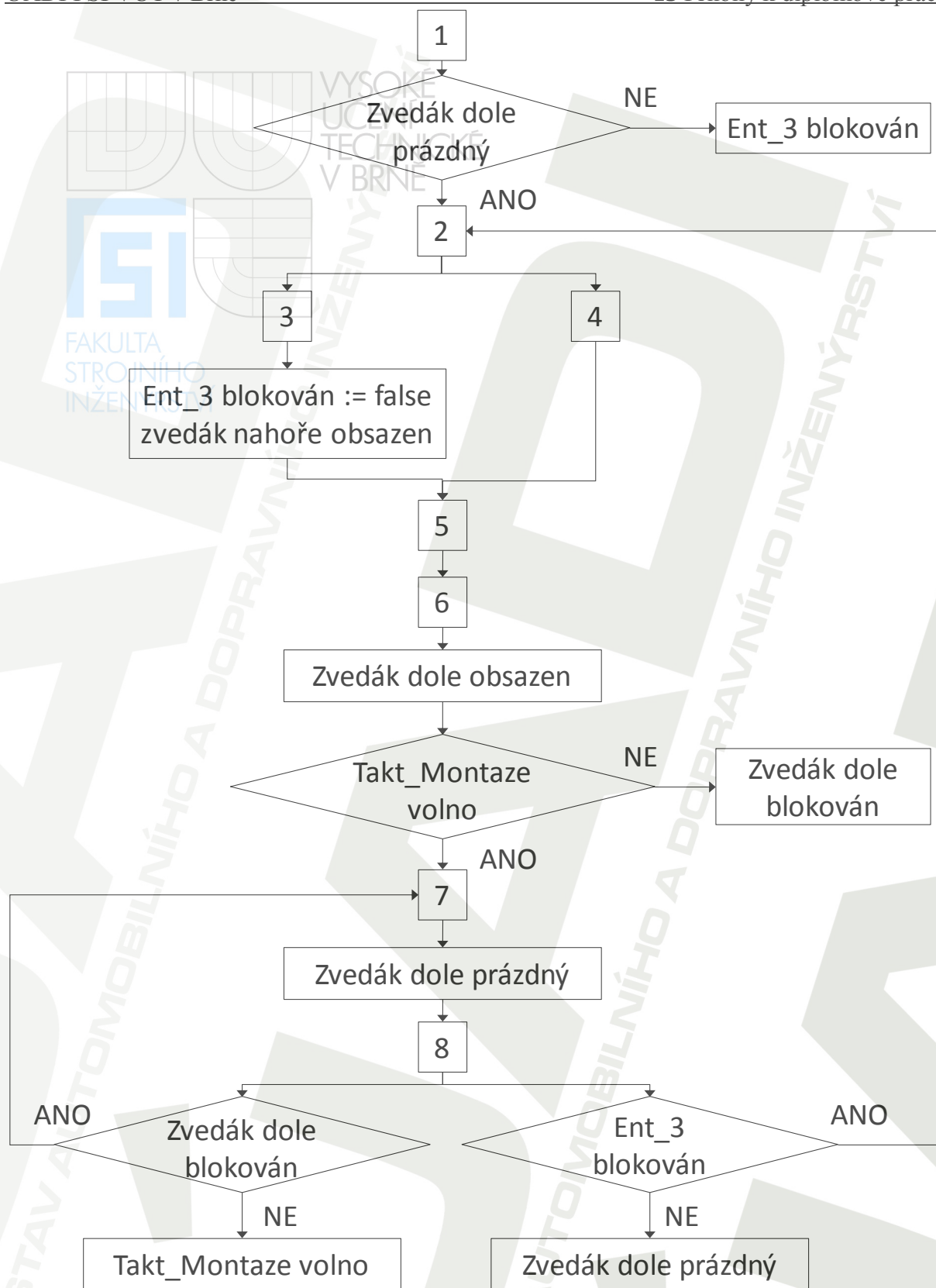
Ent\_3 – prvek pro převěšení karoserie ze závěsového dopravníku na zvedák,

St\_43 – úsek dopravníkové dráhy pro pokračující volné závěsové dopravníky, po aktivaci senzoru je spouštěn zvedák s karoserií do dolní pozice,

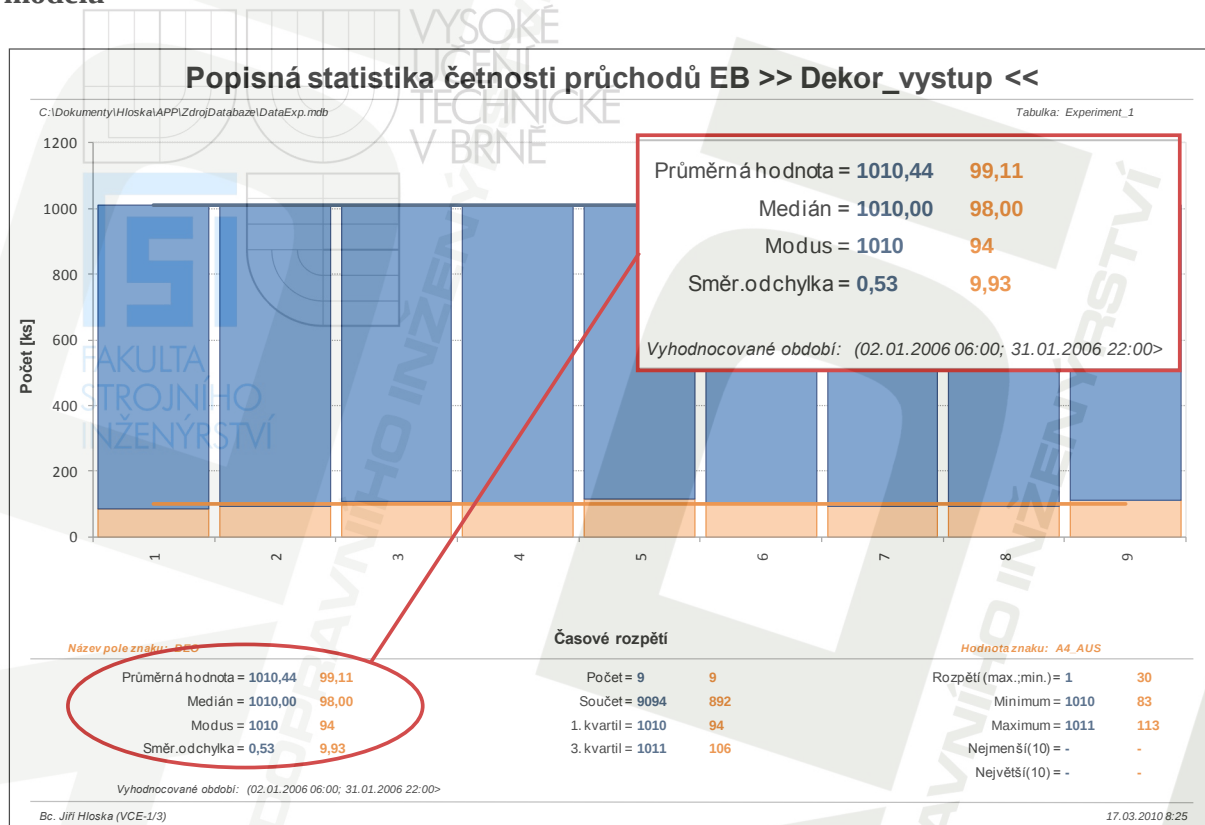
Takt\_Montaze – vstupní úsek montáže, stup karoserií na skidech

