

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zlepšování procesů v oblasti výroby DPS

autor: Bc. Lukáš Vinter
vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Tupa, Ph.D.

2013

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na problematiku výroby desek plošných spojů (DPS) technologií povrchové montáže. Řeší procesy týkající se tohoto typu výroby ve firmě Memco s r.o. v Českých Budějovicích, rozložení layoutu výrobních linek a blízkého okolí. Dalším problémem je otázka optimálního rozložení vyráběných desek do výrobních linek podle jejich výkonnosti. Návrhy jsou ověřeny pomocí diskrétní simulace.

Klíčová slova

Povrchová montáž, SMT, layout, výrobní linky, procesy, optimalizace, diskrétní simulace, štíhlá výroba

Abstract

The diploma thesis is focused on processes in PCB manufacturing area. It solves problems with layout of 3 SMT assembly lines in Memco ČR factory. Next issue is the distribution of products (SMD boards) to these 3 manufacturing SMT lines according to their efficiency. New ideas were verified in simulation model.

Key words

Surface mount technology, SMT, layout, production lines, processes, discrete simulation, lean manufacturing

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 7.5.2013

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiří Tupovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. V neposlední řadě i Ing. Janu Kudláčkovi a Ondřeji Brůžkovi za poskytnuté rady a informace ze společnosti Memco. Samozřejmě bych chtěl poděkovat i rodičům Miloslavě Vinterové a Václavovi Vinterovi za dlouholetou podporu během studií.

Obsah

OBSAH	1
SEZNAM POJMŮ A ZKRATEK	3
ÚVOD	5
1 TECHNOLOGIE POVRCHOVÉ MONTÁŽE	6
1.1 VÝHODY SMT OPROTI THT	7
1.2 VÝROBA SMT	7
1.2.1 Výroba holých desek	8
1.2.2 Vytvoření vodivého motivu	8
1.2.3 Pájení	9
1.2.4 Osazování součástek SMD	11
1.2.5 Zásobníky součástek SMD	12
1.3 VÝROBNÍ LINKY	13
1.3.1 Spřažená výrobní linka	13
1.3.2 Buňkové řazení výroby	14
2 PROCESNÍ ŘÍZENÍ	15
2.1 OBECNÁ DEFINICE PODNIKOVÉHO PROCESU	15
2.2 POSTUPNÉ ZLEPŠOVÁNÍ VS. BUSSINESS PROCESS REENGINEERING	16
3 ŠTÍHLÁ VÝROBA	18
3.1 ZÁSADY ŠTÍHLÉ VÝROBY	18
3.2 NÁSTROJE ŠTÍHLÉ VÝROBY	19
3.2.1 Just-in-time	19
3.2.2 Jidoka	23
3.2.3 Mapování přidané hodnoty (Value Stream Mapping)	24
3.2.4 Teorie omezení (Theory of Constraints)	24
3.2.5 Pět S	25
4 SIMULACE VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ	26
4.1 DEFINICE SIMULACE	26
4.2 SYSTÉM HROMADNÉ OBSLUHY	26
4.3 DISKRÉTNÍ SIMULAČNÍ SYSTÉMY	27
4.3.1 Prvky diskrétních simulačních modelů	28
4.3.2 Použití diskrétních simulačních systémů	29
4.4 TVORBA SIMULAČNÍHO MODELU	29
4.4.1 Verifikace	29
4.4.2 Validace	29
5 PŘÍPADOVÁ STUDIE	31
5.1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI MEMCO	31
5.2 PROBLÉMY K ŘEŠENÍ VE FIRMĚ MEMCO	32
5.3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	33
5.3.1 Definování jednotlivých procesů v SMT	33
5.3.2 Současný layout	34
5.3.3 Technické parametry výrobních linek	35
5.3.4 Sledování výrobních linek	37
5.4 NÁVRHY VARIANT ŘEŠENÍ	42
5.4.1 Layout	42
5.4.2 Rozložení produktů do linek	44
5.4.3 Procesní přístup	46

5.4.4	<i>Technická řešení</i>	47
5.5	DISKRÉTNÍ SIMULACE VÝROBNÍHO PROCESU	49
5.5.1	<i>Tvorba simulací</i>	49
5.5.2	<i>Výsledky simulací</i>	51
5.6	DOPORUČENÍ PRO PRAXI	54
5.6.1	<i>Layout</i>	54
5.6.2	<i>Procesní přístup</i>	54
ZÁVĚR		56
POUŽITÁ LITERATURA:		58
PŘÍLOHY		1

