# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2007/2008 Petr Fabián

**TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC**
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

**Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika**

**Studijní obor: Informatika a logistika**

# Simulace vláčkového zásobování v podniku AKT Jablonec nad Nisou

# Simulation of train-supply for AKT Jablonec nad Nisou plant

**Bakalářská práce**

**Autor:** **Petr Fabián**

**Vedoucí bakalářské práce:** **Doc. Dr. Ing. František Manlig**

**Konzultant:** **Ing. Jan Vavruška**

**V Liberci 13. 5. 2008**

*(Tady má být originál zadání)*

# Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

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

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

// Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Doc. Dr. Ing. Františku Manlingovi a konzultantovi Ing. Janu Vavruškovi za cenné připomínky a náměty.

Také bych chtěl poděkovat všem pracovníkům firmy AKT, se kterými jsem přišel do styku, za jejich vstřícnost, bez které bych do pochopení podnikové praxe pronikal jen velmi obtížně. Taktéž jejich praktické zkušenosti, o něž se se mnou podělili, mi velmi pomohly.

V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině a přátelům, kteří mě při práci podporovali.

# Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je seznámit se blížeji se současným prostředím výrobního podniku, metodami řízení výroby používanými v současné době a s nejnovějšími metodami sloužícími k zefektivňování výrobních procesů.

Poté je třeba navrhnout rozšíření stávajícího zásobování pomocí kanbanového vláčku pro linky Automontáže a funkčnost tohoto návrhu ověřit funkční simulací.

Simulační model je navržen tak, aby přes maximální věrohodnost zůstával snadný k pochopení a mohl být libovolně rozšířen podle budoucích potřeb.

# Abstrakt

The target to this work is to learn about modern plants, principles used to control production used nowadays as well as modern theories used for increasing the productivity.

Then it is needed to project extension of current supplying kanban train to assembly lined in hall “Auotmonáž” and verify by a simulation.

The simulation model is designed to keep maximal credibility and still easy to understand to remain extendable for further needs.

# Obsah

Prohlášení 3
Poděkování 4
Abstrakt 5
Abstrakt 5
Obsah 6
Seznam symbolů, zkratek a termínů 8
Úvod 9
1 Úvod do problematiky zefektivňování procesů 11
1.1 Současný trh 11
1.2 Boj o konkurenční výhodu 12
1.2.1 Marketing 12
1.2.2 Vývoj 13
1.2.3 Jakost – nutné, ale ne postačující 13
1.2.4 Cena jako nástroj získávání konkurenční výhody 14
1.2.5 Čas jako hlavní nástroj získávání konkurenční výroby 15
1.3 Současná praxe 16
1.4 Moderní přístupy k řízení výroby 17
1.4.1 MRP II (Manufacturing Resource Planning) 17
1.4.2 JIT (Just In Time) 17
1.4.3 Kanban 18
1.4.4 TOC (Theory of Constraints) 18
1.4.5 LEAN Production (Štíhlá výroba) 19
1.5 Počítače ve výrobě 20
2 Současný stav v hale Automontáž 22
2.1 Organizace haly Automontáž 22
2.2 Tok materiálu 22
2.3 Zhodnocení 23
3 Navrhované řešení 24
3.1 Dispoziční řešení 26
3.2 Plánovaný tok materiálu 26
3.2.1 Výpočet požadavků linek 27
3.2.1 Linka Audi LeMans 28
3.2.2 Linka Auflage Seitlich 29
3.2.3 Linka Dachkonzole 30
3.3 Náklady, přínosy 31
3.4 Zhodnocení 32
4 Simulace návrhu 33
4.1 O programu Witness 2007 33
4.1.1 Grafické rozhraní 34
4.1.2 Použité prvky knihoven Witness 2007 36
4.2 Tvorba modelu 37
4.2.1 Definování materiálu – díly typu Součástka 37
4.2.2 Pomocné a kontrolní hodnoty 38
4.2.2 Montážní linka Audi LeMans (LM) 38
4.2.3 Montážní linka Auflage Seitlich (AS) 39

4.2.4 Montážní linka Dachkonzole (DK) ... 41
4.2.5 Vláčková dráha ... 43
4.2.6 Vyhodnocení ... 43
5 Zhodnocení a závěr ... 46
Citace ... 47
Přílohy ... 48

# Seznam symbolů, zkratek a termínů

JIT – Just in Time, dodávání zboží nebo materiálu právě ve chvíli, kdy je potřeba

Životní cyklus zboží – období od zavedení výrobku (nebo služby) na trh po jeho definitivní stažení z nabídky

Skladovací náklady – veškeré náklady na skladování materiálu

Turbulentní trh – trh, který se neustále nepředvídatelně mění jak v oblasti poptávky, tak i nabídky

APICS - Association for Operations Management (Asociace pro operační management), nezisková mezinárodní organizace považovaná za autoritu v oblasti podnikového řízení

Úzké místo – je podle teorie omezení klíčový zdroj, který limituje produkci firmy a tím i její zisky

Pole (vektor) – datová struktura, která udržuje vyšší počet prvků (čísel), k nimž se přistupuje pomocí jejich indexů

# Úvod

Nejen rostoucí konkurenci mezi výrobními firmami roste potřeba využívat poznatků logistiky a plánování výroby. Obdobné potíže řeší i ty firmy, které procházejí rychlým růstem, protože i zde dochází k výraznému průtoku materiálu, který není dosavadní vybavení (ať už jde o lidské zdroje, techniku nebo schopnosti řídit) schopné nyní nebo v blízké budoucnosti schopno zvládat.

Tato práce byla vytvořena za účelem naplánování a ověření plánovaného rozšíření vláčkového zásobovacího mechanismu na montážní linky v hale Automontáž firmy AKT Plastikářská technologie Čechy, spol. s r.o. Tato metoda po svém zavedení na předchozí pracoviště přinesla výrazné úspory nejen finanční, ale hlavně pak ve zjednodušení řízení a v úsporách místa v hale.

Na základě současného stavu potřeb montážních linek a zkušeností s již využívaným vláčkovým mechanismem u linky HSK Opel Astra byl vytvořen návrh, jakým způsobem se zvolené linky budou zásobovat. Pro takovýto systém se vytvořil v programu Witness 2007 simulační model, pomocí něhož bylo následně ověřena jeho funkčnost.

# 1 Úvod do problematiky zefektivňování procesů

## *1.1 Současný trh*

Díky rychlému rozvoji techniky v posledních desetiletích přestávají vzdálenosti představovat takovou bariéru, jakou byly dříve. To způsobuje, že produkty kterékoli firmy mohou zásobovat libovolný trh na světě; lokální trhy tudíž přestávají být chráněny vzdáleností od jiných – dochází ke globalizaci trhu.

Další důležitou skutečností hrající roli na dnešním trhu je fakt, že je možné koupit veškeré potřebné technologie i stroje pro výrobu a v řadě zemí není problém sehnat i dostatečné množství levné pracovní síly. To způsobuje, že dnešní trh je značně turbulentní – neustále a velmi rychle se mění, přičemž není možné jeho vývoj předvídat.

Nejen, že lze těžko určit, odkud a kdy přijde nová konkurence nebo kde se objeví nový trh, ale i to, s jakým převratným výrobkem nebo službou přijde stávající konkurence.

Vlivem těchto skutečností se na každém trhu vyskytuje velké množství zboží, pro které nemusí vždy být dostatečná poptávka – v některých průmyslových odvětvích převyšuje nabídka poptávku desetinásobně až dvacetinásobně.

To vše zostřuje konkurenční boj, protože každá firma se musí snažit prosadit své produkty proti produktům jiných společností, protože je jasné, že jen ti „první“ mohou prodat, zatímco ti ostatní neuspějí a v lepším případě jen ztratí část svých zisků, v horším případě mohou ztratit úplně.

V této situaci se nyní nachází evropský a obecně západní průmysl, kam se stále silněji tlačí asijská produkce, využívající kapitálu rostoucí ekonomiky, téměř neomezených zdrojů velmi levné pracovní síly a levné dopravy. Novým ohrožením se stávají i firmy zaměřující se na masovou produkci jakýchkoli produktů, čímž dokázali stlačit fixní náklady na jednotku výroby, čímž mohou nabízet zboží za ceny, kterým západní trh s drahou pracovní silou a omezeným růstem nemůže konkurovat.

Přestože v dnešní době toto zboží konkuruje ve velké většině pouze svojí cenou, existují reálné obavy, že v nejbližších několika letech dosáhne kvality minimálně srovnatelné s evropskou produkcí, aniž by se jejich cena výrazněji zvýšila.

## *1.2 Boj o konkurenční výhodu*

Jedinou možností pro firmu, jak se udržet na vrcholu v tomto konkurenčním boji, je získání konkurenční výhody, která přiměje zákazníka preferovat náš výrobek nebo službu.

Protože jde o boj o zákazníka, je nutné mít na mysli to, že středem všech těchto aktivit je právě zákazník. Sebelepší výrobek nebo služba neuspějí, pokud jsou představy trhu na kterýkoli aspekt produktu jiné – ať už jde o cenu, kvalitu, formu nebo některé funkce.

### 1.2.1 Marketing

Marketing vznikl koncem 19. století, tedy v době, kdy poptávka přesahovala nabídku. Po hospodářské krizi v roce 1929 došlo k obrácení situace: výroba začala převyšovat poptávku, což vedlo ke změně orientace marketingu z výroby na prodej, v jehož centru je zákazník a jeho individuální požadavky.

Dnes již nestačí vyrábět a čekat, že si zboží koupí zákazník, který nemá jinou možnost, jako tomu bylo v době, kdy Henry Ford nabízel svá auta v barvě dle přání zákazníka, pokud chtěl černou. Zaměření na zákazníka vyžaduje segmentaci výrobků do více kategorií tak, aby si zákazníci mohli koupit to, co je pro ně nejúčelnější. Dnes by automobilka s Fordovou nabídkou neuspěla; lidé si přejí různé barvy, různí lidé využijí (a jsou ochotni zaplatit) za různé vybavení a výrobce musí být schopen nabídnout takovýto výběr.

Při tvorbě marketingového plánu se často používá tzv. zásada 4P. Konkrétní způsob naplnění jednotlivých zásad se nazývá marketingový mix.

Product / Service (produkt a služby)

Průzkumem trhu se určuje, jaké produkty trh chce a jaké vlastnosti případně funkce od nich očekává a podle toho přizpůsobuje plán výroby.

Price (cena)

Není nezbytné dodávat trhu výrobky enormní kvality, protože i jejich cena by byla značná – takovouto strategii musí volit luxusní značky, které svým jménem garantují vysoký standard. Pro masový trh je potřeba najít optimální poměr mezi užitnou hodnotou a cenou tak, aby odpovídaly požadavkům zákazníka.

Promotion (propagace)

Stejně jako různé výrobky jsou zaměřeny na různé skupiny potencionálních zákazníků, je nutné i správně přizpůsobit reklamu a způsob prodeje cílové skupině.

Place (distribuce)

Každý produkt se dá lépe prodat, pokud se zvolí správné místo a načasování.

V tomto opět vynikají Japonci, kteří nespoléhají pouze na dotazníkové průzkumy, ale jsou schopni vyrobit a dodat trhu nevelké série zboží různých variant a zájem zkoumají přímo na reálním prodeji různých variant, čímž získávají mnohem přesnější informace. Účinnost jejich průzkumu trhu posiluje osobní styk se zákazníky, kterým vytváří vhodnou zpětnou vazbu pro získávání informací o potřebách zákazníků. Osobní jednání navíc podporuje důvěru v obchodních vztazích.

### 1.2.2 Vývoj

Další, neméně podstatnou aktivitou je vývoj a modernizace. Produkty, které umožňovala technologie před desítkou let, již dneska nemohou splňovat vysoké požadavky zákazníků. Pokud dnes není dodavatel schopen vyrábět i z nových materiálů, s přesností a rychlostí, jakou trh požaduje, jakékoli jiné výhody jejich produktů nepomohou.

Modernizaci vyžaduje i ekologický zájem, narůstající od osmdesátých let. Společnosti nejen že musí dodržovat ekologické normy zaváděné od let sedmdesátých, ale i sílící požadavky svých odběratelů na ekologickou nezávadnost.

Mnoho firem si začíná uvědomovat, že ekologická nezávadnost může být dobrou konkurenční výhodou.

### 1.2.3 Jakost – nutné, ale ne postačující

Než se firma rozhodne soupeřit s konkurenčními výrobky a začne investovat ohromné sumy do zlepšování svých výrobků, musí být schopna dosáhnout trhem požadované kvality. Je jasné, že ani sebelepší výrobky uspokojující všechny nároky zákazníka, se na trhu neprosadí, pokud nebude odpovídat stanoveným požadavkům zákazníka.

Náklady na kvalitu sice nejsou nízké a tvoří zhruba 6% až 14% výrobních nákladů, ale obecně se ukazují být mnohem nižší než náklady na špatnou kvalitu. Ty rostou s dobou, po které jsou odhaleny. Nejhorší je nekvalitní produkt, který se dostane až k zákazníkovi, protože nejen že jeho výroba a expedice stojí peníze a výrobní čas, ale navíc hlavně zhoršuje vztahy mezi odběratelem a dodavatelem.

Pokud vezmeme náklady na nekvalitní výrobek dodaný odběrateli za jednotku nákladů, uvádí se, že náklady na stejný problém, pokud by byl odhalen v expedici, by činily 10%, pokud by k odhalení chyby došlo už ve výrobě, činily by jen 1% těchto nákladů.

Tento poznatek vede k využívání takzvané „off-line" péče o jakost, která se snaží zabránit tomu, aby k narušení kvality vůbec mohlo dojít. V Japonsku se tento postup projevuje tím, že dojde-li k vytvoření zmetku, nehledá se člověk, který to zavinil (to mimo jiné vede ke skrývání zmetků a jejich prodražování), ale hledá chybu v procesu, který vznik zmetku umožnil. Vlivem toho je nejen snižování nákladů ne zmetky, které jsou odhalovány okamžitě), ale i nízká cena na zabezpečení maximální kvality.

### 1.2.4 Cena jako nástroj získávání konkurenční výhody

V praxi se velká část společností věnuje snižování cen, aby jejich produkty mohly konkurovat produktům konkurence. Vzhledem k tomu, že je nezbytné, aby cena zboží byla vyšší než náklady na jeho výrobu, zvyšuje tento přístup tlak na radikálnější snižování nákladů.