Ent\_3 blokován – na Ent\_3 je dopravník s karoserií, kterou nemůže předat, protože zvedák je obsazen,

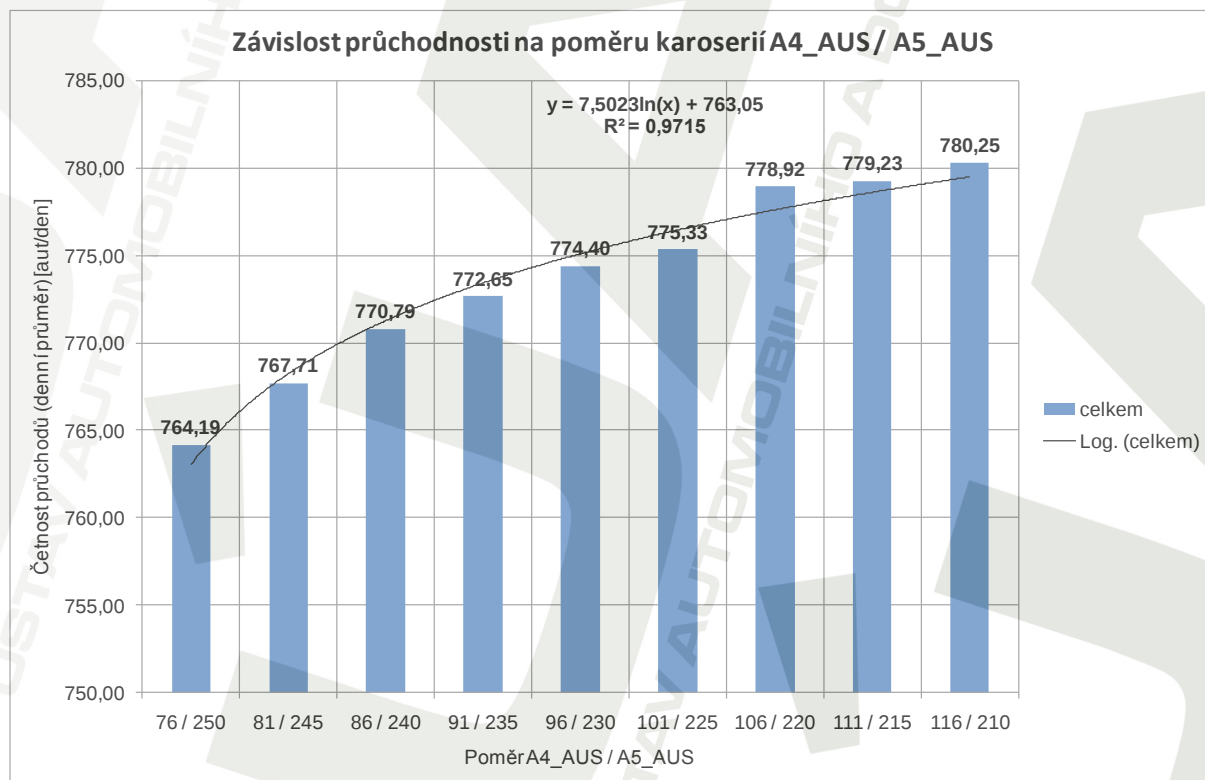
Takt\_Montaze volno – na vstupu do úseku montáže není skid (s karoserií, může tedy přijmout skid od zvedáku)