Seznam pojmů a zkratk

5S	Nástroj štíhlé výroby k uspořádání pracoviště
Ag	Chemická značka stříbra
Andon	Vizualizační nástroj průběhu výroby
Bi	Chemická značka Bismutu
BPR	Business Process Reengineering (metodologie změn podnikových procesů od základu)
Buffer-stack	Zásobník pro hotové panely na konci SMT výrobních linek s vyšší kapacitou
CT	Cycle Time (čas periody určitého procesu)
DPS	Deska plošného spoje
FIFO	Režim front (první dovnitř - první ven)
Fluxer	Dávkovač tavidla
IF	Infračervené elektromagnetické záření o vlnové délce 760 – 1 000 nm
Kanban	Tahový výrobní systém
Layout	Nákres rozvržení pracovního prostoru (2D)
LIFO	Režim front (poslední dovnitř – první ven)
Loader	Zásobník pro panely na začátku SMT výrobních linek
Muda	jap. plýtvání
Mura	jap. časové disproporce v pracovním vytížení, druh plýtvání
Pb	Chemická značka olova
PCB	Printed circuit board (deska plošného spoje)
Poka-yoke	Metoda mechanických zábran proti lidským chybám
PRI	Prioritní režim front
SMD	Surface mount device (součástka určená pro povrchovou montáž)
SMED	Single Minute Exchange of Die (metoda rychlé přestavby strojů)
SMT	Surface mount technology (technologie povrchové montáže)
Sn	Chemická značka cínu
THT	Through hole technology (technologie montáže s vývodovými součástkami)
TOC	Theory of constrains (teorie omezení)
Unloader	Zásobník pro hotové panely na konci SMT výrobních linek

UV	Ultrafialové elektromagnetické záření o vlnové délce 100 – 400 nm
VSM	Value Stream Mapping (metodologie mapování toku přidané hodnoty)

Úvod

Předkládaná práce se zabývá mapováním procesů v oblasti výroby desek plošných spojů technologií povrchové montáže (angl. Surface-mount technology - SMT).

Text je rozdělen do pěti částí; první se zabývá samotnou problematikou technologie SMT výroby, druhá popisuje procesní přístup k řízení činností v podnicích, třetí s tím související nástroje štihlé výroby. Následující kapitola je věnována problematice diskrétních simulací výrobních systémů a teorii hromadné obsluhy. Pátá část je koncipována jako případová studie z výrobní praxe ve firmě Memco s r. o. v Českých Budějovicích. Popisuje současný stav výroby a procesů, které se jí týkají, prostorové rozložení výrobních linek (layoutu) a přiřazení produktů k jednotlivým linkám dle jejich výkonnosti. Součástí případové studie je i podkapitola, která na základě výsledků simulací shrnuje celková doporučení pro výrobu DPS ve firmě Memco.

1 Technologie povrchové montáže

Technologie povrchové montáže (angl. *surface mount technology*) definuje výrobní proces usazování elektronických součástek na desky plošných spojů. Tato technologie je logickým vyústěním historického trendu zmenšování finálních elektronických výrobků. Jelikož původní technologie THT s otvory vrtanými pro vývody z elektronických součástek narazila na svá prostorová omezení a součástky bylo nadále problematické zmenšovat, vznikla potřeba najít jinou cestu. Vznikl nový druh pouzder součástek a jejich vývodů. Tato pouzdra již nemají dlouhé vývody do vrtaných otvorů, ale vývody krátké či ploché, vhodné pro povrchovou montáž. Často bývají vývody součástí těl součástek. Tyto součástky se nazývají povrchově montované součástky (angl. zkratka SMD = Surface Mounted Devices). [1]



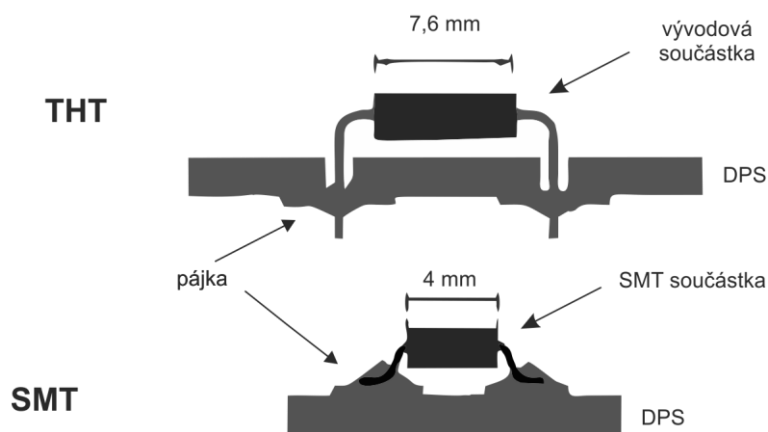
Obrázek 1-1- Příklady pouzder SMD, převzato z [10]



Obrázek 1-2 Různé tvary vývodů SMD součástek, převzato z [10]