Takovéto kroky jsou ale velmi nebezpečné a řada moderních manažerů a teoretiků často přirovnává snižování nákladů k anorexii: dokud se odkrajuje tuk (tedy zbytečné náklady), je vše v pořádku, ale dále už jsou takovéto snahy čistě destruktivní. Zde již dochází ke snižování výkonnosti společnosti z důvodů nedostatku financí na optimální činnost, nebo kvůli špatné motivaci pracovníků, kterých se úspory přímo dotýkají (pokles motivace, pokud se lidem nedostává prostředků, které potřebují, stejně tak pracovní tým nevykáže zlepšení, pokud lidé vědí, že to povede k jejich propouštění).

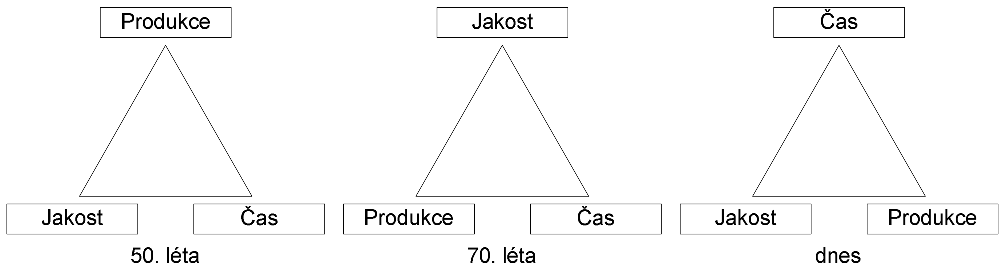
Krom toho, že cenu nelze snižovat pod individuální míru, v řadě případů působí příliš nízká cena jako negativní signál pro potencionální zákazníky: je-li něco příliš levné, může to potencionální zákazník vyhodnotit jako známku nízké kvality.

Nejen na základě těchto skutečností je zcela zřejmé, že snižování ceny nemůže být z dlouhodobého hlediska tím správným řešením, jak prodat.

### 1.2.5 Čas jako hlavní nástroj získávání konkurenční výroby

Jak již bylo řečeno, v dnešní době lze vyrobit téměř cokoli. Proto se začíná prosazovat názor, že si nekonkurují výrobky samotné, ale jejich výrobní procesy. Důležité tedy není, co se vyrábí, ale jak se to vyrábí a poskytuje zákazníkovi.

Pokud se začneme dívat na konkurenční boj skutečně jako na boj mezi výrobními procesy, zjistíme, že možností získání konkurenční výhody je mnohem více.




**Obrázek 1: Vývoj priorit ve výrobě**

Přestože neutuchá potřeba držet náklady co nejnižší a tudíž neustále bojovat proti plýtvání (ale jen proti opravdovému plýtvání), stává se v dnešní době velmi důležitým faktorem čas. Původcem tohoto požadavku není nikdo jiný nežli zákazník, který potřebuje a tudíž i vyžaduje co nejpřesnější dodávky vstupního materiálu.

Řešení pomocí velkých zásob je neekonomické, protože zásoby v sobě váží kapitál, a také velmi riskantní, protože s krátícím se životním cyklem výrobků narůstá riziko, že zásoba hotové produkce přestane být prodejná. V lepším případě ji bude možné prodat za nižší cenu.

Jedním z řešení je zkrácení průběžných časů, čímž nejen že se zvýší schopnost reagovat na požadavky trhu, zároveň se sníží rozpracovaná výroba a tudíž i náklady na materiál a jeho skladování. Také se umožní navýšit produkci při stále nízkých skladových zásobách.

Výrazným přínosem je už samotný fakt, že se výroba nepřipravuje tak daleko dopředu a tudíž lze mnohem přesněji určit, jaké množství bude trh požadovat. I v případě firmy, která vyrábí pouze na objednávku, má zkrácení dodacích lhůt pozitivní vliv na její konkurenceschopnost.

## *1.3 Současná praxe*

Velké části současných firem v jakémkoli zlepšování brání jistá „setrvačnost“, jejímž vlivem se veškeré řízení a myšlení řídí pravidly, podle nichž se řídila výroba v prvních velkých fabrikách před více než sto lety, a tudíž nikterak nezohledňují významné změny, kterými světový trh za uplynulou dobu prošel.

V mnoha firmách se stále myslí v úrovni lokálních zlepšení, při čemž management zcela zapomíná na to, co je hlavním posláním jejich firmy. Neustále se snaží o zvyšování svého podílu na trhu, o maximální využití všech svých zdrojů, využívání modernějších technologií a věří, že každá lokální úspora povede k úsporám celého podniku. Při tom si ale často neuvědomují, že jejich hlavním cílem není nic z toho. Jediným cílem každé výdělečné společnosti je produkovat zisk nyní i v budoucnosti. Zaměstnávání lidí, výzkum a vývoj nových produktů jsou pouze nezbytné prostředky k dosažení tohoto cíle.

Dalším častým problémem je opomíjení skutečnosti, že v praxi vše souvisí se vším. Namísto toho, aby se vždy sledovala výsledná bilance celé společnosti, prosazují se změny lokálně v rámci jednotlivých oddělení. Nikdo si ale často neuvědomuje, že úspory na jednom oddělení mohou způsobit mnohem vyšší náklady někde jinde.

Ve výrobě se toto může projevovat snahou maximálně využít některé výrobní stroje, čímž sice dojde k poklesu nákladů na vyrobení dílu u tohoto střediska, ale pokud další stroje nejsou schopny takové množství materiálu zpracovat, ke zvýšení výkonu a tudíž i zisků nedochází. Na druhou stranu ale vzniká velké množství materiálu, který váže kapitál, ale musí být také někde uskladněn, což výrazně zvyšuje náklady na skladování.

**Podnik včera a dnes**

| | Dříve | Nyní |
|---|---|---|
| Cíl: | Maximální využití strojů | Produkovat zisk |
| Dávky: | Velké | Malé |
| Rozpracovaná výroba: | Vysoká | Nízká |
| Zásoby: | Vysoké | Minimální |
| Průběžné časy: | Dlouhé | Zkracování |
| Řízení: | Centrální | Decentralizace |
| Optimalizace: | Lokální | Celková |

**Tabulka 1: Podnik včera a dnes: Gregor, M. - Košturiak, J.: Podnik v roce 2001. Praha: Grada, 1993**

Dalším častým problémem je i výroba na sklad, která má sloužit jako rezerva pro rychlé uspokojení objednávek. Takovéto chování ale v první řadě utápí na dlouho velké finanční částky, které by mohly být použít mnohem účelněji. Navíc v době, kdy životní cyklus zboží je velmi krátký, hrozí velké riziko, že zájem o vyrobené zboží upadne a to, co firma vytvořila za použití svého kapitálu, drahého strojního času a stejně drahých lidských sil, bude zcela k ničemu. Taktéž je třeba mít na paměti vysokou položku skladovacích nákladů, případně náklady na zbudování dalších skladovacích prostor.

## *1.4 Moderní přístupy k řízení výroby*

Protože výroba je – s výjimkou skutečně malých podniků – složitý proces, kterého se účastní desítky položek materiálu, operací a pracovníků, není možné, aby byla efektivní bez řádného řízení.

### 1.4.1 MRP II (Manufacturing Resource Planning)

Podle APICS[1] je MRP II metoda plánování zdrojů výrobní společnosti, spojující lidské schopnosti, databáze a počítače do jedné entity pro plánování a řízení na všech úrovních od dlouhodobých cílů po operativní potřeby. Vývojově vychází z MRP (Material Requirements Planning), který se zabýval pouze materiálovými potřebami.

Představou pro MRP byla centralizace a integrace informací tak, aby usnadňovaly rozhodování a zvyšovaly celkovou efektivitu produkce. V roce 1980 byl vyvinut systém pro počítání požadavků na zdroje ve výrobě běžící na základě předpovědi prodeje.

Ačkoli je MRP II v současné době nejvíce používaným systémem, je také nejvíce kritizovaným kvůli problémům s výpočtem kapacit.

### 1.4.2 JIT (Just In Time)

Just in Time, neboli „právě včas“ je strategie poprvé využitá ve Fordových závodech, později převzatá Japonci, odkud byla později znovu přijata západním průmyslem.

---

[1] APICS – Asociace pro operační management (Association for Operations Management), nezisková mezinárodní organizace považovaná za autoritu v oblasti podnikového řízení

Myšlenka nakupování materiálu až ve chvíli, kdy je skutečně potřeba, vychází z vědomí, že zásoby jsou plýtvání, protože v sobě váží kapitál a navíc u nich neroste přidaná hodnota.

Při dodržení všech požadavků umožňuje nejen výrazné snížení nákladů na zásoby (50 až 90%), ale i požadavků na skladovací prostor (do 40%) a nákladů na odstraňování vzniku zmetků (do 50%). [2]

Hlavními nevýhodami JIT jsou obzvláště v dnešní době stále častěji vytýkané vysoké nároky na dopravu, protože zvyšuje ekologickou zátěž a způsobuje houstnutí provozu kvůli častému přesunu materiálu a absence ochrany proti nepředvídatelným událostem – pokud dojde ke zdržení materiálu, na který čeká linka bez jakýchkoli zásob, povede to nevyhnutelně k zdržení výroby.

### 1.4.3 Kanban

Systém Kanban (kan = vizuální, ban = štítek) je systém propojený se štíhlou výrobou i JIT, který je na něm postaven. Na rozdíl od MRP II využívá tažného (pull) systému, kde odběratel prostřednictvím stanovených signálů zasílá požadavky, které dodavatel uspokojuje. Vzhledem k tomu, že lze řídit počet kanbanových „karet“, je možné řídit i množství rozpracované výroby. Kromě toho není ve výrobě možné vytvářet jakékoli nadbytečné zásoby.

Ačkoli, jak název napovídá, historicky původním řídícím mechanismem vizuálně kontrolované kartičky, v současné době se ale stejně dobře používají plastové záložky, golfové míčky nebo prázdné obaly od polotovarů a označená místa na podlaze.

Ve své ryzí podobě je využitelný pro součástky s málo kolísavým odběrem.

### 1.4.4 TOC (Theory of Constraints)

Teorie omezení (TOC) je komplexní filozofie řízení podniku, uvedená v osmdesátých letech E. M. Goldrattem.

Dle této teorie se v každém podniku nachází minimálně jedno tzv. úzké místo, které jej omezuje v dosahování cíle. Toto omezení může být jak vnitřní (např. stroj, pracoviště nebo člověk, který je plně vytížen a nemůže zvýšit svoji kapacitu), tak i vnější (např. schopnost marketingu vytvořit odbyt pro produkci). Kromě fyzického omezení,

které je relativně snadno odbouratelné, může být úzkým místem firmy například špatná firemní politika.

Hlavní myšlenkou TOC je odbourání všech zásob s výjimkou zásoby před úzkým místem, čímž se chrání jeho vytížení. To je nezbytné z toho důvodu, že doba ztracená na úzkém místě, je dobou ztracenou pro celý podnik, protože po tuto dobu je veškerá produkce zastavena. Ostatní zdroje, které nejsou úzkými místy, mohou naopak být využity méně, aby se nezvyšovala rozpracovaná výroba. Dalšími důležitými myšlenkami je boj proti dávkám, které zvyšují zásoby rozpracované výroby.

### 1.4.5 LEAN Production (Štíhlá výroba)

LEAN není nástrojem řízení jako předchozí, ale jde spíše filozofie. Její podstatou štíhlé je odstranění veškerého plýtvání z výrobního procesu. Hlavním přínosem této filozofie je skutečnost, že zcela jasně definuje hlavní druhy plýtvání, čímž napomáhá k jejich odhalení, což je v praxi poměrně obtížné.

Za hlavní typy plýtvání jsou označovány:

- Nadprodukce (produkce nad rámec známých odhadů poptávky)
- Transport (pohyb s produkty, který není nutný k jejich opracovávání)
- Čekání (čekání na další krok ve výrobě)
- Zásoby (všechny polotovary, rozpracovaná výroba a hotové výrobky, s nimiž se již nepracuje)
- Pohyb (přesuny lidí nebo vybavení větší než je nutné k provádění výrobních úkonů)
- Špatné postupy
- Zmetky (úsilí vynaložené na vyhledávání a odstraňování škod po zmetcích)

Z tohoto výčtu je zřejmé, že skutečným plýtváním není nevyužívání některého ze zdrojů na 100% (pokud nejde o úzké místo[2]), tak, jako tomu bylo dříve, ale veškeré nakládání s materiálem, které nezvyšuje zákazníkovi přidanou hodnotu a tudíž zvyšuje pouze náklady, nikoli zisk z prodeje.

---

[2] Úzké místo definuje E. Goldratt v Teorii omezení jako klíčový zdroj, který limituje produkci a tím i zisky firmy

Jako příklad neštíhlé výroby bývá uváděno mapování ve firmě Coca-Cola, které zkoumá tok materiálu od dolování bauxitu až po dodávku do obchodního domu Tesco, kdy se zjistilo, že celý proces trvá 319 dní, při čemž se s materiálem pracuje pouhé 3 hodiny a zbytek času pouze čeká [5].

## *1.5 Počítače ve výrobě*

Počítače se využívaly ve výrobní praxi již od 50. let, kdy sloužily hlavně k výpočtům dat pro výrobu, případně k řízení některých strojů. Rozmach v dalších desetiletích umožnil rozšíření využitelnosti počítačů díky rozmachu jejich výkonu a vzniku specializovaného softwaru pro usnadnění návrhů.

To odstartovalo silnou euforii, že počítače vyřeší všechny problémy s řízením výroby – uvažovalo se o tzv. továrnách bez lidí, které by byly řízeny pouze počítači a lidé pouze vykonávali obsluhu strojů podle obdržených příkazů.

Tato euforie byla silně potlačena v 80. letech, kdy zavádění štíhlé výroby (lean production) nabízelo dosažení obdobných výsledků bez výrazných investic, jaké vyžadovalo nasazení počítačů.