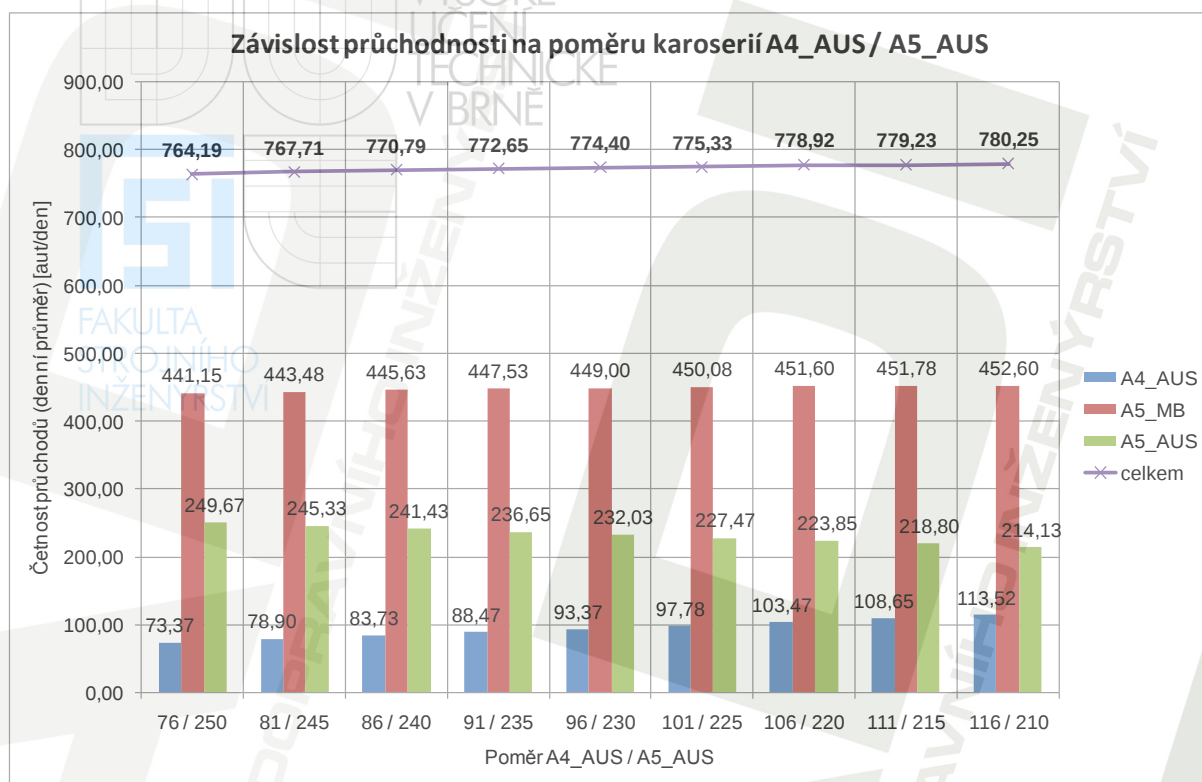
**Příloha č. 25 Grafický výstup APP pro účely kontroly průchodnosti vybraných úseků modelu**