1.1 Výhody SMT oproti THT

Hlavní výhodou, kterou přináší technologie SMT je velikost pouzder součástek. Z této skutečnosti tedy plyne vyšší hustota osazených součástek na desce a možnost zmenšení celých desek plošných spojů při zachování jejich stejné funkce. Další možností je přidání více funkcí na stejně velikou desku. Odpadá také časově náročná nutnost úpravy vývodů vzhledem k lepšímu uchycení součástek před pájením, které je u technologie THT nutné. Proto je také rychlejší samotné osazení součástek a nižší náročnost na složitost osazovacích strojů. Z hlediska vysokofrekvenčních obvodů se jeví opět výhodnější součástky bez dlouhých vývodů. Kratší vzdálenosti mezi součástkami znamenají taktéž zkrácení doby přenosu signálů. Uvádí se, že celkově lze SMT technologií snížit náklady na výrobu až o 30%. [1, 2]



Obrázek 1-3 - porovnání pouzder určených pro technologii THT (nahore) a SMT (níže), převzato z [8]

1.2 Výroba SMT

Výroba pomocí technologie SMT se sestává z několika kroků. Nejprve je potřeba zhotovit desku s motivem vodivých spojů. Tato holá deska se otestuje. Poté podle typu pájení buď nanést pájecí pastu určitou metodou (sítotiskem, tiskem přes šablonu), osadit součástky a přetavit pájku v tavící peci. V případě pájení vlnou odpadá nanášení pájecí pasty tiskem. Místo toho se nanáší lepidlo (jelikož součástky jsou vlečeny v pájce pod deskou). Oba postupy lze kombinovat a profitovat z jejich typických výhod. Po procesu pájení následuje proces čištění a kontrol. Existují dva typy kontrol – elektrická a optická. Oba typy mohou být zautomatizovány (ovšem za dohledu operátorů, kteří identifikované nesrovnalosti nakonec vyhodnocují a případně posílají do opravy). V případě oboustranně osazených desek s kombinací obou typů pájení platí, že pájení vlnou se provádí až nakonec.

1.2.1 Výroba holých desek

Samotnou deskou plošných spojů se rozumí tuhý nosný substrát elektrického obvodu s vytvořenými vodivými cestami mezi pájecími ploškami na součástky.

Dělení dle vrstev:

- **jednovrstvé** - jednostranné / oboustranné (vodivé cesty pouze z jedné nebo obou stran desky)
- **vícevrstvé** - uvnitř desky více úrovní obvodu (vodivých cest) - vyšší integrace, dnes typicky 4 nebo 6 vrstev

Materiály používané pro substráty jsou např. fenolický papír, polyimid, epoxidová pryskyřice a PTFE (teflon). Typickým značením materiálu dle normy NEMA (amerického sdružení výrobců) je označení FR (flame resist):

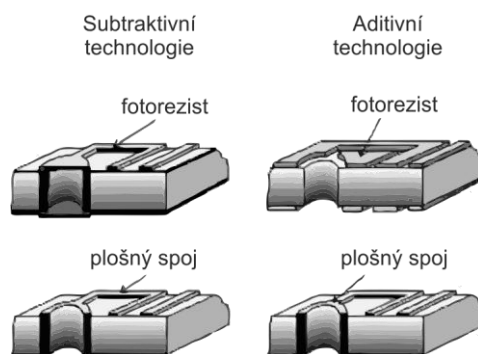
- FR-2 jsou desky z fenolického papíru,
- FR-3 jsou epoxidové vyztužené papírem
- FR-4 a FR-5 pro desky vyztužené skleněným vláknem

Nosný materiál se volí podle několika parametrů, jako jsou např. **samozhášivost** (při překročení proudové zatížitelnosti spoje dojde k tzv. „přepálení spoje“), **max. frekvence**, **tepelná roztažnost** materiálu a **tepelná vodivost**.

Na vodivý motiv se poté nalisuje vrstva měděné fólie, která se vyrábí elektrolyticky. Standardní šířka fólie je 18 nebo 35 μm . Používají se však i fólie tenčí. [1,2]

1.2.2 Vytvoření vodivého motivu

Existují dva způsoby jak vyrobit motiv vodivých cest. První z nich je tzv. aditivní, kdy se na holý laminát nanáší vodivé vrstvy mědi. Druhým způsobem je metoda subtraktivní, kdy se z plátového laminátu odleptává měď (ta část desky, kde nemá být vodivý spoj). Druhý způsob je z hlediska nákladovosti a náročnosti výroby častější.



Obrázek 1-4 - rozdíl mezi subtraktivní a aditivní technologií [9]

K vytvoření motivu se používá fotorezist, což je organická látka, která při působení UV záření mění své vlastnosti. U tzv. negativního fotorezistu látka zpolymeruje a naopak u fotorezistu pozitivního se polymerní vazby ruší. Tento proces se nazývá vyvolání fotorezistu a dochází při něm k vytvoření motivů. Fotorezist bez polymerních vazeb lze poté vymýt.