Zhruba od konce 90. let se myšlenky digitálního podniku navrací, avšak v mnohem racionálnější podobě; na počítač se již nenahlíží jako na nástroj řešící všechny problémy, ale jako na užitečnou pomůcku. Počítače se využívají tam, kde mohou přinést užitek, ale hlavním prvkem zůstává člověk se svými zkušenostmi a schopnostmi. Na rozdíl od počítače totiž člověk dokáže vynikajícím způsobem improvizovat a řešit nové situace.

V současné době se začínají prosazovat myšlenky digitálního podniku, která se zaměřuje na automatizaci předvýrobních etap. Zahrnuje například vývoj konstrukce a technologie výrobku, vývoj výrobních prostředků, projekt výrobních a provozních souborů, vývoj a optimalizaci výrobních procesů, správu informací a výrobních zdrojů.

Mezi hlavní přínosy patří možnost zkoumat návrh (ať už výrobku nebo systému) ještě dříve, než je vyroben nebo uveden do chodu. Díky tomu je možné rychle a nenákladně modifikovat veškeré parametry tak, aby bylo dosaženo nejlepšího výsledku.

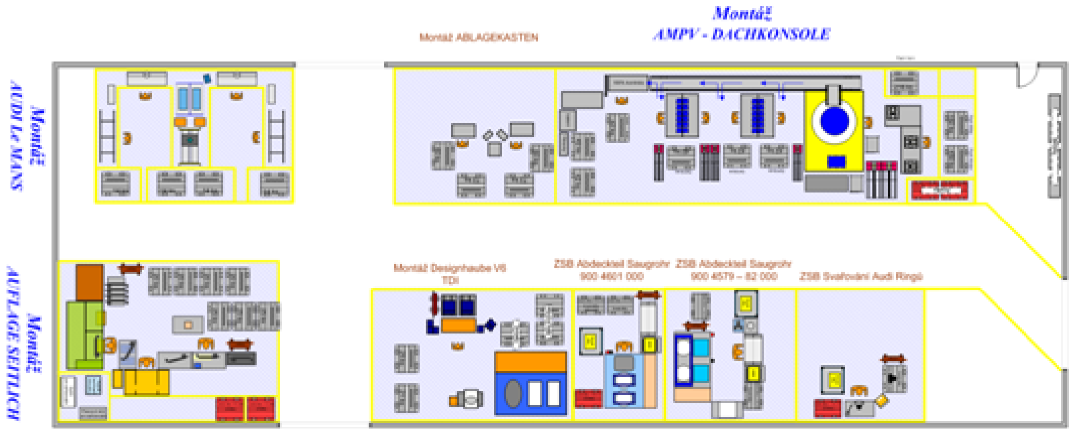
Kromě možností úspor při tvorbě návrhu výrobku, kde se nepracuje se skutečnými předměty, ale pouze s jejich virtuálními modely, což šetří spoustu prostředků i času, protože je možné zkoumat vzhled, vlastnosti nebo chování produktu (ať už jím je drobný předmět, výrobní hala nebo montážní linka), aniž by byla potřeba jeho hmotná výroba, je možné najít i mnoho výhod při návrhu nějakého postupu. Při tom je výrazná hlavně časová úspora, protože simulační výpočty mohou velmi spolehlivě zkoumat jak časově velmi krátké události (např. při zkoumání průběhu velmi rychlé deformace), tak i události dlouhodobé (např. při zkoumání dlouhodobých vlivů prostředí).

# 2 Současný stav v hale Automontáž

## 2.1 Organizace haly Automontáž

V současné době se v hale Automontáž nachází několik montážních linek, z nichž pro tuto bakalářskou práci jsou podstatné linky Dachkonzole, Auflage Seitlich, Audi LeMans, kterých se tvorba simulačního modelu týká, a několik dalších linek, jejichž napojení na případné vláčkové zásobování by mělo následovat.

Současné rozložení linek v hale Automontáž je na obrázku 2, případně v příloze A.




**Obrázek 1: Hala Automontáž (současný stav)**

## 2.2 Tok materiálu

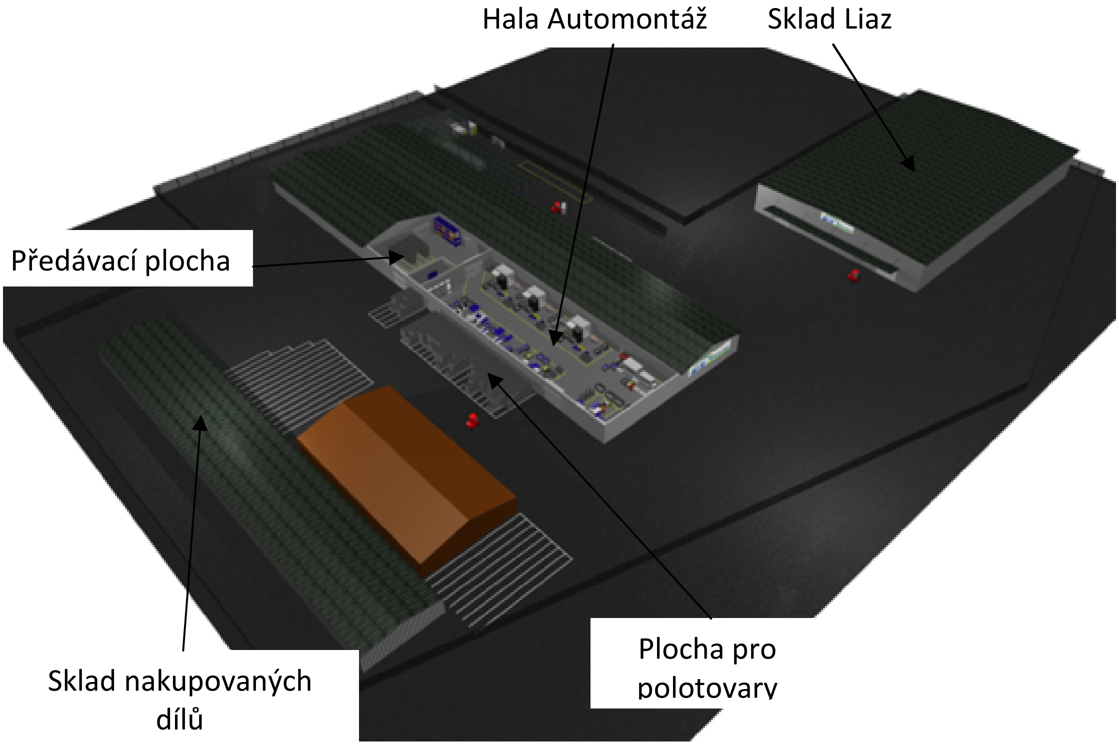
K manipulaci s materiálem slouží dieselové vysokozdvižné vozíky používané pro manipulaci s materiálem ve venkovních prostorách a zastřešených skladech. Kvůli hygienickým předpisům je nelze využívat ve vnitřních prostorách hal. K manipulaci s materiálem uvnitř haly je nutné používat elektrické vysokozdvižné vozíky, které naopak nelze využívat ve venkovních prostorech, protože hrubý venkovní povrch způsobuje značné opotřebovávání koleček. Při převozu materiálu mezi vnitřními a vnějšími prostotami se využívá předávacích míst, která se nachází uvnitř budov.

Veškerý materiál pro montážní linky v hale Automontáž je po přivezení vykládán a skladován v její těsné blízkosti, aby se zamezilo plýtvání zbytečnou manipulací: polotovary, které se na linky zaváží často, jsou na volné ploše hned u haly, nakupované

díly, jejichž doplňování neprobíhá tak často, jsou uskladněny v plechovém skladu před halou.

Palety s polotovary jsou v současné době k montážním linkám přiváženy jednotlivě pomocí elektrických vysokozdvižných vozíků, které je zaváží přímo k jednotlivým montážním linkám podle potřeby.

Hotová výroba je po zaplnění palety převážena elektrickými vysokozdvižnými vozíky na předávací místo u lakovny. To v pravidelných intervalech kontroluje dieselový vysokozdvižný vozík, který palety s hotovou výrobou převáží do skladu Liaz, kde je připravena k expedici.




**Obrázek 2: Areál AKT Plastikářská technologie Čechy spol. s r.o.**

## *2.3 Zhodnocení*

Současný stav zajišťuje potřebný přísun polotovarů i odvoz hotové výroby při minimálním počtu manipulací a manipulační techniky.

Hlavní nevýhodou stávajícího systému je vysoké vytížení vnitřní manipulační techniky, dosahující téměř nepřetržité činnosti. Vysoké vytížení a minimální čas na preventivní údržbu způsobuje vysokou poruchovost, což způsobuje růst nákladů a může vést i k ohrožení zásobování.

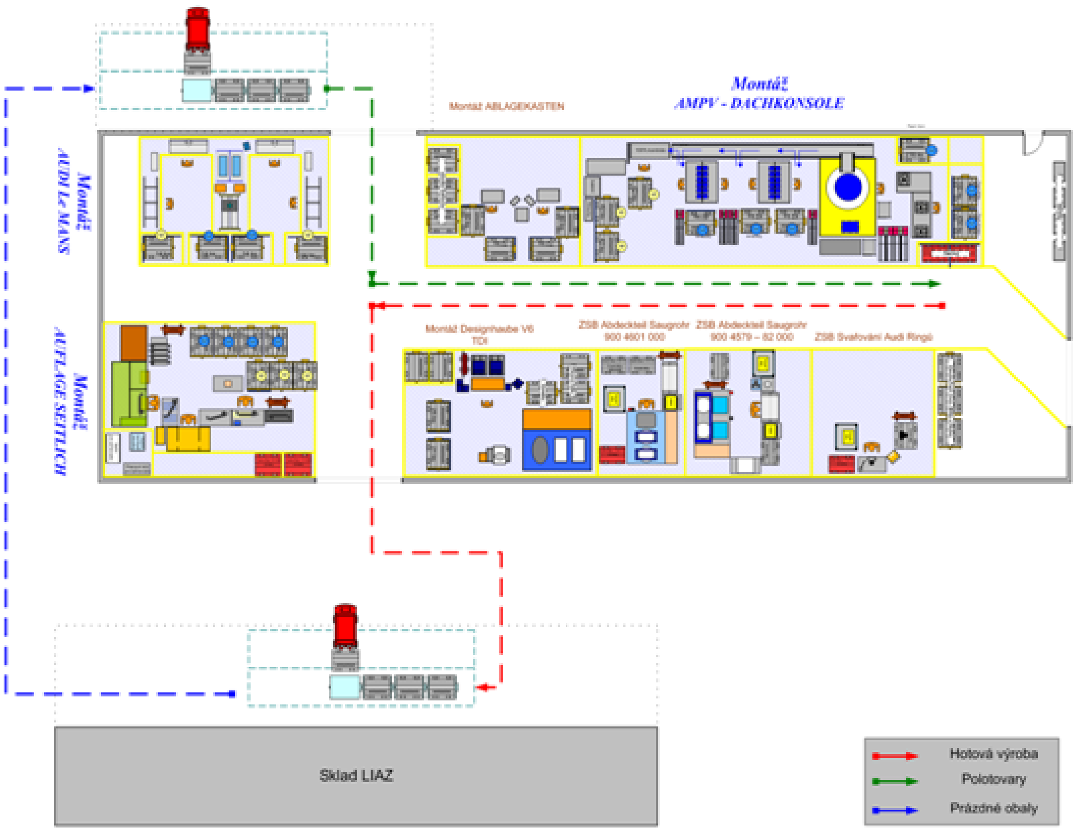
# 3 Navrhované řešení

Obecné řešení zásobování montážních linek počítá s využitím vláčku, který bude v hodinových intervalech projíždět pevně stanovené okruhy.

Na kryté nakládce před halou se k vláčku připojí vagonky s paletami potřebných polotovarů, jejichž přípravu obstarává venkovní dieselový vysokozdvižný vozík. Uvnitř haly, u každé linky, manipulant odpojí vozíky s polotovary, které umístí na určená místa pro polotovary u těchto linek. Poté připojí k vláčku vagonky s hotovou výrobou, kterou převeze k vykládce u skladu Liaz. Zde jsou palety opět venkovní dieselovým vysokozdvižným vozíkem vyloženy. Odsud jsou poté nakládány přímo na kamiony k expedici.

Během vykládky vozíků může být vláček připojen k vagonkům pro montážní halu HSK Opel Astra, která začíná i končí u tohoto skladu. Po návratu vláček odveze prázdné vagonky zpět na nakládku, kde je opět naložen potřebnými polotovary pro halu Automontáž.

Týž obrázek ve větším měřítku je v Příloze B. Žlutá kolečka s číslem „3“ reprezentují palety s polotovary, modrá kolečka s číslem „9“ reprezentují palety s hotovou výrobou. Obdobně u vizualizací slouží barvy k odlišení polotovarů od hotové výroby.




**Obrázek 3: Materiálový tok pro Automontáž**

Vzhledem k nemalému množství různých polotovarů a hotových výrobků je nezbytné zajistit mechanismus, který zajistí, že nedojde k záměně polotovarů pro jednotlivé linky. Zároveň je potřeba zajistit, aby byl na vláček nakládán právě ten materiál, který je požadován, a to v množství, jaké je požadováno.