**Příloha č. 26 Růst průchodnosti modelu podle změny výrobního programu**

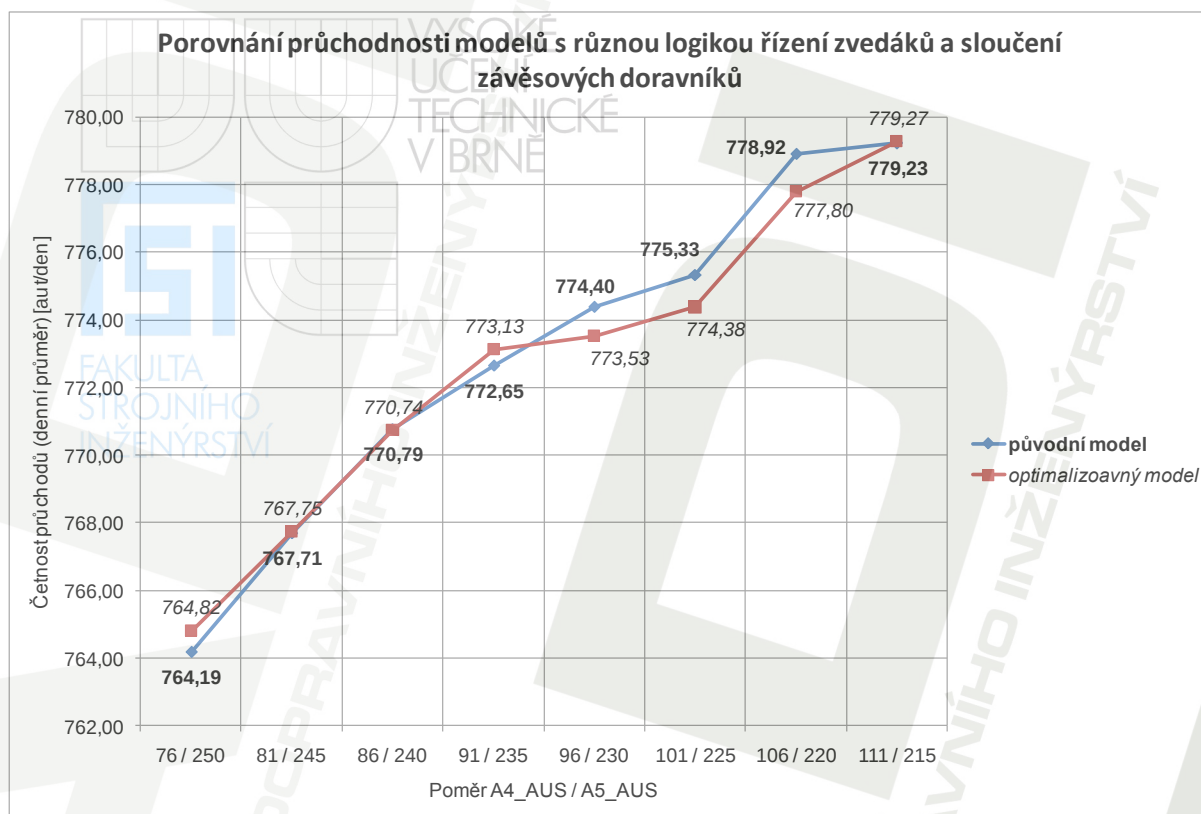


**Příloha č. 27 Poměrné zastoupení jednotlivých typů karoserií ve výsledné produkci pro různé výrobní programy**



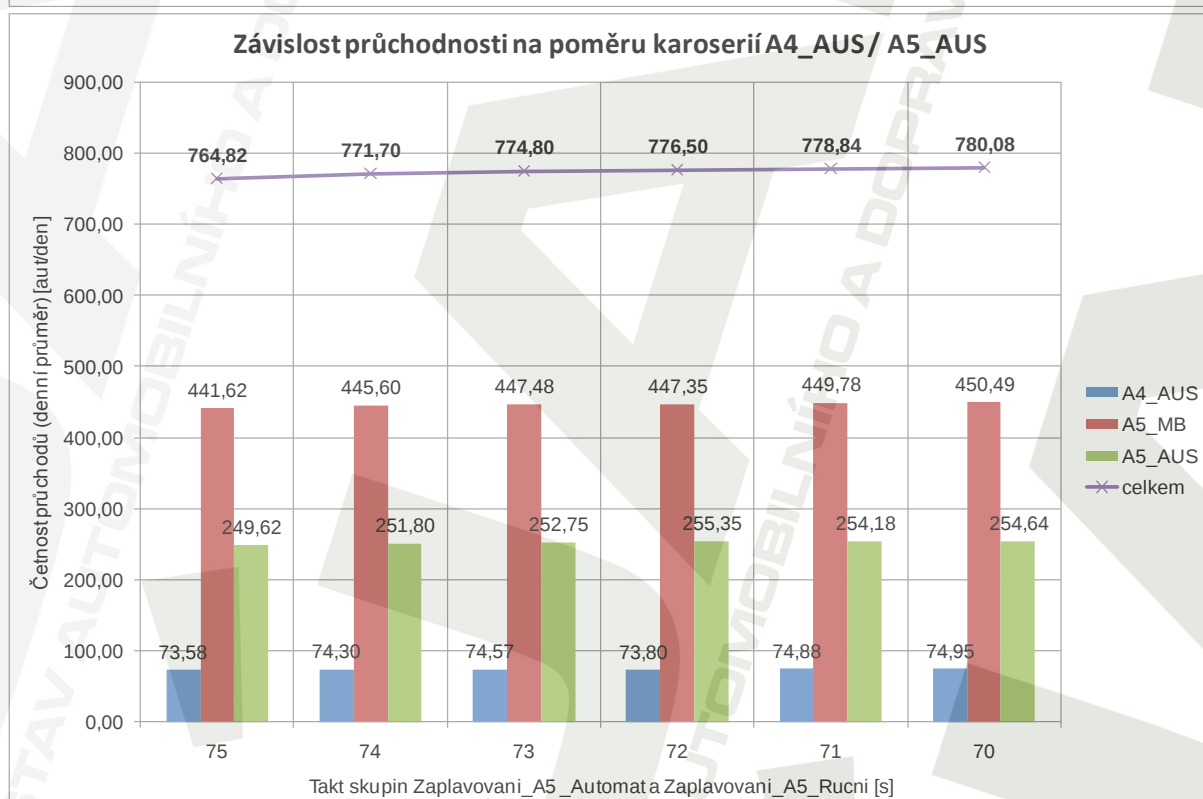
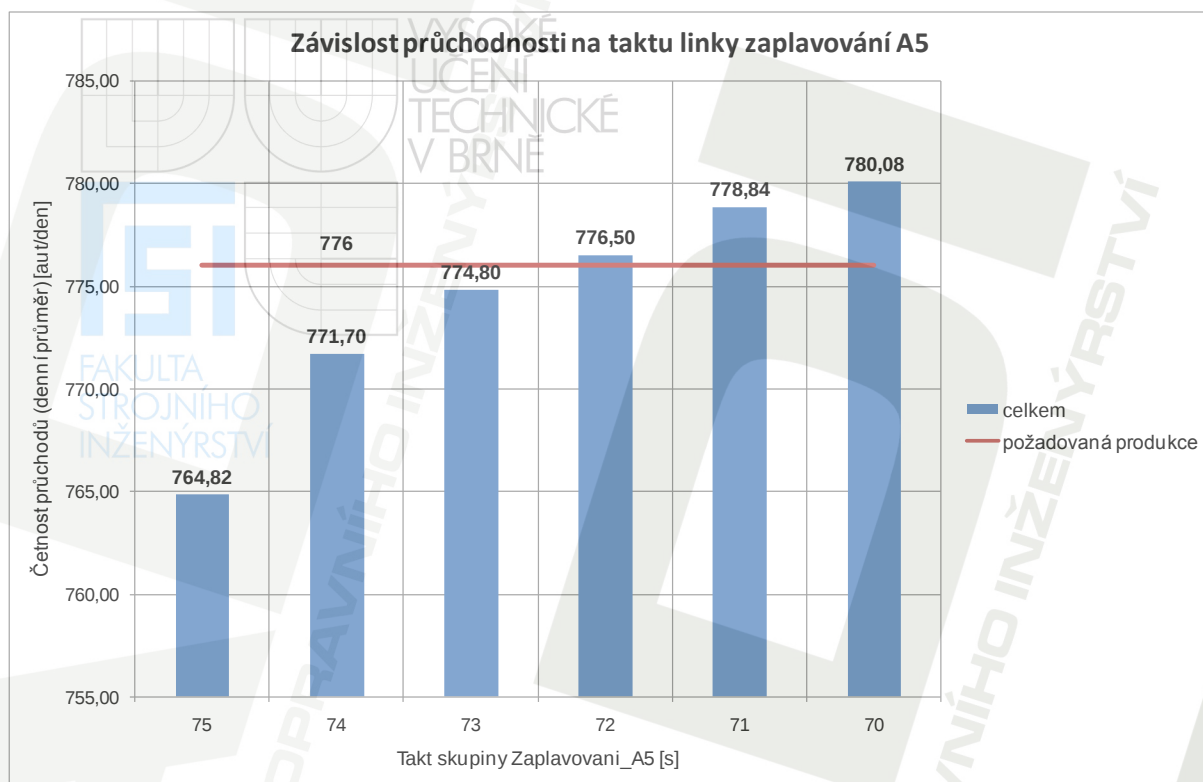
| Změny produkce      | Karoserie | 76 / 250 | 81 / 245 | 86 / 240 | 91 / 235 | 96 / 230 | 101 / 225 | 106 / 220 | 111 / 215 | 116 / 210 |
|---------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Požadovaná produkce | A4_AUS    | 76       | 81       | 86       | 91       | 96       | 101       | 106       | 111       | 116       |
|                     | A5_MB     | 450      | 450      | 450      | 450      | 450      | 450       | 450       | 450       | 450       |
|                     | A5_AUS    | 250      | 245      | 240      | 235      | 230      | 225       | 220       | 215       | 210       |
|                     | celkem    | 776      | 776      | 776      | 776      | 776      | 776       | 776       | 776       | 776       |
| Výsledná produkce   | A4_AUS    | 73,37    | 78,90    | 83,73    | 88,47    | 93,37    | 97,78     | 103,47    | 108,65    | 113,52    |
|                     | A5_MB     | 441,15   | 443,48   | 445,63   | 447,53   | 449,00   | 450,08    | 451,60    | 451,78    | 452,60    |
|                     | A5_AUS    | 249,67   | 245,33   | 241,43   | 236,65   | 232,03   | 227,47    | 223,85    | 218,80    | 214,13    |
|                     | celkem    | 764,19   | 767,71   | 770,79   | 772,65   | 774,40   | 775,33    | 778,92    | 779,23    | 780,25    |