Pokud požadujeme v desce pokovené otvory (kombinace s THT), musí se tyto otvory nejprve vyvrtat tvrdokovým vrtákem, poté začistit a obrousit. Následuje pak chemické pokovení otvorů. Poté se musí nanést nepájivá maska, která zabrání přístupu pájky na nežádoucí místa během pájení vlnou. [1,2]

1.2.3 Pájení

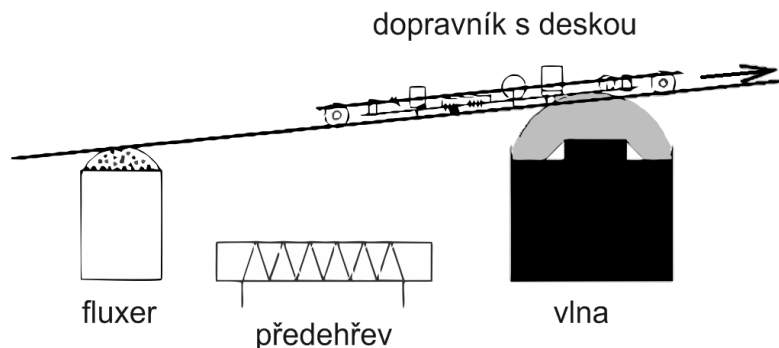
- pájení vlnou

Jedná se o hromadné pájení pomocí vlny roztavené pájky, jehož začátky sahají do poloviny 50. let 20. století. Jedná se celkově o sled 3 operací. První z nich je aktivace, během níž se snažíme omezit vliv vznikajících oxidů na povrchu pájky i pájecích prvcích. Pověštinou se provádí chemickou cestou pomocí tavidel. Tavidla mají za úkol zlepšit smáčivost spojů, ale zbytky tavidel nesmějí mít negativní dopad na funkčnost výrobku. Jedná se o chemický proces, kdy tavidlo převede oxidy kovů obsažené na pájecích ploškách vlivem přítomnosti kyslíku ve vzduchu na oxidy solí. Tyto oxidy se následně s roztavenou pájkou odplaví. Tavidlo se nanáší v tzv. dávkovači tavidla (anglicky „fluxer“). Liší se dle provedení na vlnový, pěnový, nástřikový a ultrazvukový.

Další operací při pájení vlnou tvoří předehřev. Tato fáze souvisí opět s tavidlem, konkrétně s jeho samotnou aktivací. Je nutné sladit nutnou teplotu předehřevu tavidla (aby tavidlo bylo lepkavé, nikoli mokré a tekuté) s rychlostí samotného dopravníku. Teplota musí stoupat pomalu a stejnoměrně, nesmí dojít k poškození desky spojů. Nedostatečné předehřátí tavidla má za následek jeho odplyňování v pájecí vlně, čímž se snižuje schopnost dosažení požadované plochy spoje. Proces zajišťuje obvykle jednotka s horkým vzduchem, která se skládá z tepelných zářičů a ventilátorů. Ventilátory pak ženou horký vzduch do prostoru dopravníku s deskou. Ta po něm buď projíždí a nebo se zastavuje a čeká zde na dosažení konkrétní teploty.

Poslední operace probíhá v jednotce pájení. V případě pájení vlnou je výhodou její neustálý pohyb zajištěný elektrodynamickým čerpadlem, který zajišťuje, že v jejím vrcholu se nevyskytují nežádoucí oxidy. Problémem při této operaci je stékání pájky ve formě

závoje a možná tvorby krápníků. Tento nepříjemný efekt je možné eliminovat nakloněním dopravníků, čímž se zlepší schopnost odtékání páky.



Obrázek 1-5 schéma pájení vlnou

- **pájení přetavením**

Jedná se zde o opačný způsob postupu. Na desku pájených spojů je nejprve nanesena pájecí pasta. Na pastu se poté působí tepelnou energií, čímž dochází k přetavení pájecího materiálu. Pájecí pasta se skládá ze dvou složek. Zpravidla 90% pájecí pasty tvoří pájecí zrna ze slitiny Sn, Pb, případně ještě Ag či Bi a zbylých 10% tvoří složka s tavidlem (pryskyřice, aktivátory, aditiva, rozpouštědla).

Problém u pájecí pasty může být ve velikosti zrn. Jelikož trendem současnosti je zvyšování hustoty součástek na deskách plošného spoje související se zmenšováním celkových rozměrů elektronických zařízení, zdálo by se být výhodnější používat pájecí pasty s velikostí zrn co možná nejmenší. Bohužel nepříjemným faktem je zvyšující se počet oxidů na povrchu zrn se zmenšujícím se jejich průměrem.