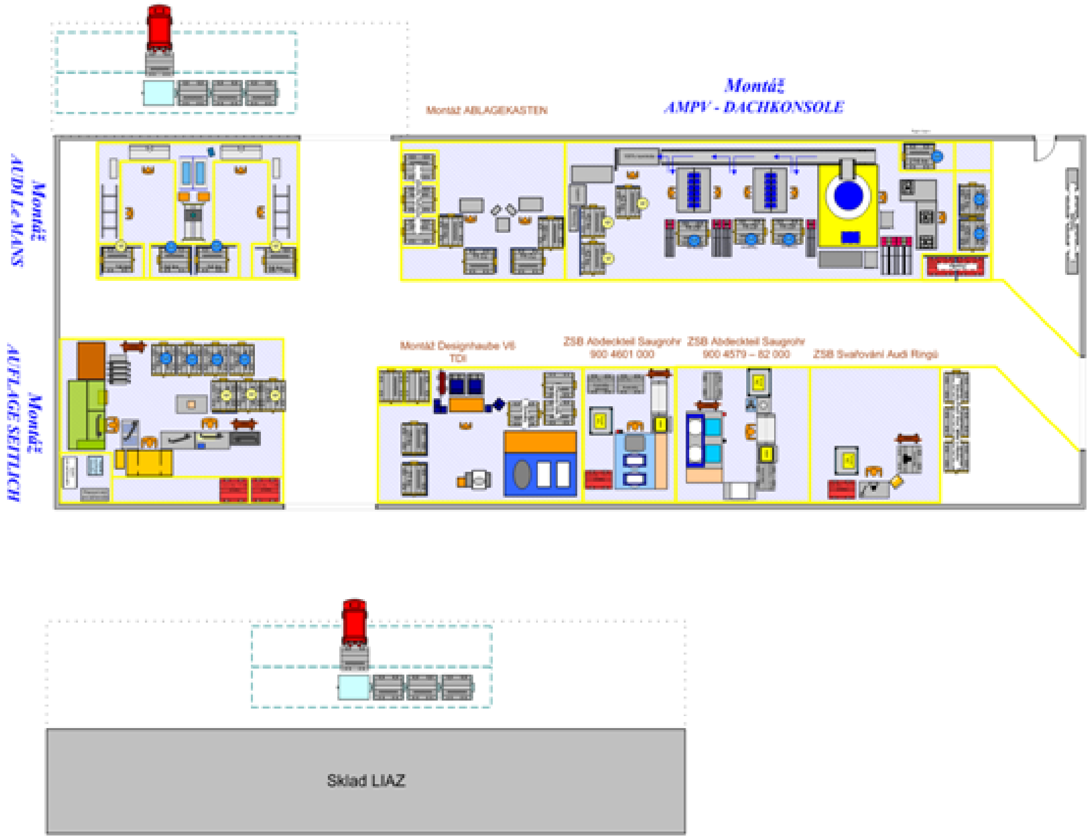
K tomuto účelu se počítá s označením vagónků cedulkami, které značí, jaké polotovary je na ně třeba nakládat. Protože jejich úloha odpovídá kartičkám v systému kanban, nebude možné, aby do systému vstoupilo více materiálu, než kolik ho je systém schopen zpracovávat. Tím pádem každý vagónek, který se po vyložení vrátí na nakládku, bude naložen paletou s polotovary podle označení na vagónku.

Zacházení s hotovou výrobou, která je vkládána do palet od polotovarů nevyžaduje speciální péči – přeznačení vagónků není potřeba, protože všechny palety budou u skladu Liaz vyloženy. K jejich třídění poslouží označení na paletách, které je již nyní běžnou praxí.

## 3.1 Dispoziční řešení

Rozmístění montážních linek v hale i rozmístění jednotlivých pracovišť v rámci linek zůstává nezměněné. Vzhledem k záměru zavážet montážní linky vláčkem v hodinových intervalech, je potřeba v jejich blízkosti vyznačit místa pro materiál, který bude tvořit bezpečnostní rezervu pro překlenutí doby mezi vyprázdněním palety s polotovary (nebo naplnění palety s hotovou výrobou) a příjezdem vláčku s novými paletami.

Navrhovaný layout je na obrázku 4 případně v Příloze C. Kromě navýšení počtu palet u linky Auflage Seitlich přibudou zásoby pro linku Dachkonzole, která je jednak umístěna na volné ploše u linky Ablagekasten a dále ve volném rohu v pravém dolním rohu obrázku.




**Obrázek 4: Navrhované rozmístění materiálu u linek**

## 3.2 Plánovaný tok materiálu

Tato práce se zabývá řízením toku pouze palet s velkými polotovary, které lze rozvážet vláčkem. Drobné díly, které se taktéž používají ke kompletaci, se budou i

nadále roznášet a doplňovat do zásobníků u linek ručně. To umožňuje jejich malá hmotnost a snadná ruční manipulace s potřebným množstvím materiálu.

Zavážení těchto součástí je sice možné, ale nikoli účelné kvůli malé objemové spotřebě. Po zavedení vláčkové metody pro linku HSK Opel Astra se v praxi ukázala tato možnost jako méně výhodná.

### 3.2.1 Výpočet požadavků linek

K vytvoření předběžného návrhu zásobování je třeba sestavit obraz požadavků jednotlivých linek, o něž se poté celý mechanismus opírá. Simulace později víceméně ověřuje správnost původní myšlenky a umožňuje její optimalizaci.

Pro stanovení požadavků jednotlivých linek poslouží jednoduchá tabulka (viz tabulka 2).

| Montáž | Název dílu | Počet kusů za směnu | Počet kusů v obalu | Počet obalů za směnu | Čas mezi výměnami |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| Dachkonzole | Gehäuse | 350 | 42 | 8,33 | **0 h 54 min** |
| | Fach Vorn | 350 | 216 | 1,62 | **4 h 38 min** |
| | Fach Mitte | 350 | 192 | 1,82 | **4 h 7 min** |
| | Fach Hinten | 350 | 450 | 0,78 | **9 h 39 min** |
| | final | 350 | 42 | 8,33 | **0 h 54 min** |
| Audi Le Mans | polotovar | 14 | 14 | 1,00 | **7 h 30 min** |
| | final | 14 | 14 | 1,00 | **7 h 30 min** |
| Auflage Seitlich | polotovar | 320 | 20 | 16,00 | **0 h 28 min** |
| | final | 320 | 25 | 12,80 | **0 h 35 min** |

**Tabulka 2: Časy pro přívoz / odvoz palet k linkám**

* Díly „Gehäuse“ pro linku Dachkonzole se odebírají současně ze tří palet, takže jejich čas mezi výměnami je trojnásobkem

První dva sloupce specifikují díl a montážní linku, k níž je dopravován. Následuje norma, kolik kusů je vyrobeno za směnu. Protože na jeden hotový výrobek připadá jeden kus každého polotovaru, reprezentuje toto číslo i množství, kolik dílů jedna směna odebere z palet s polotovary a kolik hotových dílů je umístněno do palet s hotovou výrobou. Počet kusů je pevně daná hodnota, kolik dílů daného typu se vejde na jednu paletu.

Na základě těchto čísel je možné dopočítat spotřebu obalů za jednu směnu jako podíl počtu vyrobených dílů a počtu dílů v obalu). Mnohem důležitějším údajem ale je

„čas mezi výměnami“, který říká, jak dlouho vydrží jedna paleta na lince, než je třeba ji vyměnit. Ta se spočítá jako podíl délky směny (7,5 hodiny) a počtu obalů, které jsou za směnu spotřebovány.

Právě poslední jmenovaná hodnota je zásadní při určování, jak často je třeba palety obměňovat. U dílů, kde je potřeba vyměnit paletu po dvou hodinách není s materiálem nejmenší problém, protože jeho nakládka se může zdržet. U palet, k jejichž vyprázdnění dojde za necelou půlhodinu, je nutné neustále zavážet linku materiálem.

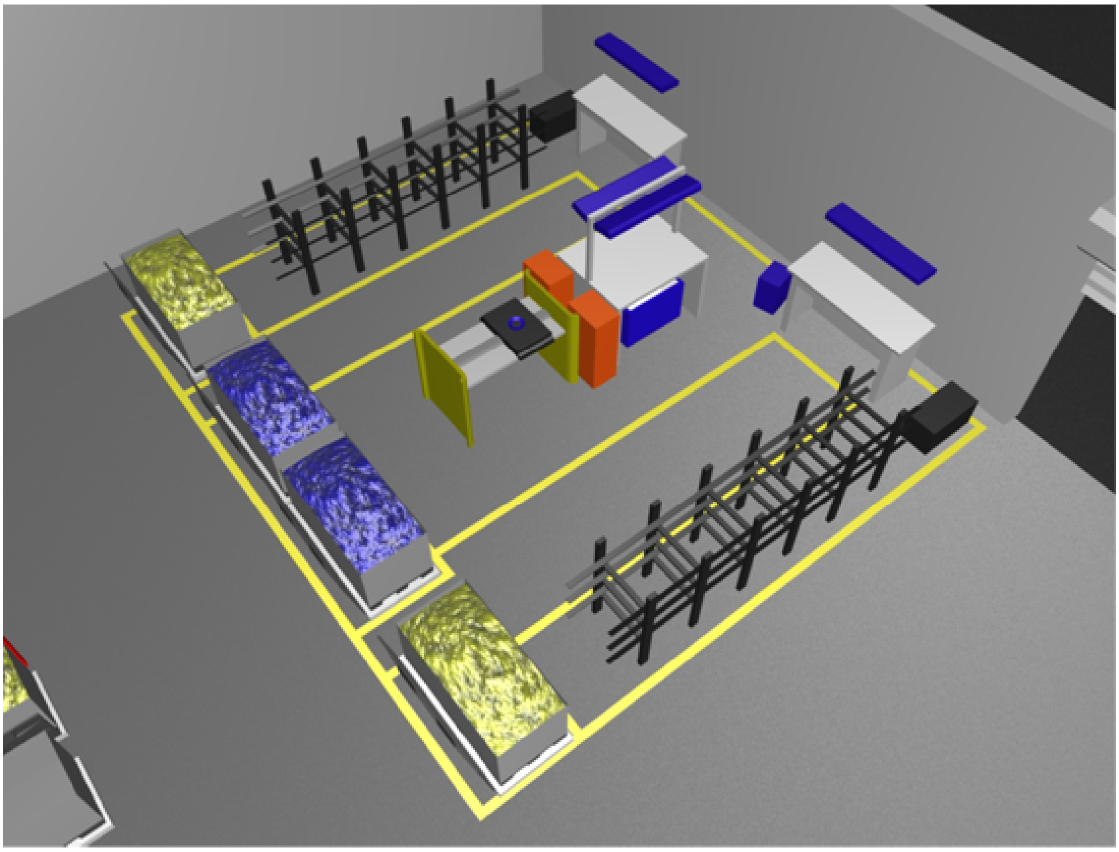
### 3.2.1 Linka Audi LeMans

Montážní linka Audi LeMans má dvě oddělená pracoviště, na nichž se současně zpracovávají dva typy výrobků: levé a pravé. V každém pracovišti pracuje jeden člověk, který odebírá polotovary z palety, zpracovává je na montážním pultu a poté je umisťuje na stojan k proschnutí. Odsud jsou výrobky poté odebírány a ukládány do palety pro hotovou výrobu.

Kapacita palety pro polotovary i pro hotovou výrobu je 14 kusů, což odpovídá produkci pracoviště za směnu. Z těchto důvodů se zde nepočítá s vytvářením permanentních bezpečnostních zásob.

Chod linky vyžaduje zásobování vždy dvěmi paletami dílů (levými a pravými) vždy na začátku směny. Vzhledem k tomu, že zásobování probíhá každou celou hodinu, zatímco materiál je potřeba dovážet a odvážet po 7,5 hodině, každou druhou směnu budou palety odváženy a přiváženy s půlhodinovým přesahem; po tuto dobu budou vagonky s materiálem vyčkávat před linkou.

Navrhované uspořádání linky je na obrázku 5.



**Obrázek 5: Linka Audi LeMans**

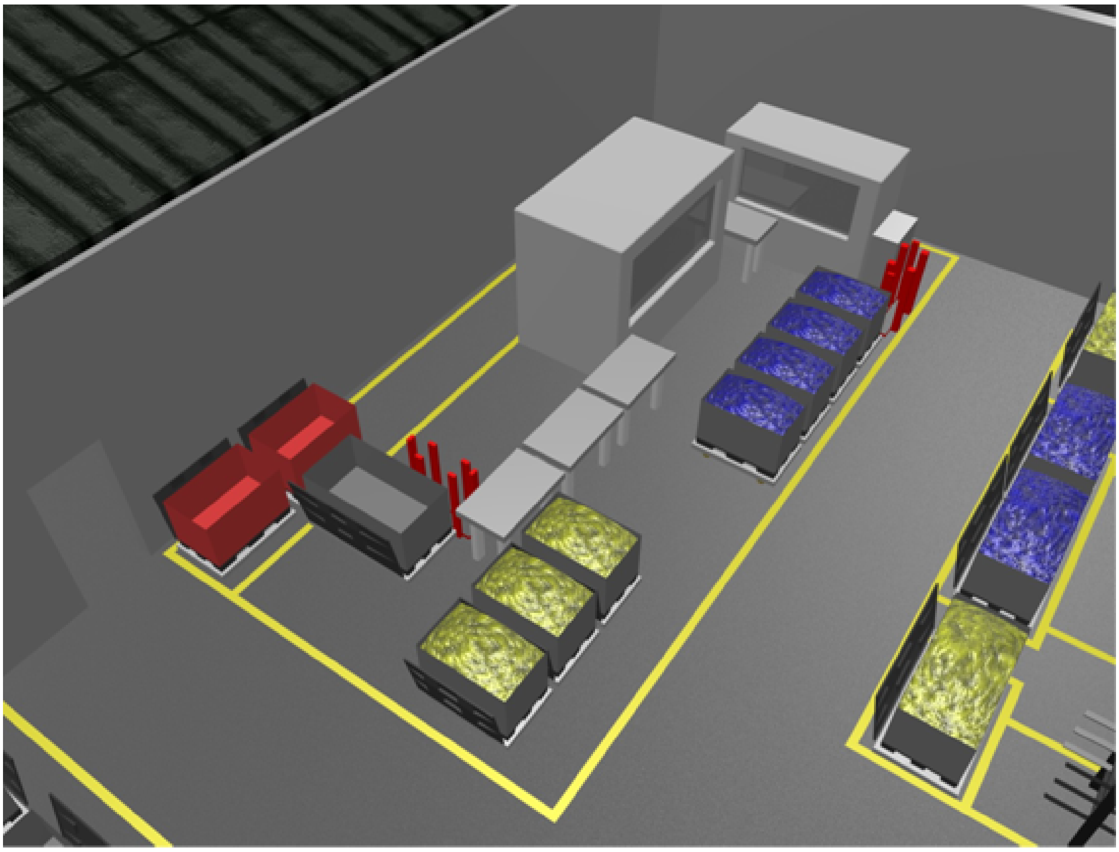
### 3.2.2 Linka Auflage Seitlich

Na montážní lince Auflage Seitlich pracují tři lidé. Vždy je zpracováván jeden typ polotovarů (buď levé, nebo pravé díly) a podle toho jsou produkovány finální díly jednoho typu.

Polotvary jsou odebírány z palety a po optické kontrole procházejí dvojicí svářeček. Na posledním pracovišti je kontrolována kvalita svařovaného spoje a hotové výrobky jsou baleny do pěnové folie a umisťovány na paletu s hotovými výrobky.