Příloha č. 28 Vliv optimalizace modelu na jeho průchodnost



| Porovnání modelů     |        | Karoserie | 76 / 250 | 81 / 245 | 86 / 240 | 91 / 235 | 96 / 230 | 101 / 225 | 106 / 220 | 111 / 215 |
|----------------------|--------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Původní model        | A4_AUS |           | 73,37    | 78,90    | 83,73    | 88,47    | 93,37    | 97,78     | 103,47    | 108,65    |
|                      | A5_MB  |           | 441,15   | 443,48   | 445,63   | 447,53   | 449,00   | 450,08    | 451,60    | 451,78    |
|                      | A5_AUS |           | 249,67   | 245,33   | 241,43   | 236,65   | 232,03   | 227,47    | 223,85    | 218,80    |
|                      | celkem |           | 764,19   | 767,71   | 770,79   | 772,65   | 774,40   | 775,33    | 778,92    | 779,23    |
| Optimalizovaný model | A4_AUS |           | 73,58    | 78,90    | 83,72    | 88,50    | 93,22    | 97,67     | 103,27    | 108,70    |
|                      | A5_MB  |           | 441,62   | 443,50   | 445,60   | 447,80   | 448,53   | 449,63    | 451,08    | 451,82    |
|                      | A5_AUS |           | 249,62   | 245,35   | 241,42   | 236,83   | 231,78   | 227,08    | 223,45    | 218,75    |
|                      | celkem |           | 764,82   | 767,75   | 770,74   | 773,13   | 773,53   | 774,38    | 777,80    | 779,27    |

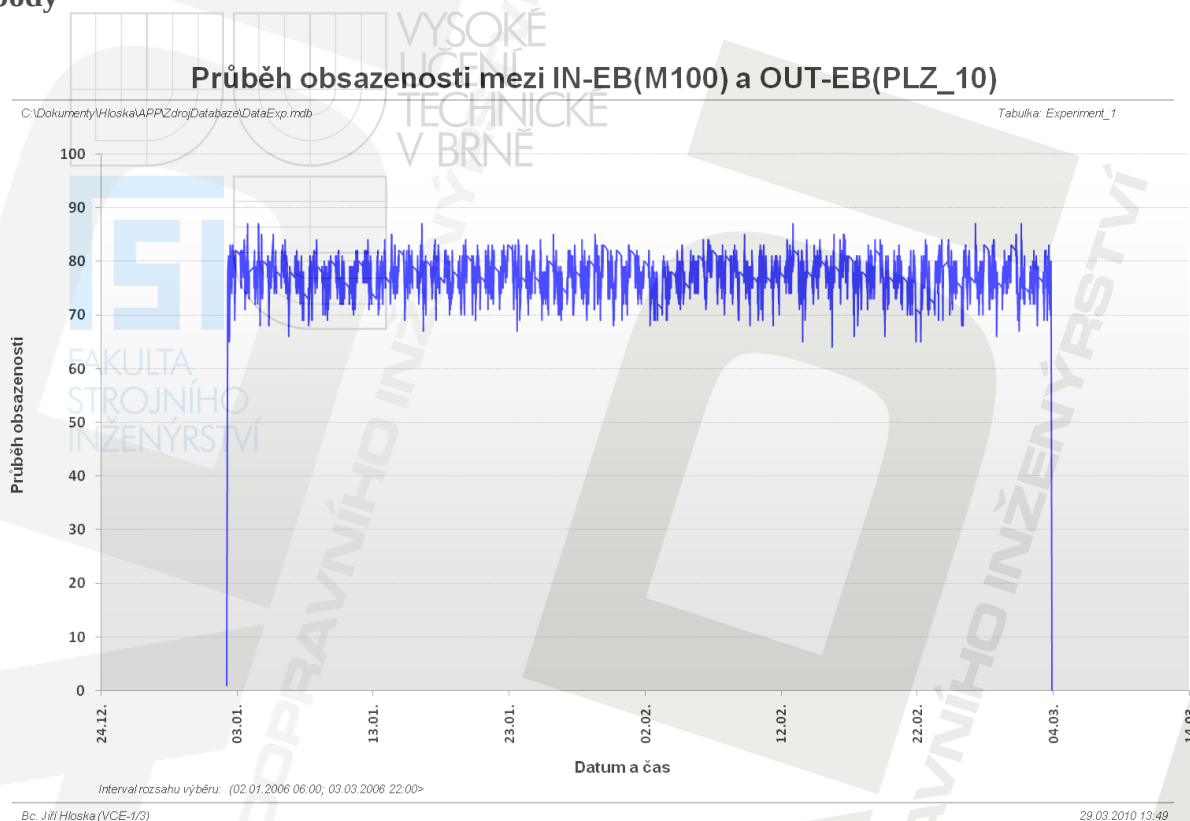
Příloha č. 29 Změna průchodnosti modelu dle taktu linky Konzervace A5