Samotné nanášení pájecí pasty probíhá třemi možnými způsoby. Prvním je dávkování (**dispenzerem**), kdy se pasta nanese přímo bodově na potřebná místa (pájecí plošky). Druhý způsob je **sítotisk**. Tento způsob spočívá v tom, že na síto z vláken je nanesen fotocitlivý materiál, na němž se pomocí UV záření vytvoří vzor pro potisk pastou. Na jedné straně síta je poté nanesené dostatečné množství pájecí pasty, která se poté roztírá pomocí stěrky přes síto a v místech nezakrytých fotocitlivým materiálem se pasta usadí na pájecích ploškách desky. Obdobným způsobem je pak **tisk přes šablonu**. Tato technologie se liší v materiálu, přes který je pasta nanášena. V případě sítotisku dochází k nanášení přes kovovou šablonu. Opět se nanáší pasta stěrkou. U tisku přes šablonu hrozí nebezpečí ucpání otvorů. Proto je nutné správně volit tvar pájecí plošky, geometrii šablony a typ pájecí pasty.

Samotný proces pájení může po osazení probíhat v **parách**, kdy se zahřeje kapalina na bod varu a na chladných deskách kondenzuje pára, to ohřívá samotnou desku a dojde k zapájení spojů.

Další možností je přetavení pomocí **infračerveného záření** v přetavovacích pecích. Jedná se v podstatě o přetavení pomocí tepelného zářiče (infračervené záření vyzařuje každé teplé těleso). Používají se wolframové zářiče. Deska v peci musí projít odpovídajícím teplotním profilem, kde v první fázi dochází k přehřevu (odpařování rozpouštědla a projevování účinků aktivátorů), následuje samotné tavení a nakonec chlazení celé desky. Doba přehřevu je podstatně delší než samotná doba tavení a chlazení. K tavení dochází při nárůstu teploty nad teplotu tání.

Existuje ještě technologie pájení **laserem**, která je velmi přesně cílená přímo na lokální přetavení. Používají se lasery typu YAG (pulsní) a CO₂ (plynový).

V aplikacích nižšího množství produkce se může použít ručního pájení pomocí vyhřívaného nástroje. [1]

1.2.4 Osazování součástek SMD

Po nanesení pájecí pasty vzniká další potřeba a tou je umístění součástek na samotnou desku plošných spojů. S rostoucím počtem osazovaných součástek se zvyšuje požadavek na přesnost (jelikož se více používají součástky menší a s tím i souvisejí menší vývody). V následujících podkapitolách si popíšeme používané způsoby osazování v SMT výrobě.

- **Ruční osazování**

První možností je osazování součástek ručně. Toto řešení se spíše používá v laboratorních podmínkách, při opravách nebo při malých výrobních sériích. To z toho důvodu, že rychlost osazování je v porovnání s automatizovanými způsoby velmi nízká (cca 500-600 součástek za hodinu).

Samotné pracoviště se poté skládá z držáku desky, vakuové pipety sbírající součástky ze zásobníků. Ta je ukotvena na pohyblivém ramenu, které umožňuje pohyb ve 2 osách nad samotnou deskou. Pipeta se může pohybovat vertikálně a samozřejmě umožňuje i rotační pohyb nutný ke správnému natočení součástky na DPS. Pracoviště může být doplněno i počítačem, který zde funguje pouze jako kontrola pro pozici osazované součástky. Podává informaci, zdali se prvek nachází na správném místě.

- **Automatické sekvenční osazování**

Tento způsob patří mezi velmi hojně používané. Počítačem řízený stroj má informaci o pozici součástky v podavačích a o pozici, na kterou je potřeba ji umístit. Funguje stylem

„pick and place.“ To znamená, že součástku nabere SMD osazovací hlava s pipetou ze zásobníku a přesune ji na místo na desce. Tento systém osazování není tolik časově náročný na změny, což je jeho další výhodou.

- **Automatické simultánní osazování**

Simultánní osazování může být velmi výkonné ze svého samotného principu. Je velmi vhodné pro použití v aplikacích o velmi početných sériích. Dokáže osadit až 300 000 součástek za hodinu. Avšak právě samotný princip osazování si na úkor rychlosti vybírá daň v podobě velmi nízké flexibility stroje (času přestavby na jinou DPS).

Tento systém využívá takzvaného paralelního osazování. Hlavní myšlenkou je speciální osazovací hlava, která je schopna pojmout najednou více součástek. Rozmístění součástek na hlavě odpovídá jejich finálnímu rozmístění na desce, tudíž je potřeba speciálních hlav a speciálních podavačů součástek, které tomu odpovídají. Čili na uspořádání součástek se musí dbát již při návrhu samotné desky.