Hlavním problémem na této lince je rozdílný počet polotovarů (20 kusů v paletě) a hotových výrobků (25 kusů v paletě) a vysoká zmetkovitost polotovarů, které je potřeba odkládat na další palety, které se vrací k recyklaci. Tím je způsobeno, že je v různých časových intervalech potřeba odvážet od linky přebývající prázdné palety od polotovarů.

Navrhované rozmístění palet s materiálem je na obrázku 6.

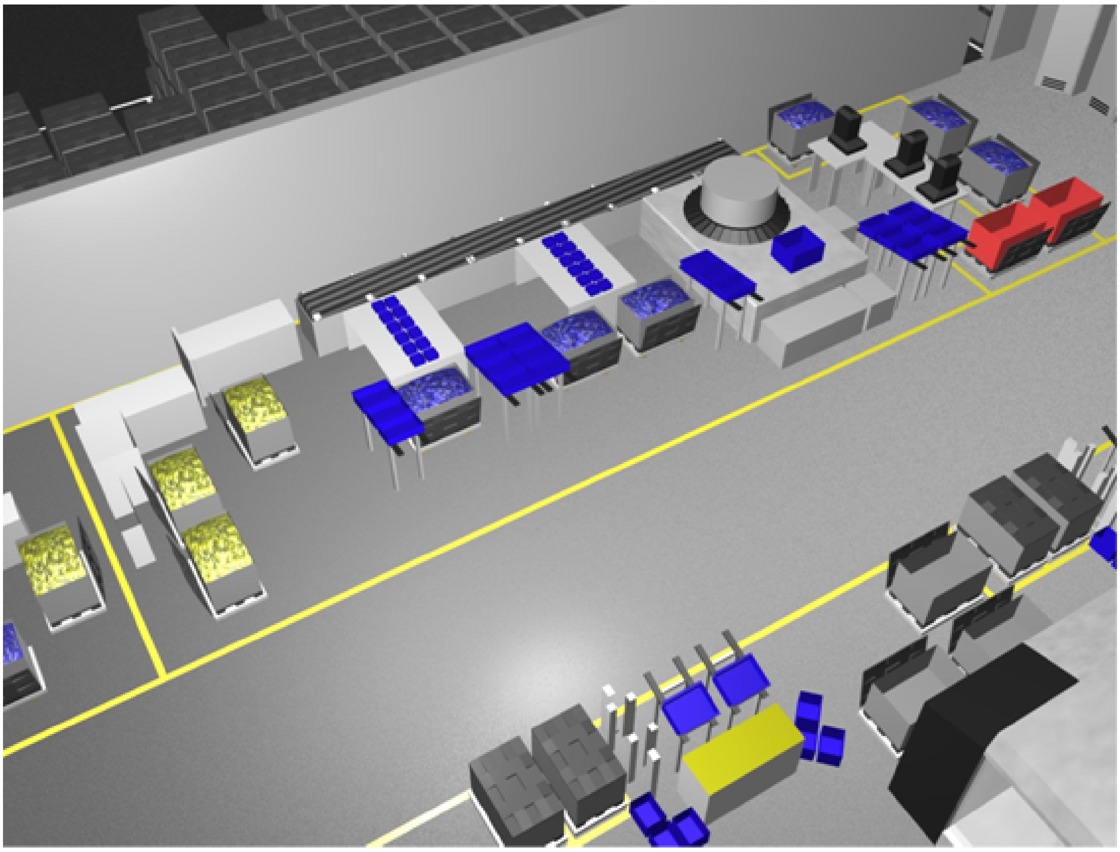


**Obrázek 6: Linka Auflage Seitlich**

### 3.2.3 Linka Dachkonzole

Montážní linka Dachkonzole zpracovává 4 druhy polotovarů na šesti pracovištích. První pracoviště opracovává tři typy polotovarů „Fach“ pomocí vrtaček a předává je na další pracoviště, kde jsou vkládány na karusel, odkud jsou pomocí pásového dopravníku takto připravené díly dopravovány ke třem montážním pracovištím. Zde jsou vmontovávány do šasi a poté jsou opět pomocí téhož pásového dopravníku přesunuty na poslední pracoviště, kde jsou výrobky podrobeny kontrole, zabaleny a uloženy na paletu pro hotové výrobky.

Navrhovaný stav linky se nemění, protože všechny dodatečné palety s materiálem jsou umístěny na volných plochách mimo linku. Navrhované rozmístění je na obrázku 7.



**Obrázek 7: Linka Dachkonzole**

## *3.3 Náklady, přínosy*

Celkové náklady na zavedení vláčkového zásobování montážních linek je možné spočítat jako součet cen všech nezbytných úprav, které je nutno obstarat.

Prvním nezbytným předpokladem je lokomotiva, jejíž pořízení není v této fázi nutné, protože dostačuje volna kapacita lokomotivy používané u linky HSK Opel Astra.

Nejvýraznější položkou v nákladech je pořizovací cena vagónků, kterých je potřeba celkem 28 s pořizovací cenou zhruba 329 000Kč a dále kotvící platformy pro vagónky, zabraňující jejich pohybu při vyjímání nebo vkládání dílů.

Dalšími položkami, nedosahujícími již takových vysokých hodnot, je příprava značení prostor pro rezervní zásoby u jednotlivých linek, vytvoření karet pro označení vozíků a zaškolení manipulantů na nové principy zásobování.

Hlavním přínosem navrhovaného řešení zásobování je bezesporu úleva pro vnitřní manipulační techniku, s čímž jsou spojené i nižší náklady na manipulaci s materiálem a hotovými výrobky.

Na druhou stranu je nutné mít na mysli i negativní vlastnosti, jako je obtížná manipulace s vozíky, obzvlášť při jejich připojování nebo odpojování. Navíc se doposud veškerá manipulace prováděla pomocí manipulační techniky, kdežto nyní by se měly všechny přesuny (ačkoli na menší vzdálenosti) provádět ručně. Zjevné je tedy navýšení fyzické práce manipulantů, které může vést k požadavkům na vyšší platové ohodnocení.

Stejně okamžitě se projeví i nárůst materiálu v hale, který ale nebude vyžadovat znatelné zásahy do uspořádání haly.

Méně zřejmým problémem může být pokles vytížení vnitřních vysokozdvižných vozíků, které se v ideálním případě může blížit nule. Dojde-li však k znemožnění využívání vláčku, je tato technika jedinou možností, jak zabránit zastavení produkce.

Posledním významným problémem je nemožnost jeho využití za sněhu, protože malá kolečka vagónků ve vrstvě sněhu snadno uvíznou. K odstranění tohoto problému by bylo třeba značných finančních prostředků na zastřešení venkovních prostor využívaných vláčkem, nebo na intenzivní odklízení sněhu z těchto prostor.

## 3.4 Zhodnocení

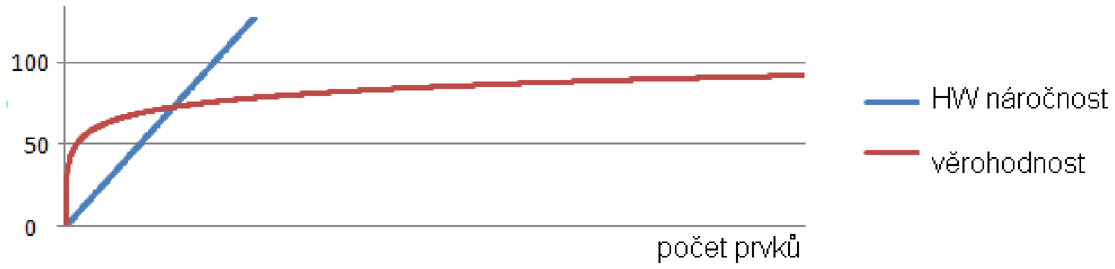
Hodinový takt pro jízdy vláčku by měl zajistit dostatek času pro nakládání a vykládání palet z vagonků.

Díky možnosti držet pojistné zásoby u linek by nemělo docházet k ohrožení nedostatku materiálu na linkách, které by mohlo vést ke snížení produkce. Stejně tak by nemělo dojít k přeplnění ploch pro umisťování hotové výroby, které by obdobně mohlo vést k zablokování linky.

# 4 Simulace návrhu

Simulace je cílevědomá lidská činnost, při níž se zkoumají vlastnosti nebo chování existujícího či zamýšleného systému pomocí experimentů prováděných na simulačním modelu. V širším smyslu se simulací rozumí celý proces od tvorby modelu, jeho validace (ověřování) až po získávání výsledných dat.

V první řadě je potřeba správně zanalyzovat reálný systém, podle něhož se bude vytvářet jeho simulační model. V této fázi je třeba rozdělit systém na jednotlivé části, které budou odpovídat jednotlivým prvkům modelu. V tuto chvíli je třeba si uvědomit, že rostoucí počet prvků může zvyšovat přesnost simulace, ale současně s tím narůstají i nároky na výpočetní kapacitu počítače.




**Obrázek 8: vliv věrohodnosti modelu a výpočetní náročnosti na počtu elementů**

Vytvoření modelu následuje část validační, jejímž cílem je ověřit, že vytvořený model skutečně odpovídá v zásadních parametrech skutečnému stavu reálného systému.

Teprve s plně validním modelem je možné provádět experimenty, které mohou být analyzovány a na základě takto získaných dat je možné zpětnou vazbou optimalizovat model tak dlouho, dokud nedosáhne požadovaných parametrů.

## *4.1 O programu Witness 2007*

Program Witness 2007 vytvořený společností Lanner's Group Ltd. je simulační software použitelný pro tvorbu simulačních modelů, simulaci procesů a následnou analýzu nejen ve výrobních podnicích, ale díky propracovanému systému jej lze stejně efektivně využít i pro simulování procesů ve sféře služeb nebo ve spojitých systémech.

Program je vytvořen s ohledem na co nejsnazší obsluhu tak, aby tvorba modelu probíhala rychle a intuitivně bez zbytečných časových ztrát způsobených potřebami programování.

To umožňuje jednak srozumitelné blokové schéma vytvářeného modelu, které umožňuje přehlednou práci a možnost zobrazení materiálového toku. Dále je k dispozici nevelký počet základních stavebních prvků, které jsou uspořádány v několika knihovnách podle svého užití, jako jsou prvky výroby, dopravních mechanismů a podobně. Jednotlivé prvky v modelu je možné nastavovat dle potřeby, čímž lze simulovat převážnou většinu procesů ve výrobním i nevýrobním podniku.

Kromě nástrojů pro tvorbu simulačního modelu organizace jsou k dispozici i nástroje pro jeho analýzu pomocí nejrůznějších grafů, které jsou shromážděny ve vlastní knihovně.

Kromě základních možností samotného programu, které samy o sobě poskytují bohatou škálu možností pro řízení a analýzu vytvořeného modelu, je Witness schopen spolupracovat s dalšími programy, čímž se jeho možnosti ještě rozšiřují. Těmito programy mohou být například MatFlow, umožňující analýzu materiálových toků nebo Mantra 4D, umožňující vytváření kvalitních 3D animací simulovaných procesů, přestože tvorba jednoduchých animací je v současné době implementována do samotného simulačního programu.

Pro základní potřeby jednoduchých modelů jsou v panelech nástrojů k dispozici editory základních funkcí, které mohou výrazně pomoci i začínajícím uživatelům k zorientování se v syntaxi a funkčních mechanismech. V případě modelů, na něž jsou kladeny vyšší nároky, lze využít celou řadu dalších užitečných nástrojů, usnadňující tvorbu pravidel pro náhodná rozdělení a další.

Samozřejmostí je i propracovaná nápověda, v níž lze najít odpovědi na základní otázky týkající se využití a možností jednotlivých prvků v modelu a hlavně vysvětlení příkazů včetně jejich syntaxe.

### 4.1.1 Grafické rozhraní

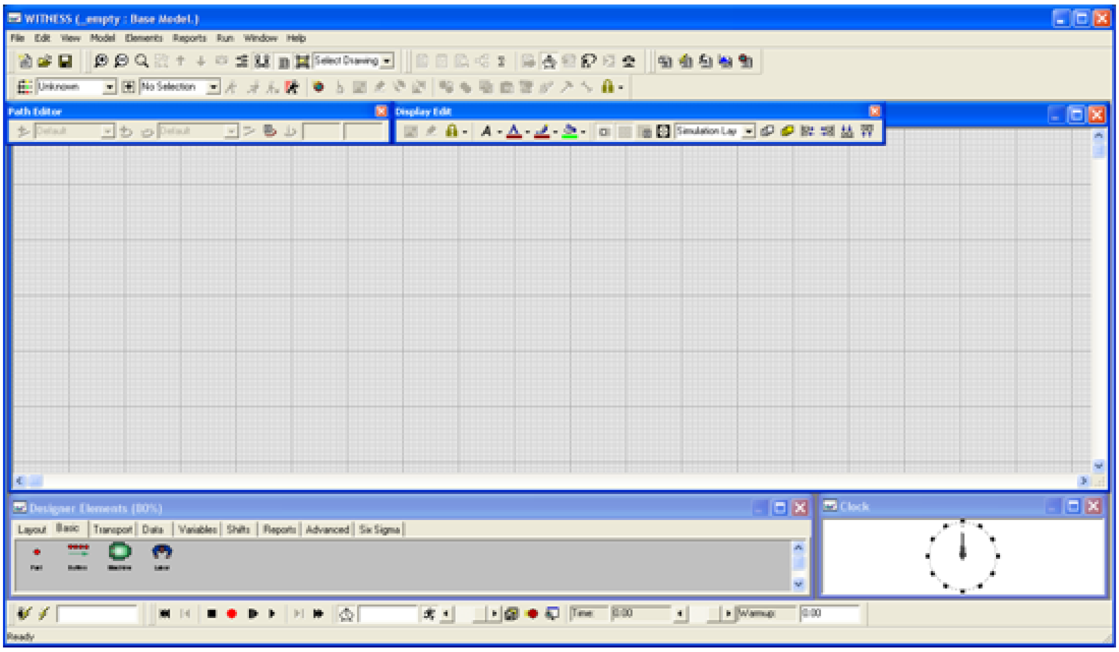
Grafické prostředí programu Witness 2007 v základních rysech odpovídá nepsanému standardu: textové menu v horním panelu, pod nimiž je grafické menu se základními příkazy pro práci se souborem a další, často používané příkazy.