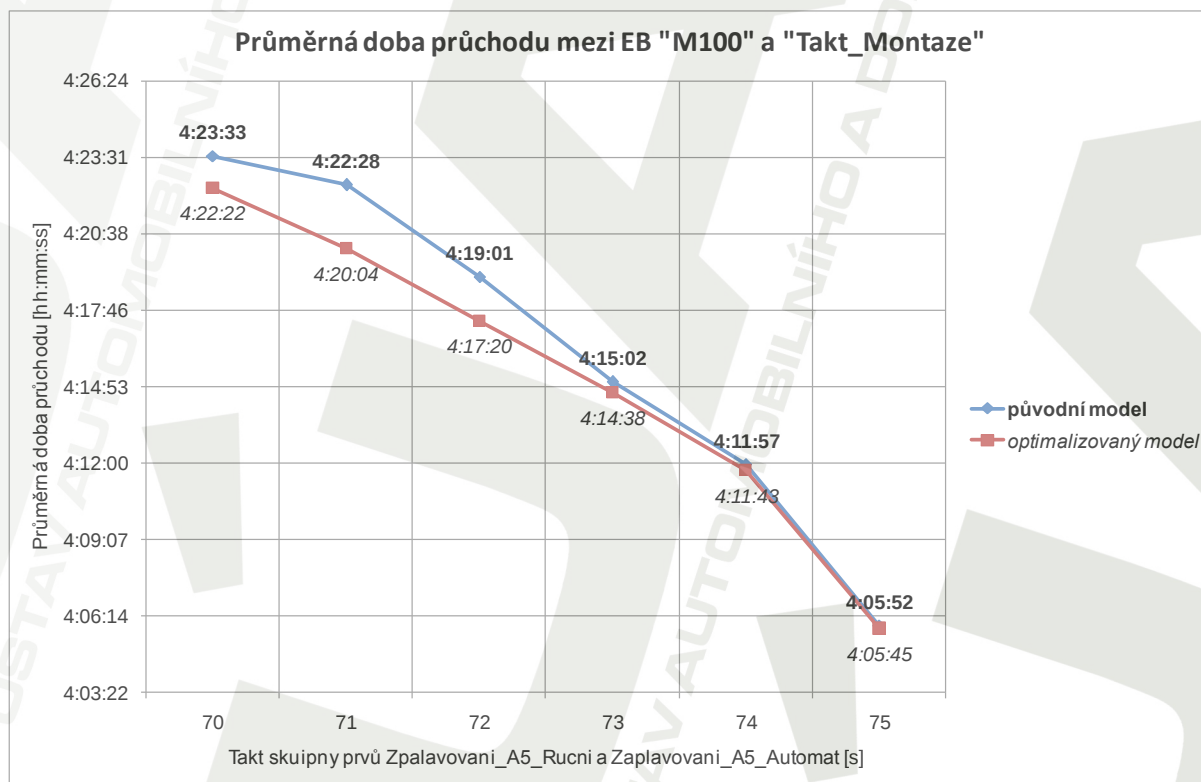
| Změny taktu Zaplavovani_A5 |        | Takt [s] | 75     | 74     | 73     | 72     | 71     | 70     |
|----------------------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Výsledná produkce          | A4_AUS |          | 73,58  | 74,30  | 74,57  | 73,80  | 74,88  | 74,95  |
|                            | A5_MB  |          | 441,62 | 445,60 | 447,48 | 447,35 | 449,78 | 450,49 |
|                            | A5_AUS |          | 249,62 | 251,80 | 252,75 | 255,35 | 254,18 | 254,64 |
|                            | celkem |          | 764,82 | 771,70 | 774,80 | 776,50 | 778,84 | 780,08 |