- **Automatické sekvenční / simultánní osazování**

Tento způsob je výhodnou kombinací obou předešlých metod. Při této metodě uchopí speciální hlava opět několik součástek najednou a ty poté postupně osazuje na desku plošného spoje. Jelikož se deska a hlava vůči sobě pohybují v pravých úhlech, v daném chvíli lze obsadit vždy jednu pozici. Součástky se tedy osazují ve shlcích, lze osazovat několik stejných součástek současně (při vhodné konstrukci hlavy). Počet typů součástek se poté ale snižuje. Tyto kombinované stroje dokáží osadit až 70 000 součástek za hodinu.

1.2.5 Zásobníky součástek SMD

Součástky na osazování mohou být dodávány v několika možných formách. Přitom se klade důraz na cenu, jejich zabezpečení během dopravy, zajištění proti záměně s jinými součástkami, zajištění proti nesprávnému otočení (polaritě) při osazování, především ale hlavně na rychlost jejich výměny, kapacitu balení, rychlost podávání, skladování a v neposlední řadě i na ekologičnost podávacích pouzder při jejich následné likvidaci.

- **součástky v pásech**

Tento způsob se používá především pro nepřetržité zásobování v osazovacích automatech. Používají se perforované pásy o různých šířích (8, 12, 16, 24, 32, 44 a 56 mm). Perforované díry jsou zde kvůli odvíjení pásu přes ozubený kotouč. Součástky uloženy na těchto páskách jsou navinuty na lepenkových či plastových cívkách o průměru od 180 do 380 mm. Technologie umožňuje ochranu proti nesprávné polaritě součástky, krátké časové

cykly podávání, vysokou kapacitu součástek a snadné skladování. Nevýhodou je nízká ekologičnost tohoto typu balení, jelikož prázdné pásky není možné recyklovat.

- **tyčové zásobníky**

Používají se v případě integrovaných obvodů. Tyto obvody jsou uloženy v průhledném plastovém tyčovém obalu a jsou uloženy se sklonem. Díky naklonění dochází k jejich vysypání na lineární vibrační zásobník, jehož pohyb umožňuje přisun součástek směrem k místu odběru osazovací hlavou. Bohužel tyto zásobníky mají velice malou kapacitu.

- **paletové zásobníky**

Součástky jsou uloženy v zásobníku palet. Tento systém si nárokuje velký prostor. Vyšší nárok klade i na pružnost osazovacího automatu. Vznikne-li požadavek na určitý SMD prvek, je vybrán automaticky z určené palety, následně položen do modulu na orientaci součástky a připraven pro vyzvednutí osazovací hlavou. Předchozí kroky jsou konány s předstihem, aby hlava nemusela na součástku čekat. [1]

1.3 Výrobní linky

Sestavení výrobní linky musí respektovat následující důležité aspekty:

1. Požadované kapacity výroby DPS
2. Typy používané technologie (osazování „do pasty“ a následné přetavení / osazování „do lepidla“ a pájení vlnou). To úzce souvisí už s vývojem samotných desek a je nutné mít na paměti již při samotném návrhu následné výrobní technologické procesy. Ač to konstruktéři neradi slyší, jejich návrhy velmi ovlivňují ekonomiku výsledného výrobního systému.
3. Nejslabší výrobní operace určující tzv. úzké místo. Tato operace poté nejvíce omezuje výslednou kapacitu výroby a je třeba ji znát.
4. Zavedení kontrolních mechanismů. Nejlepší variantou je samozřejmě kontrola po každé operaci.

1.3.1 Spřažená výrobní linka

Tato výrobní linka vykazuje přesnou svázanost jednotlivých elementů (strojů). Všechny stroje jsou spojeny do jedné linky a propojují je dopravníky. Díky této pevné provázanosti je nutné přesné plánování a pokud možno okamžitá zpětná vazba v případě odchylek ve výrobě, jelikož cyklus výroby každé části začíná přejímkou z předchozího stanoviště a poté postupuje dále. Každá operace může tedy zbrzdit operaci následnou. Pružnost, efektivita a výkonnost výroby může být ovlivněna rozdílnou výkonností jednotlivých strojů nebo

například nečekanou odstávkou některého z nich. Hodí se pro velkosériovou výrobu a výrobky typově podobného charakteru. [1]