Ve spodní liště jsou důležité nástroje pro provádění simulace: tlačítka přesunutí na začátek, pozastavení a přehrávání simulace. Navíc tu jsou i možnosti nastavení rychlosti přehrávání a další.

Ve spodní části obrazovky jsou otevřena okna „Designer elements“, do kterého se zobrazují záložky jednotlivých načtených knihoven a jejich prvky, dále okno „Time“, které zobrazuje čas simulace (týden, dne a čas) a „Clock“, kde se zobrazuje čas prostřednictvím hodin. Aktuální čas je taktéž zobrazován ve spodní liště.

Vlevo je zobrazen panel „Element selector“, který zobrazuje pod záložkou „Model“ prvky modelu a pod záložkou „Assistants“ veškeré funkce, pravidla a rozdělení pravděpodobnosti. Záložka „Both“ umožňuje zobrazení prvků obou skupin současně.

Ve zbytku obrazovky lze zobrazit as uspořádat až 8 oken s náhledem na model, což je velmi užitečné ve chvíli, kdy se model rozroste natolik, že se nevejde na obrazovku. Protože každé okno může zobrazovat jinou část modelu (a toto nastavení zůstává uchováno při uložení), je tedy možné neustále mít na obrazovce například část modelu, na níž jsou zobrazeny proměnné a zároveň se v jiném okně pohybovat po ploše.



**Obrázek 9: Pracovní prostředí Witness 2007**

### 4.1.2 Použité prvky knihoven Witness 2007

Model montážních linek a jejich zásobování využívá několik základních elementů, kterým je třeba následně nastavit potřebné atributy a naprogramovat události a příkazy, jimiž bude celý model řízen. Porozumění těmto pravidlům je nezbytné k pochopení, jak jakýkoli netriviální model sestavit.

Součástka (Part) – materiál, s nímž je v modelu pracováno. V modelu tedy bude reprezentovat jednotlivé typy dílů a palety pro jednotlivé linky. Ačkoli mohou do modelu aktivně vstupovat, pro proměnné počty vstupujících prvků je vhodnější je vytahovat pomocí řiditelných mechanismů.

Zásobník (Buffer) – místo, které je schopno kumulovat materiál (součástky); kromě nastavitelné kapacity zásobníků lze přiřadit i speciální vlastnosti, jako je jeho typ (zásobník – LiFo nebo fronta – FiFo) či minimální nebo maximální doba, kterou součástka v zásobníku stráví, což umožňuje snadné vytváření dalších výrobních systémů.

Stroj (Machine) – mechanismus, který s materiálem pracuje, nebo lze použít k manipulaci s ním, protože lze jeho vstup i výstup řídit programovanou logikou. Kromě toho mohou stroje vytvářet součástky nebo naopak „sestavovat“ vícero součástek do jedné, což lze využít mimo jiné právě při simulování „vyndávání“ a „ukládání“ dílů do palet.

Pracovník (Labor) – představuje zdroj, který může sdílet ke své práci více strojů, například pokud jeden pracovník obsluhuje více strojů.

Dopravník (Conevyor) – posuvný pás, přesunující díly mezi stroji. Lze u něho nastavit maximální kapacitu dílů, která se na něho vejde a rychlost, s níž se díly přesouvají. Jeho vstup a výstup lze řídit programovou logikou.

Vozidlo (Vehicle) – prvek systému, který převáží materiál (součástky) po definovaných tratích

Trasa (Track) – více prvků typu trasa může tvořit okruh nebo síť, po níž se vozidlo pohybuje. Prostřednictvím příkazů je možné vytvářet rozpojení trasy s volbou, kterou cestou se má vozidlo vydat. Zde se definují i podmínky a průběh nakládky a vykládky.

Proměnná (Variables) – jde o celou knihovnu, jejíž jednotlivé prvky slouží k uchovávání jednotlivých typů proměnných hodnot, jako jsou celočíselné hodnoty,

hodnoty s desetinným rozvojem, textové řetězce a další. Hlavními možnostmi vytvořených proměnných je možnost vytvořit z nich pole hodnot.

## *4.2 Tvorba modelu*

Kvůli poměrně značné rozsáhlosti celého modelu je jeho tvorba rozdělena do několika etap, které umožňují průběžnou validaci modelu a téměř neustále ověřování, zda skutečně vše funguje v souladu s předlohou.

V první řadě se vytváří jednotlivé montážní linky. Pro účely jejich ověření je může zásobovat pomocný mechanismus, který na vstupy neustále doplňuje adekvátní materiál. Hlavním bodem validace modelu v této úrovní rozpracování je počet dílů, který linka zpracuje za jednotku času.

Při tvorbě simulačního modelu jsem počítal vyrobené kusy za jednu směnu, při čemž byl ponechán dostatečný čas na to, aby se všechny linky zaplnily díly.

Následuje tvorba samotného zásobovacího mechanismu, který musí ve správný čas zjišťovat počty palet, které má přivézt, ve správný čas je naložit a poté opět vyložit u těch správných linek.

Pro validaci fungování vláčkového mechanismu je zapotřebí ověřit, zda nedošlo ke snížení produkce výrobků na jednotlivých linkách, což by mohlo být způsobeno nedostatečným zásobováním, špatným odvozem hotové výroby, případně jinými nesrovnalostmi, ke kterým může při návrhu dojít.

V případě nesrovnalostí nebo jakékoli chyby v logice řízení modelu je možné se ke kterékoli části vrátit a upravit její chování tak, aby model vhodně reagoval na další situace, ke kterým může dojít.

### 4.2.1 Definování materiálu – díly typu Součástka

Ačkoli rostoucí počet prvků v modelu zvyšuje jeho nároky na hardware a tudíž by byla logická snaha omezit počet položek v modelu, je pro každý reálný polotovar vytvořen vlastní prvek typu součástka a obal, reprezentující paletu, na níž je převážen.

Polotovary jsou označeny jako „Díl_XX“, kde XX reprezentuje dvoumístnou zkratku linky, pro nïž je vytvořen.  Pro linku Dachkonzole je navíc použito číselné odlišení, protože se zde využívá více dílů. Obdobně palety jsou označeny jako „Obal_XX“. Kvůli snazší orientaci v modelu jsou všechny obaly a všechny díly na jedné

montážní lince odlišeny rozdílnou barvou. Ta nemá vliv na běh modelu, ale umožňuje člověku snadno kontrolovat, zda nedochází k míchání materiálu mezi linkami.

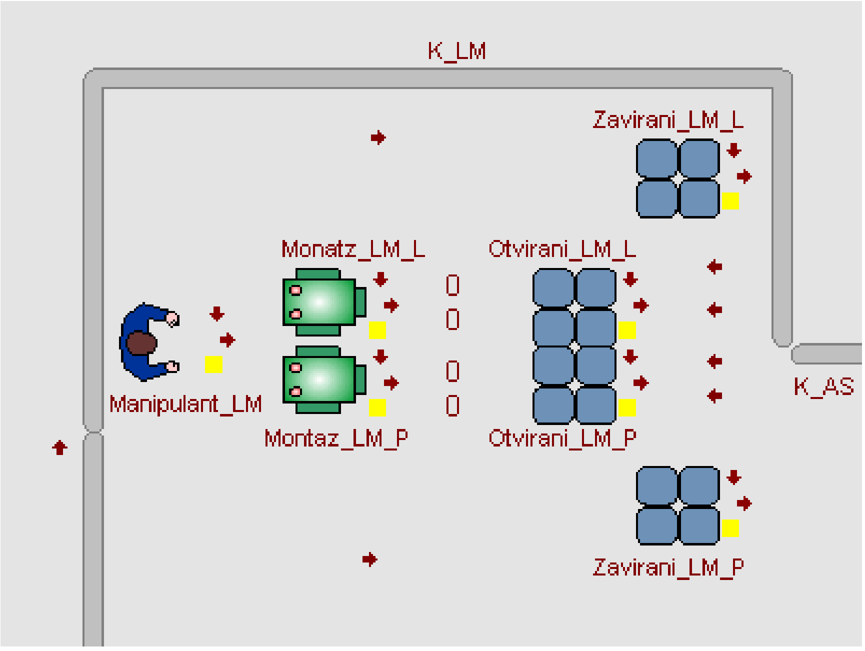
### 4.2.2 Pomocné a kontrolní hodnoty

Pro běh jednotlivých linek je potřeba použít některé proměnné, které mohou řídit jejich chod. Jde hlavně o dvouprvkové pole[3] V_LM_Direction, která určuje směr, kterým se pohybují díly po lince.

Dále je vhodné vytvořit některé proměnné, které pomohou s jejich validací. K tomu slouží pole V_Ks, do něhož se počítají vyrobené kusy jednotlivými linkami, a V_Palety, kde se sčítají hotové palety připravené k odvezení.

### 4.2.2 Montážní linka Audi LeMans (LM)

Montážní linka Audi LeMans je první linkou, ke které bude zásobovací vláček přijíždět. Zároveň je i návrhově velmi jednoduchá. Rozmístění jejich prvků včetně materiálového toku je znázorněno na obrázku 10.




**Obrázek 10: Simulační model linky Audi LeMans**

Vykládka (a nakládka) materiálu probíhá na konci trati „K_LM“ a je spojena s přilehlými čtyřmi zásobníky (dva a dva pro každé pracoviště), které reprezentují

[3] Pole (vektor) označuje datovou strukturu, která udržuje vyšší počet prvků (čísel), k nimž se přistupuje pomocí jejich indexů.

virtuální pozice u linky, kam jsou palety odloženy, než je linka přijme. Odsud palety odebírá virtuální pracoviště „Otvírání_LM“, které k přicházejícím paletám přidává odpovídající počet dílů, reprezentující polotovary. Následující zásobník odděluje palety od dílů tak, aby mohl stroj reprezentující pracoviště reálné linky odebírat polotovary a po jejich odebrání virtuální stroj „Manipulant_LM“ mohl odebrat prázdné palety.

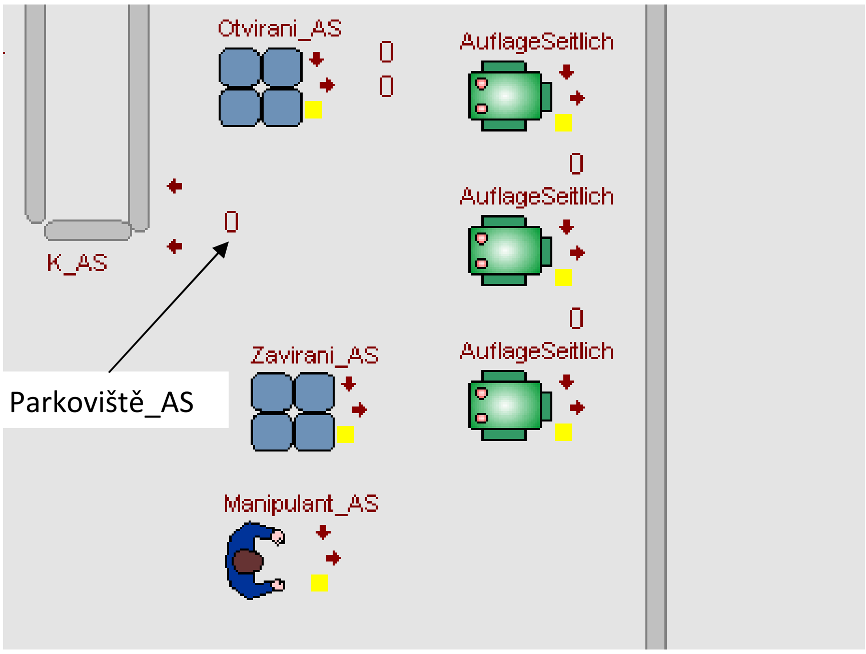
Vyprázdněné palety jsou okamžitě odebírány a poté předávány do stroje „Uzavírání_LM“, kam se vkládají hotové výrobky.

S díly pracuje „Montáž_LM“, která odebírá polotovary ze zásobníku a ukládá je nejprve do zásobníku (reprezentovaný šipkami vpravo nad a pod stroji Montáž_LM), reprezentujícího stojan, na němž reálné výrobky schnou. Z tohoto důvodu je tomuto zásobníku přidělena hodnota minimálního vyčkávání dílu. Po uplynutí této doby totéž je pracoviště začne odebírat a všechny je ukládá mezi hotovou výrobu ve stroji „Zavírání_LM“, odkud je paleta přesunuta do zásobníku, ze kterého ji odveze nejbližší vláčkový spoj.

Čas, jaký „Montáž_LM“ potřebuje na zpracování dílu, se liší v závislosti na směru, kterým díly putují – trvá mnohem déle, než je díl vybalen z palety, zpracován a umístěn na stojanu, než když je hotový díl pouze sejmut ze stojanu a ihned uložen mezi hotovou výrobu.

### 4.2.3 Montážní linka Auflage Seitlich (AS)

Montážní linka Auflage Seitlich sousedí s předchozí linkou a její zásobování bude probíhat ze stejného místa. Schéma modelu linky je na obrázku 11.




**Obrázek 11: Simulační model linky Auflage Seitlich**

I její sestavení je velmi jednoduché, protože bude využívat opět jednoho zásobníku, který slouží k vykládce polotovarů a nakládce hotových výrobků na vláček. Jeho kapacita je již ale vyšší, celkově je zde místo pro 3 palety polotovarů a stejné množství palet hotové výroby, což opět odpovídá reálné kapacitě těchto ploch. Stroj s názvem „Otvírání_AS“ produkuje díly, které početně odpovídají počtu kusů v paletě a opět je třídí do zásobníků, ze kterých vyjímá díly stroj „AuflageSeitlich1“, který reprezentuje první svářečku linky. Díly poté putují přes odkládací stůl reprezentovaný zásobníkem do dalšího stroje „AuflageSeitlich2“, který reprezentuje další svářečku a přes další zásobník na poslední stroj, který reprezentuje kontrolu kvality a balení. Posledním prvkem montážní linky je „Zavíráni_AS“, které kompletuje vždy jeden obal a odpovídající počet polotovarů na jednu kompletní paletu hotovou výrobou.