## Příloha č. 30 Ukázka grafu průběhu obsazenosti úseku mezi zvolenými evidenčními

body



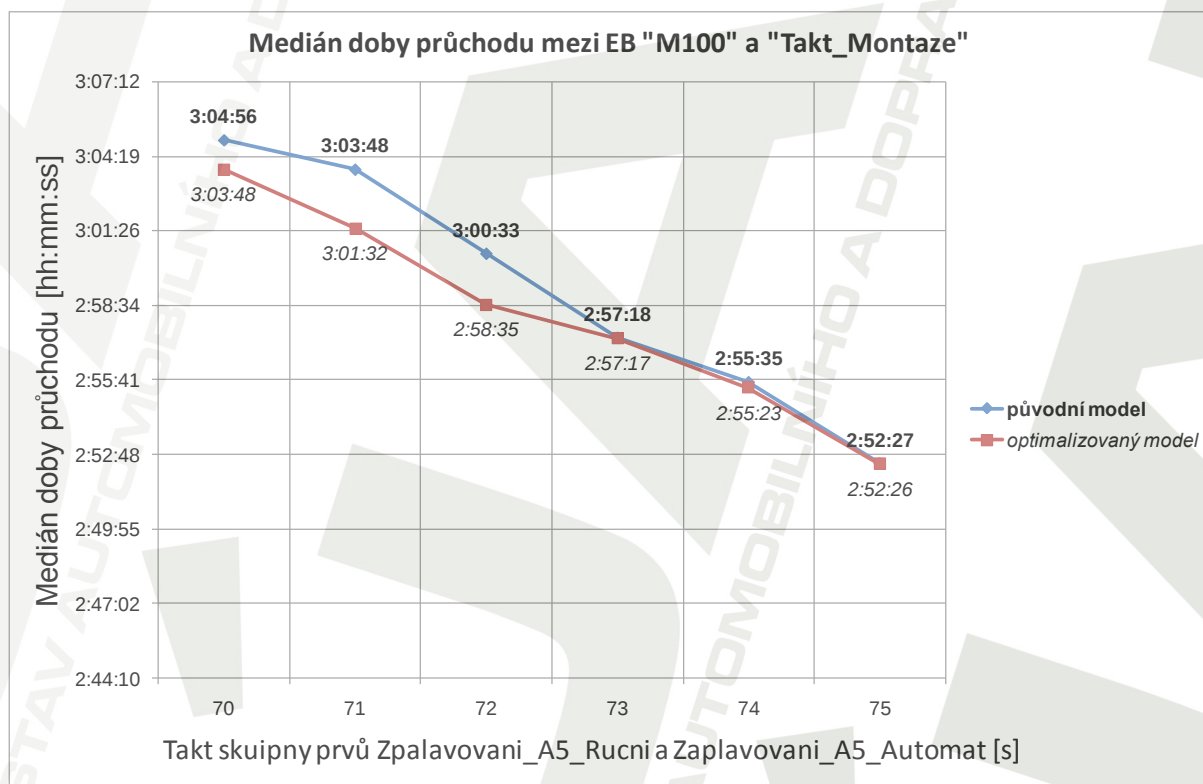
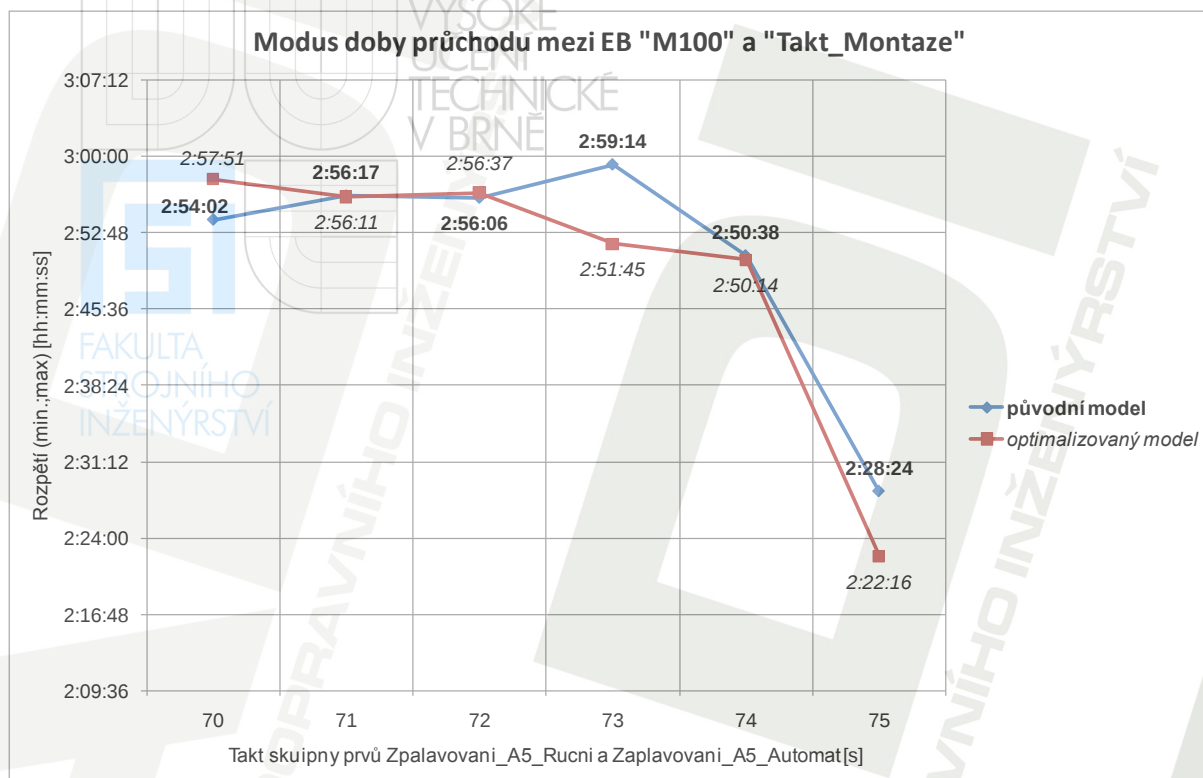
## Příloha č. 31 Průměrná doba průchodu karoserií mezi evidenčními body dle výrobního programu pro původní i optimalizovaný model



| průměrná hodnota     | 70      | 71      | 72      | 73      | 74      | 75      |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| původní model        | 4:23:33 | 4:22:28 | 4:19:01 | 4:15:02 | 4:11:57 | 4:05:52 |
| optimalizovaný model | 4:22:22 | 4:20:04 | 4:17:20 | 4:14:38 | 4:11:43 | 4:05:45 |