1.3.2 Buňkové řazení výroby

Buňkové neboli hnízdové řazení výroby spočívá v menších na sobě nezávislých montážních jednotkách z hlediska dodávky součástek a výrobních materiálů. Rozčlenění výroby pak probíhá jednotlivě v každé buňce. Využívá se zde hierarchického řízení výroby. Snahou je vytvořit výrobní linku tak, aby probíhal nepřetržitý výrobní proces rozdělený do buněk, z kterých každá je tvořena technologicky na míru společným typů desek. Tento systém je značně flexibilní, ale vysoce náročný na dopravu, neboť každá změna ve výrobě znamená tím pádem změnu toku mezi buňkami. Spojení mezi buňkami probíhá automatickými dopravníky. Snahou je v rámci buňky optimalizovat výrobní toky. V každé buňce je kontrolní pracoviště. Pohyb desek je sledován od počátku do konce pomocí čárových kódů. Obecně se velmi často v buňkové výrobě používá uspořádání do tvaru písmene U. Toto uspořádání umožňuje snadné balancování operací mezi začátkem a koncem výroby díky snadnému přesunu k jednotlivým stanicím a dochází tak k úspoře času a pohybu. Místo tedy klasického funkčního uspořádání společného pro všechny produkty, které se musí dělit o jednotlivá stanoviště a dochází k čekání a tvoření front před těmito funkčními pracovišti, je filozofie buňkové výroby do buněk taková, že pro každý typ desky se dle technologických požadavků určí vlastní odpovídající výrobní buňka. Tímto se optimálně balancuje celkový výrobní tok celého systému. [1,12]

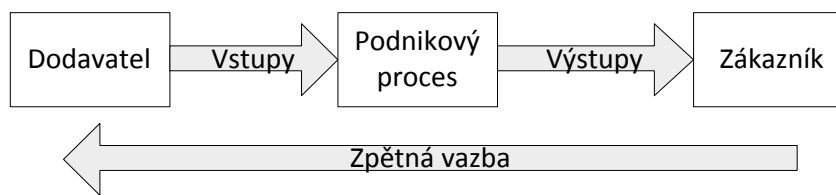
2 Procesní řízení

Doba, kdy o množství vyrobených produktů rozhodoval sám podnik je dávno překonaná. A to protože ve všech oblastech obchodu, a to jak ve službách, tak i ve výrobě, podstatně vzrostlo množství podniků uplatňujících se na stejném poli působnosti. Tím nastala doba, kdy je zákazník schopen vybírat z mnoha nabídek a aby byl veden úspěšný podnik, je potřeba nabídnout to nejlepší ve všech ohledech. V moderních obchodních vztazích je zkrátka nutné řídit se diktátem zákaznických potřeb. Ten může klást větší nároky na kvalitu a zároveň nižší cenu. To má poté za následek tlak na zlepšování procesů uvnitř podniku.

Díky zpracování vlastních procesů je možné zjistit případné nedostatky, duplicity procesů či např. úzká místa. Úzká místa se vyznačují vysokou mírou využití blížící se k jejímu limitu, v krajních případech dokonce i jejím překročením (dochází k hromadění front). Platí zde tzv. řetězový princip, který říká, že celý řetěz (celý podnik) je tak silný (výkonný) jako jeho nejslabší článek. Toto přirovnání je příklad filozofie metodologie theory of constraints (TOC). Proto je třeba všechny procesy v podniku dobře zmapovat a zvolit vhodné metriky pro měření jejich výkonnosti, aby se dokázaly procesy zefektivnit. Už samotný pouhý popis jednotlivých procesů v podniku může být přínosem. Dojde-li ke zmapování postupů, už samotné mapování činností v podniku samo o sobě podněcuje k zamyšlení. Proč jsou vlastně procesy nastaveny tímto způsobem? [4]

2.1 Obecná definice podnikového procesu

Jak již bylo naznačeno v předchozí části, důležitou roli v procesech hraje především zákazník. Zákazník žádá, aby se pomocí procesu přeměnily různé vstupní elementy v jím požadovaný výstup (produkt či službu). V podnikových procesech hovoříme o zákaznických klasických (koncových) a vnitropodnikových. Příkladem vnitropodnikového zákazníka může být montážní pracovník potřebující pro svůj proces montáže určité díly a dodavatelem skladník, který tuto potřebu uspokojí. Procesem je tedy dodávka dílů na montážní pracoviště ze skladu. Vstupem jsou díly. Vstupy se mohou lišit od zdrojů. Zdroje jsou vstupy o určitém limitovaném množství. Čili kvantitativní vyjádření dostupných vstupních elementů do procesu. Důležitá je samozřejmě i zpětná vazba zákazníka. Ta může být užitečná jako zdroj podnětů ke zlepšení samotných procesů. [3, 4]



Obrázek 2-1 – Schéma podnikového procesu

Obecně lze citovat definici z knihy Aleny Svozilové [3]: „Proces je série logicky souvisejících činností nebo úkolů, jejichž prostřednictvím, jsou-li postupně vykonány, má být vytvořen předem definovaný soubor výsledků.“