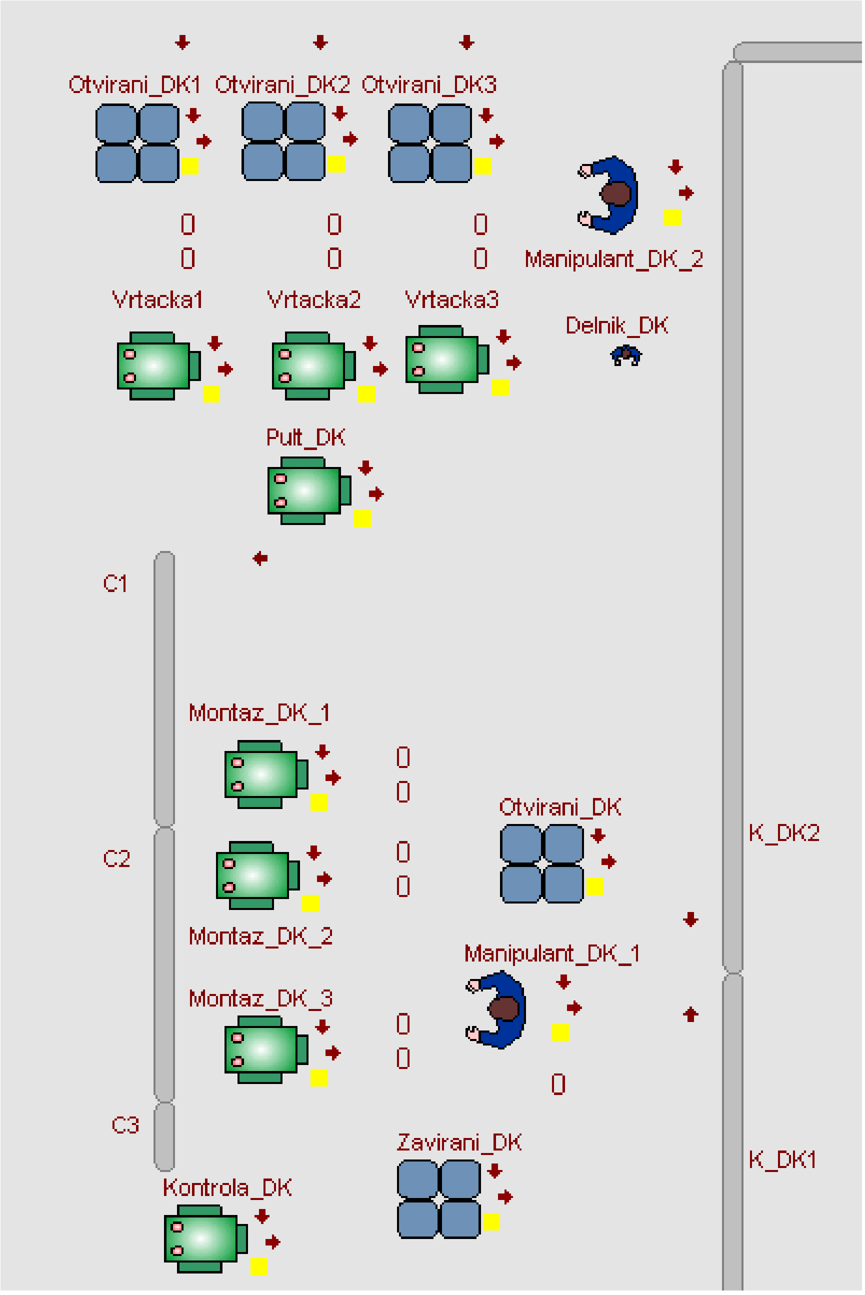
Vzhledem ke skutečnosti, že v paletě s polotovary je 20 dílů, zatímco do palety s hotovou výrobou se vejde 25 dílů, dochází zde ke hromadění prázdných obalů. To model řeší prostřednictvím stroje „Manipulant_AS“, který zde zajišťuje přesouvání obalů po lince. Ten prázdné obaly od polotovarů odebírá a přesouvá je do zásobníku „Parkoviště_AS“, odkud jej odebere ve chvíli, kdy je naplní paleta s hotovou výrobou.

Protože by zde takto docházelo ke kumulaci vozíků, jejichž počet by měl být kvůli vysoké pořizovací ceně minimální, je třeba zajistit, aby se zde udržovala minimální rezerva vozíků. Ostatní budou přesouvány do zásobníku k odvozu.

### 4.2.4 Montážní linka Dachkonzole (DK)

Montážní linka Dachkonzole zpracovává čtyři typy polotovarů, které se k lince dodávají prostřednictvím dvou nakládek: horní a dolní. Schéma modelu linky je na obrázku 12.

Materiál se vykládá nejprve na „dolní“ vykládce na konci trati „K_DK1“, kde se udržuje zásoba 3 palet dílů, které tvoří rezervu pro tři současně běžící montážní linky. Zde se také odebírá hotová výroba. Na „horní“ vykládce (na konci trati „K_DK2“) se doplňují zbylé tři typy dílů.




**Obrázek 12: Simulační model linky Dachkonzole**

Ze tří zásobníků, do nichž se materiál třídí, odebírají materiál tři stroje, rozebírající jednotlivé palety na palety s díly, které ukládají do dalších zásobníků, odpovídajícím otevřeným paletám.

Protože tyto tři typy dílů zpracovávají tři reálné stroje obsluhované jedním člověkem, jsou v modelu k těmto zdrojům přiřazeny tři stroje označené „Vrtačka1“ až „Vrtačka3“, jimž je přiřazena podmínka přítomnosti pracovníka k jejich obsluze. Díly, které projdou tímto zdrojem, jsou předávány stroji „Pult_DK“, který společně s následujícím zásobníkem reprezentují zjednodušený model karuselu: doba zpracování dílu ve stroji odpovídá časovým rozestupům, v jakém jsou díly vkládány, počet dílů zásobníku odpovídá počtu dílů, které jsou zpracovávány. Díly jsou ze zásobníku odebírány až ve chvíli, kdy je v něm plný počet dílů, což odpovídá reálné situaci, že byl karusel zaplněn a první vložený díl prošel až na konec. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby byl zásobník typu fronta (FiFo), tedy aby díly odcházely v pořadí, v jakém do něho přicházejí.

Následují tři dopravníky, přičemž první z nich ze svého konce odesílá díly podle jejich typu na první dvě montážní pracoviště. Ta kompletují první typ dílů (vyložený na dolní nakládce) se třemi typy dílů z dopravníku. Hotový výrobek poté vrací na druhý dopravník. Následující dopravník třídí od hotových výrobků polotovary, kterými zásobuje třetí montážní linku. Hotové výrobky odesílá na poslední dopravník, který přijímá i hotové výrobky z poslední montážní linky. Na jeho konci je stroj, který reprezentuje kontrolu kvality; ten, mimo jiné, kontroluje, že k němu dorazil hotový díl a ne některý z polotovarů, což by poukazovalo na chybu v modelu.

Díly jsou opět vkládány do stroje „Zavírání_DK“, který je kompletuje s obaly a posílá do zásobníku pro nakládku.

Posuny prázdných obalů opět obstarává mechanismus prováděný dvojicí strojů označených jako „Manipulant_DK1“ pro práci s obaly v dolní části modelu, který prázdné obaly ukládá na virtuální plochu „Parkoviště_DK“, odkud jsou brány jako obaly pro hotovou výrobu, a „Manipulant_DK2“ pro práci v horní části modelu, který vyprázdněné obaly přesouvá do zásobníku k nakládce, aby byly vozíky co nejdříve odvezeny.

### 4.2.5 Vláčková dráha

Model vláčkové dráhy sestává z vláčku (prvek typu vozidlo) a několika tratí (prvky typu track). K řízení zásobování bude sloužit několik proměnných, případně jejich pole.

Protože se proměnné používají na zaznamenání počtů palet, s nimiž se nějak operuje, bude potřeba zapisovat pouze celočíselné hodnoty. Proto stačí proměnné typu Integer a jejich pole, která budou spravovat více počtů stejného typu hodnot pro jednotlivé díly.

Reálnou nakládku v modelu reprezentuje zásobník, do kterého vkládá stroj, reprezentující vysokozdvižný vozík, podle objednávky ukládá palety s polotovary v pořadí, v jakém se budou vykládat.

V každou celou hodinu, v souladu se záměrem, naloží celý obsah zásobníku vozidlo, reprezentující vláček. To poté u jednotlivých linek vykládá všechny palety s polotovary do vstupního zásobníku a nakládá palety k odvezení (s hotovou výrobou nebo přebytečné prázdné obaly) z výstupního zásobníku.

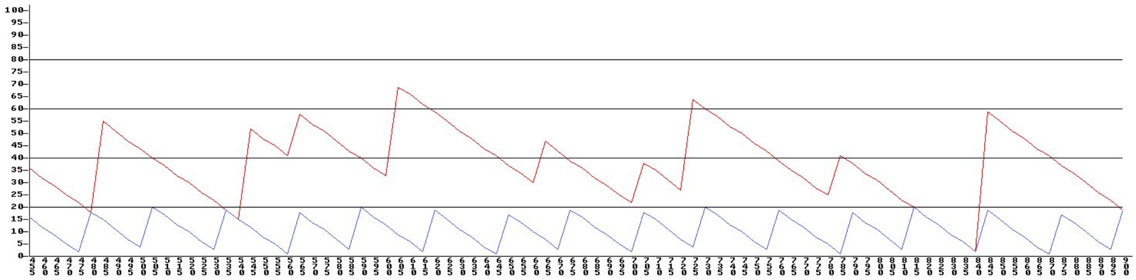
Příkazy, podle kterých se určují požadavky na materiál, se umisťují tak, aby se prováděly po případném vyložení.

Vykládka poté probíhá do zásobníku, který reprezentuje sklad Liaz, do něhož se ukládá hotová výroba. Vozíky s prázdnými paletami se navrací až k nakládce, kde model opouští.

### 4.2.6 Vyhodnocení

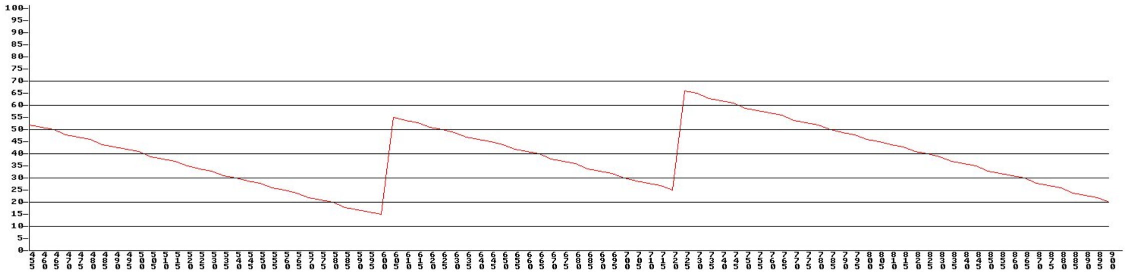
Prvním nezbytným předpokladem, na jehož základě lze posuzovat funkčnost vláčkového mechanismu, je schopnost uspokojit nároky na přívoz a odvoz palet tak, aby nedošlo k zastavení produkce kvůli nedostatku polotovarů.

To lze ověřit sledováním zásob materiálů před jednotlivými linkami, jak ukazují následující grafy.

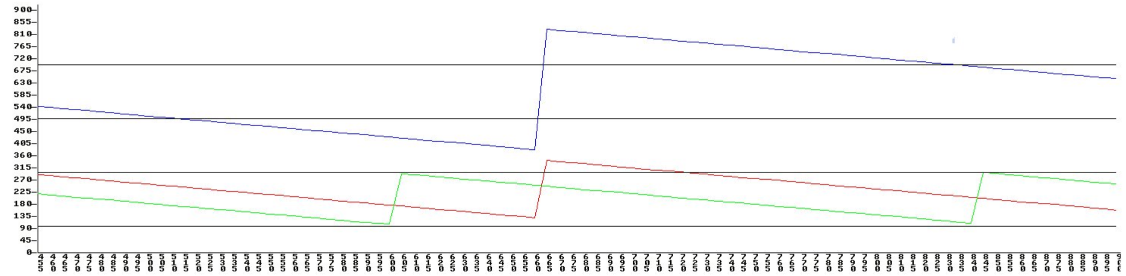



**Obrázek 13: stav zásob u linky Auflage Seitlich**

Obrázek 13 zobrazuje stav zásob u linky Auflage Seitlich v paletě před linkou (nižší křivka) a celkový stav zásob (křivka výše). Obrázek 14 sleduje odhadovaný vývoj celkové zásoby polotovarů „Gehäuse“ připadající na jedno pracoviště linky Dachkonzole. Obrázek 15 zobrazuje stav zásob polotovarů „Fach Vorn“, „Fach Mitte“ a „Fach Hinten“ na téže lince.




**Obrázek 14: stav zásob dílů "Gehäuse" u linky Dachkonzole**




**Obrázek 15: stav zásob dílů "Fach Hinten", "Fach Mitte" a "Fach Vorn" u linky Dachkonzole**

Dále bylo potřeba ověřit dostatečnou kapacitu ploch pro odkládání vozíků v hale. K tomu lze využít hodnoty maximálního obsazení jednotlivých zásobníků a jejich porovnání s kapacitou odkládacích ploch u jednotlivých linek.

U Linky Auflage Seitlich se počítá s maximálně čtyřmi paletami na vstupu, s čímž plně koresponduje maximální využití zásobníku v modelu, které není zaplněno více jak třemi paletami (čtvrtá u linky se nachází v zásobníku přímo u linky).

Pro linku Dachkonzole se počítá s prostorem pro materiál u linek a dále s celkem šesti pozicemi pro rezervní palety s polotovary, které bude umístěno na dvou plochách tak, aby byly co nejblíže místům své vykládky a odběru. Vozíky s prázdnými paletami od dílů „Fach“ mohou být ponechány na uvolněném místě pro rezervní vozíky, dokud nebudou odvezeny. Teprve poté je linka zavezena novými vozíky. Obdobně jsou

odkládány vyprázdněné palety od dílů „Gegäuse“, které se využívají k ukládání hotové výroby. Pro veškeré vozíky na této lince se počítá s celkem 15 pozicemi pro vozíky, což odpovídá výsledkům simulace, která využívá pro celou linku rovněž 15 vozíků.