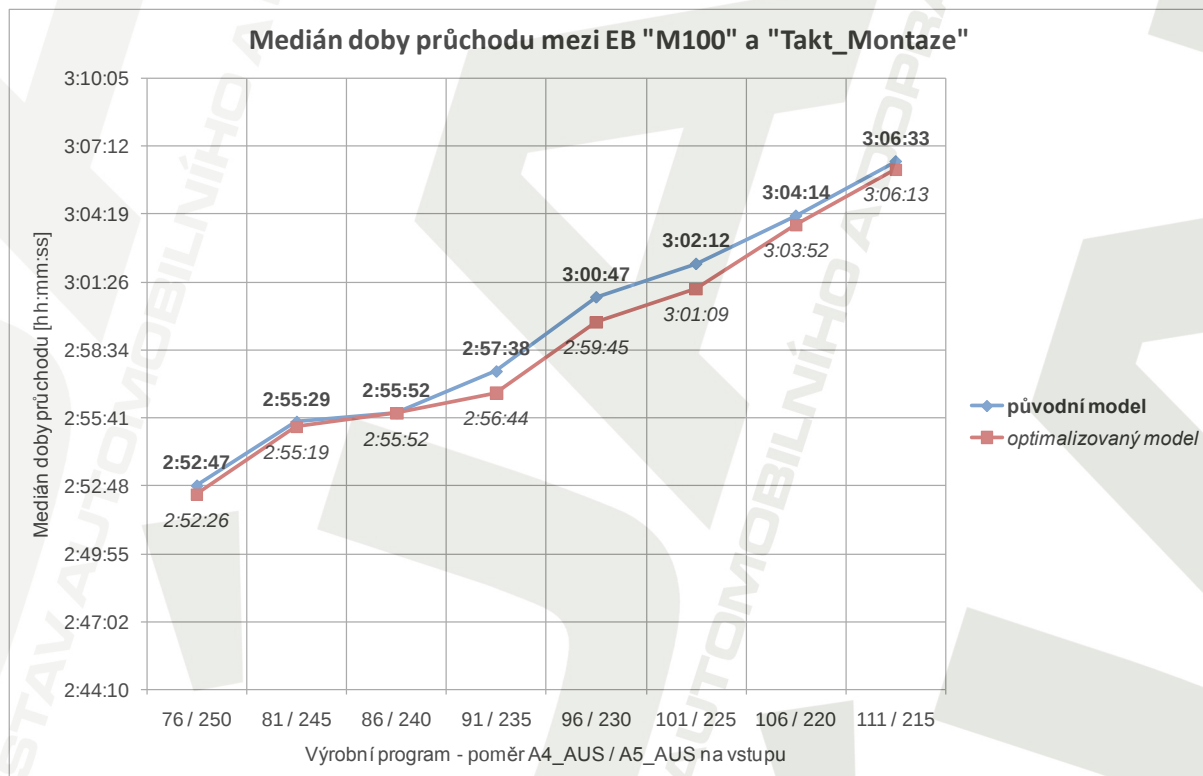
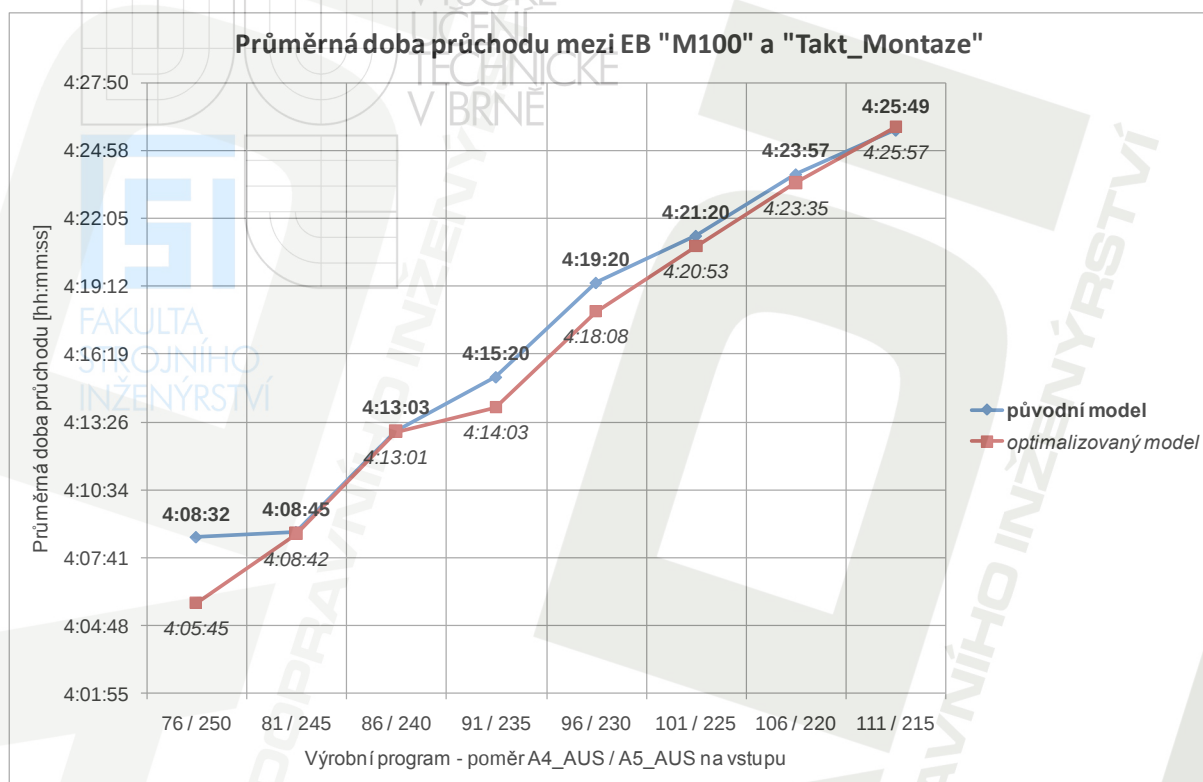
Příloha č. 32 Analýza doby průchodu karoserií mezi evidenčními body dle taktu linky

Konzervace A5 pro původní i optimalizovaný model



| Modus                | 70      | 71      | 72      | 73      | 74      | 75      |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| původní model        | 2:54:02 | 2:56:17 | 2:56:06 | 2:59:14 | 2:50:38 | 2:28:24 |
| optimalizovaný model | 2:57:51 | 2:56:11 | 2:56:37 | 2:51:45 | 2:50:14 | 2:22:16 |
| Medián               | 70      | 71      | 72      | 73      | 74      | 75      |
| původní model        | 3:04:56 | 3:03:48 | 3:00:33 | 2:57:18 | 2:55:35 | 2:52:27 |
| optimalizovaný model | 3:03:48 | 3:01:32 | 2:58:35 | 2:57:17 | 2:55:23 | 2:52:26 |

**Příloha č. 33 Analýza doby průchodu karoserií mezi evidenčními body dle výrobního programu pro původní i optimalizovaný model**



| průměrná hodnota     | 76 / 250 | 81 / 245 | 86 / 240 | 91 / 235 | 96 / 230 | 101 / 225 | 106 / 220 | 111 / 215 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| původní model        | 4:08:32  | 4:08:45  | 4:13:03  | 4:15:20  | 4:19:20  | 4:21:20   | 4:23:57   | 4:25:49   |
| optimalizovaný model | 4:05:45  | 4:08:42  | 4:13:01  | 4:14:03  | 4:18:08  | 4:20:53   | 4:23:35   | 4:25:57   |
| Medián               | 76 / 250 | 81 / 245 | 86 / 240 | 91 / 235 | 96 / 230 | 101 / 225 | 106 / 220 | 111 / 215 |
| původní model        | 2:52:47  | 2:55:29  | 2:55:52  | 2:57:38  | 3:00:47  | 3:02:12   | 3:04:14   | 3:06:33   |
| optimalizovaný model | 2:52:26  | 2:55:19  | 2:55:52  | 2:56:44  | 2:59:45  | 3:01:09   | 3:03:52   | 3:06:13   |