# 5 Zhodnocení a závěr

Při vypracovávání této bakalářské práce bylo dosaženo všech vytyčených cílů. Na základě informací sebraných v montážní hale firmy AKT Plastikářská technologie Čechy, spol. s r.o. byl navržen mechanismus zásobování vybraných montážních linek prostřednictvím vláčku využívajícího systému kanban.

Pro tento návrh byl vytvořen fungující simulační model v dostupné licenci programu Witness 2007, který byl následně zvalidován a otestován.

Analýzou výsledků simulace bylo ověřeno, že takovýto mechanismus zásobování je schopen pokrýt požadavky montáže, aniž by negativně ovlivnil produkci. Dále byla potvrzena dostatečná kapacita prostor pro vagónky s polotovary a prostor pro odkládání vagónků s hotovými výrobky.

Vzhledem k plánovanému rozšíření této zásobovací metody i na ostatní linky a zbývající montážní haly je možné rozšíření stávajícího modelu.

# Citace

[1] GOLDRATT, E. M. - Cox, J.: Cíl: Proces trvalého zlepšování. Praha, InterQuality s.r.o., 1999. 295 stran. Druhé přepracované vydání. ISBN: 80-902770-1-2

[2] GREGOR, M. - KOŠTURIAK, J.: Podnik v roce 2001: Revoluce v podnikové kultuře. Praha, Grada, 1993. 320 stran. ISBN: 80-7169-003-1

[3] Wikipedia [online]. URL: www.wikipedia.cz

[4] Lanner Group. WITNESS simulation software and process simulation software [online]. URL: www.lanner.com

[5] Agile-Factory. TOC nebo LEAN nebo Agile (APICS diskuse) [online]. Listopad 2004. URL: www.agile-factory.com

nebo http://www.agile-factory.com/discussions/cmsig/toc_vs_lean_or_agile_cz.htm

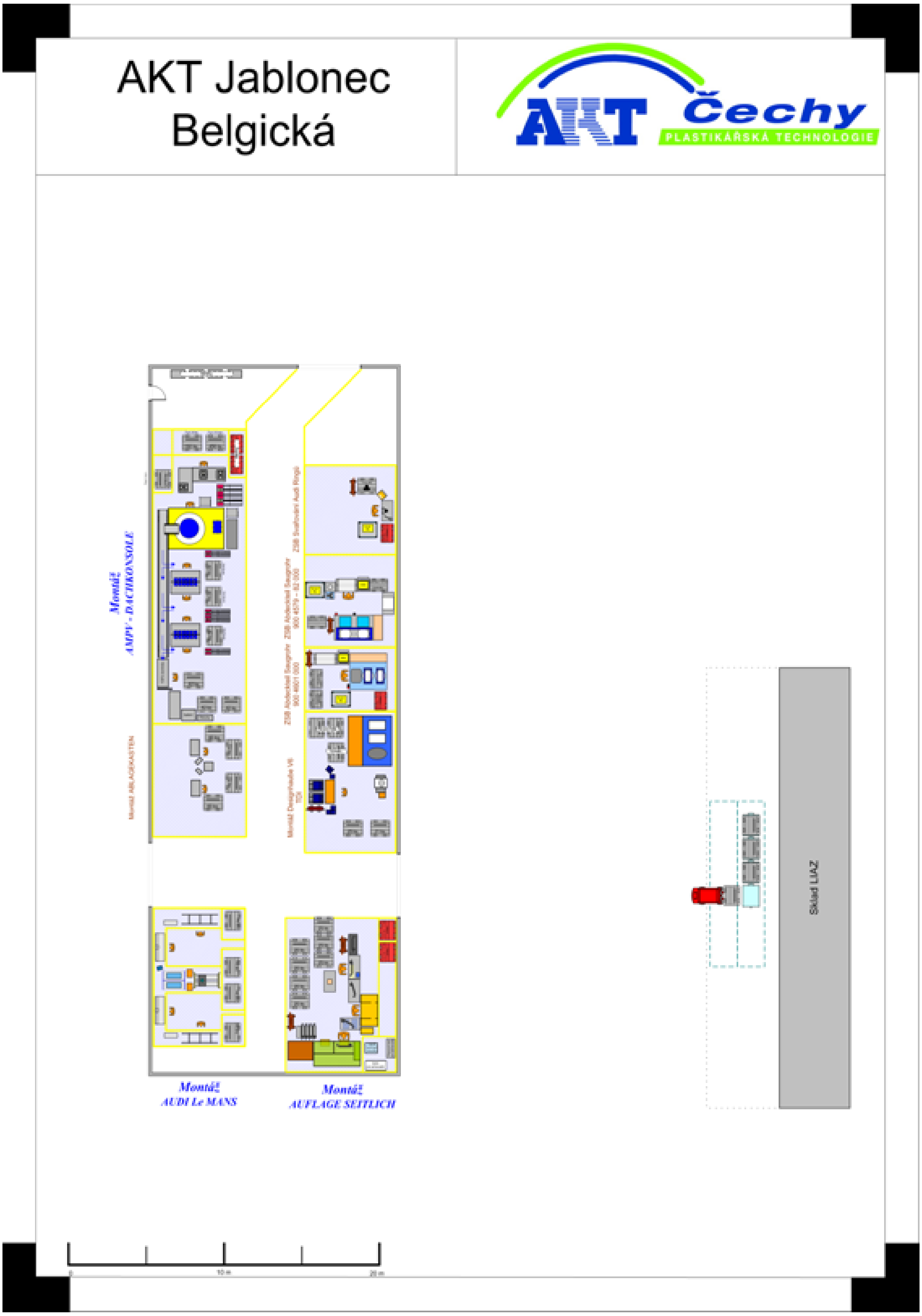
[6] Interní dokumenty AKT Plastikářská technologie Čechy, spol. s r.o.

[7] Interní dokumenty ITING s.r.o.

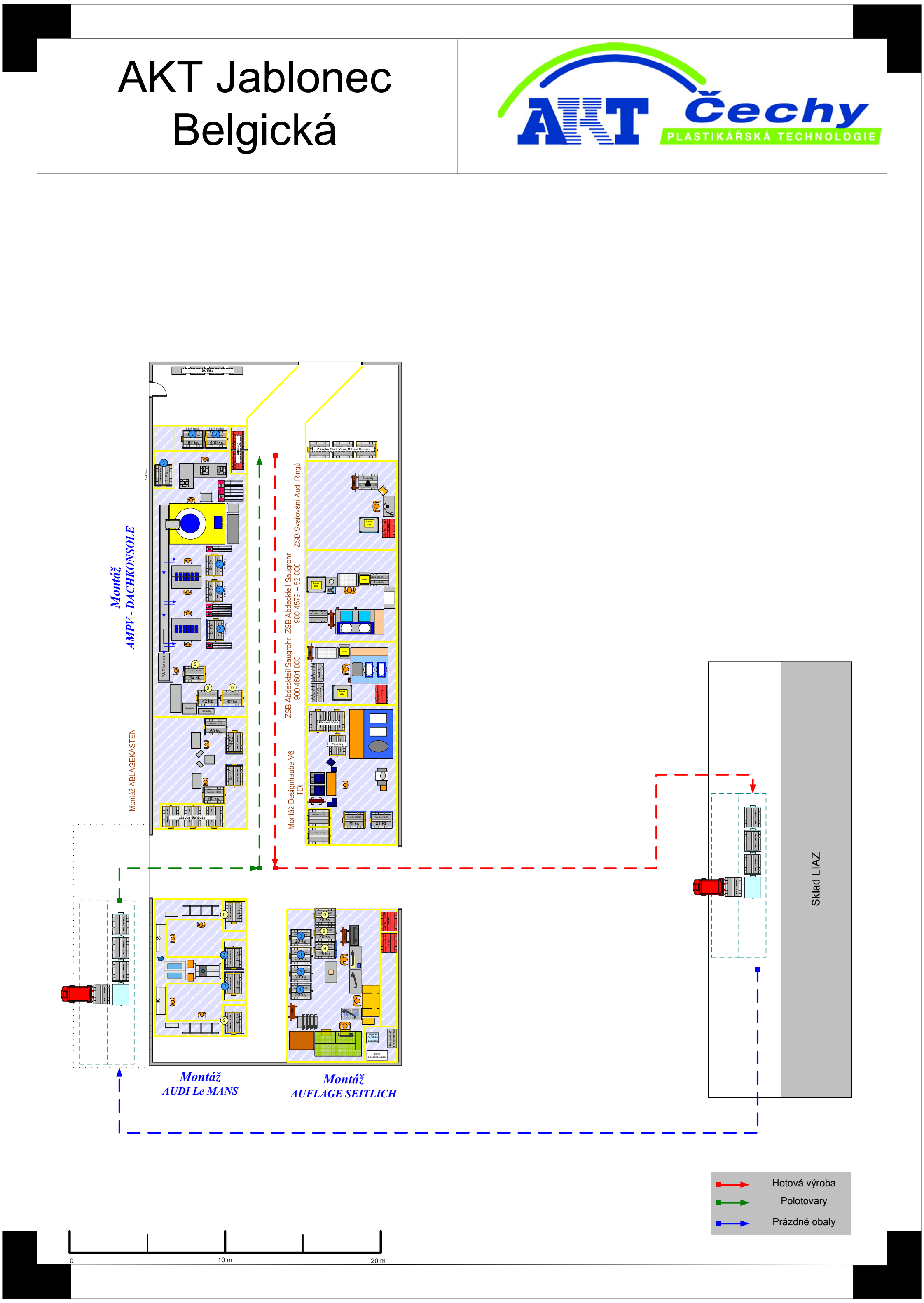
[8] Přednášky KVS

# Přílohy

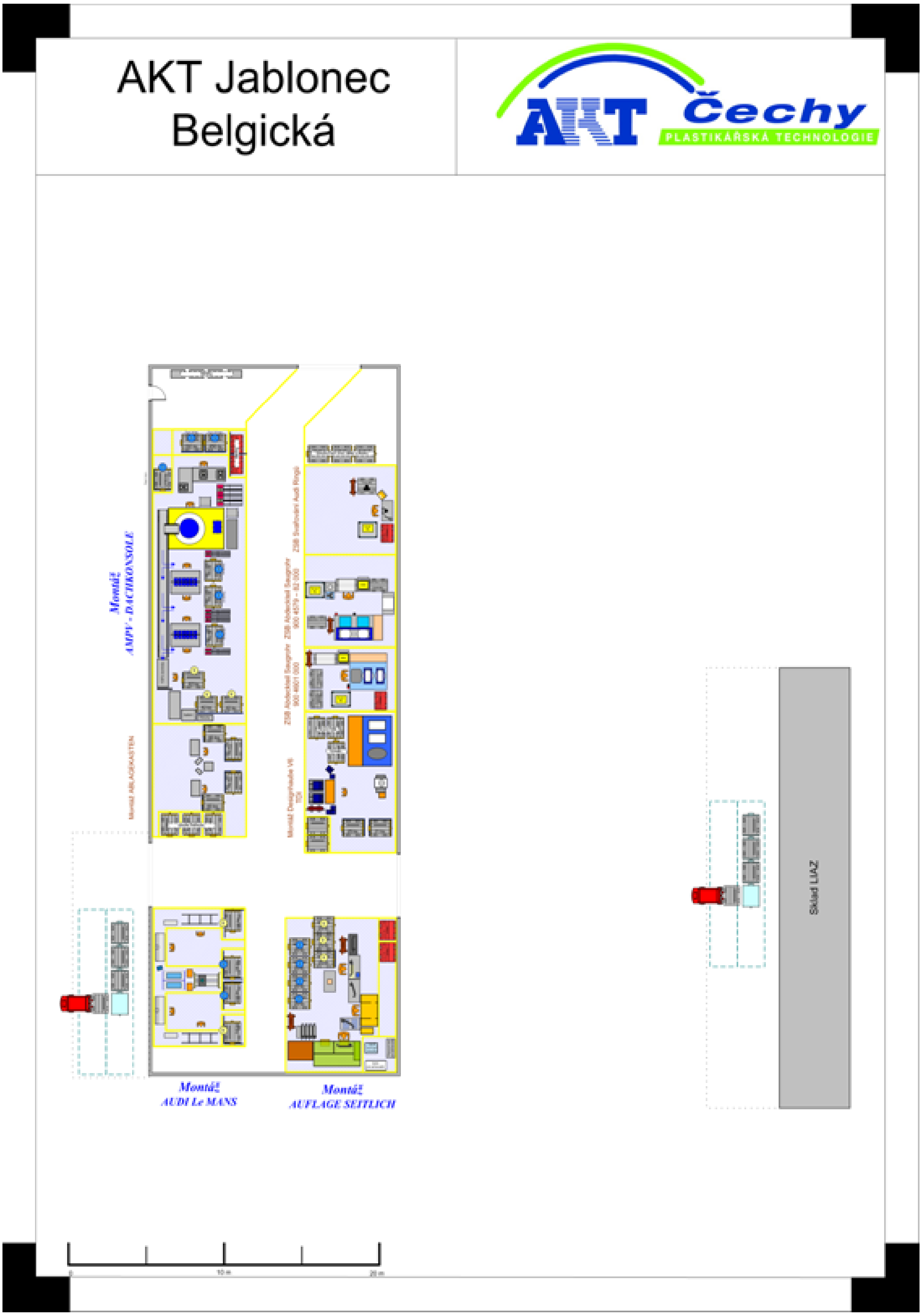
## Příloha A



## Příloha B


AKT Jablonec
Belgická
AKT Čechy
PLASTIKÁŘSKÁ TECHNOLOGIE
Montáž
AMPV - DACHKONSOLE
Montáž ABLAGEKASTEN
ZSB Svařování Audi Ringů
ZSB Abdeckteil Saugrohr 900 4579 – 82 000
ZSB Abdeckteil Saugrohr 900 4601 000
Montáž Designhaube V6 TDI
Montáž
AUDI Le MANS
Montáž
AUFLAGE SEITLICH
Sklad LIAZ
Hotová výroba
Polotovary
Prázdné obaly
0
10 m
20 m

**Příloha C**


AKT Jablonec
Belgická
AKT Čechy
PLASTIKÁŘSKÁ TECHNOLOGIE
Montáž
AMPV - DACHKONSOLE
Montáž
AUDI Le MANS
Montáž
AUFLAGE SEITLICH
Sklad LIAZ