2.2 Postupné zlepšování vs. Business Process Reengineering

Filozofie postupného zlepšování se nabízí sama o sobě. Jelikož snahou procesního řízení je zlepšení efektivity vnitřních procesů, je snahou je opakovane zlepšovat. Postupné zlepšování procesů je tedy cyklický sled těchto činností:

- Popis současného stavu procesu
- Stanovení sledovaných metrik
- Sledování provozu procesu
- Měření provozu procesu
- Návrh a implementace řešení

První částí je tedy analýza současného stavu. Po ní následuje její vyhodnocení, návrhy na změny a po jejich provedení se celý cyklus opakuje tak, že opět popíšeme už nový stav se změnami, zjistíme případné nedostatky a tak dále.

Oproti tomu existuje metodologie Business Process Reengineering (BPR). Tato metoda v podstatě bere za předpoklad, že nastavené procesy jsou v podniku naprosto nevyhovující a je potřeba radikální změna (jejich úplné přenastavení). Oproti cyklickému procesnímu řízení v předchozím případě se zde jedná o řízení projektu. Postup obsahuje tyto části:

- Definice rozsahu projektu
- Analýza potřeb a možností
- Vytvoření nové soustavy procesů
- Naplánování přechodu
- Implementace

Jak se časem ukázalo, každý z přístupů má své nevýhody. Nevýhodou postupného zlepšování je postupné, a tudíž i pomalé zvyšování výkonnostních parametrů. Oproti tomu BPR může dosáhnout mnohem vyšších výkonnostních skoků za stejný čas, ale problémem je,

že výsledek může být nejistý, riskantní, a zcela nový systém potřebuje delší čas na zaběhnutí. V tu dobu dochází k velkým výkyvům. Proto se v praxi užívá kombinace obou přístupů a žádný z nich se nevyhrocuje do extrémní podoby. [4]

Tabulka 1 - Porovnání zlepšování a BPR – převzato z [4]

	Průběžné zlepšování	BPR
Úroveň změny	Postupná	Radikální
Počáteční bod	Existující proces	Zelená louka
Frekvence změn	Jednorázová / průběžná	Jednorázová
Potřebný čas	Krátký	Dlouhý
Participace	Zespoda-nahoru	Shora-dolů
Typický rozsah	Omezený, v rámci dané funkční oblasti	Široký, mezifunkční
Rizikovost	Střední	Vysoká
Primární nástroj	Klasické – statistické řízení	Informační technologie
Typ změny	Kulturní	Kulturní / strukturální

z hlediska kvality a je nutné přepracování. Jedná se tedy o nadbytečnou práci.

- **Pohyb** - dlouhé pochůzky k pracovním stanovištím, neoptimalizované trasy, zbytečný pohyb nepřidávající hodnotu
- **Přemístování** - přemístování produktu zbytečně přesto, že by se dalo pracoviště upravit tak, aby všechny potřebné operace byly zhotoveny na konkrétním místě
- **Zpracovávání** – např. zpracoval-li technolog výrobní postupy, nemusí je člověk zabývající se následnou simulací výroby opět sám zpracovávat. Je proto nutné vytvářet popis postupů vyhovující požadavků všech stran.
- **Skladování** – např. skladování z nadvýroby. Výrobky zabírají místo ve skladu i těm, které by při zdravém tahovém systému mohly být vyskladněny přímo na export. Z toho plynou zvýšené náklady a brždění výroby. Dalším příkladem je pořizování materiálu na sklad z důvodu nedůvěry dodavateli, že je dodá včas.
- **Intelekt** - chybí pracovní výrobní postup a osoba nemá potřebné znalosti pro danou práci, chybí dokumentace od osob s vyšší kvalifikací. Tyto osoby mohou vytvořit rozhodovací stromy pro pracovníky s nižší kvalifikací a procesy tak zautomatizovat. [3, 5]

3.2 Nástroje štíhlé výroby

Abychom byli schopni eliminovat a především identifikovat zdroje plýtvání ve štíhlém podniku, je k tomu potřeba několika nástrojů. Japonská firma Toyota začalo od 50. let 20. století rozvíjet nové myšlení. Chtěla dohonit v té době výkonnější produkci v USA. Nový směr byl založen na 2 základních pilířích, které se dále rozvíjely. Prvním z nich je přístup Just-in-time a druhým Jidoka.

3.2.1 Just-in-time

Toyota díky tomuto přístupu zcela obrátila systém výroby. Aby nedocházelo k plýtvání a skutečnému řízení výroby požadavky zákazníka, začala razit teorii, že se má vyrábět pouze to, co je potřeba, kdy je to potřeba a právě v potřebném množství. Jedná se tedy o již zmiňovaný tahový systém orientovaný na zákazníka.

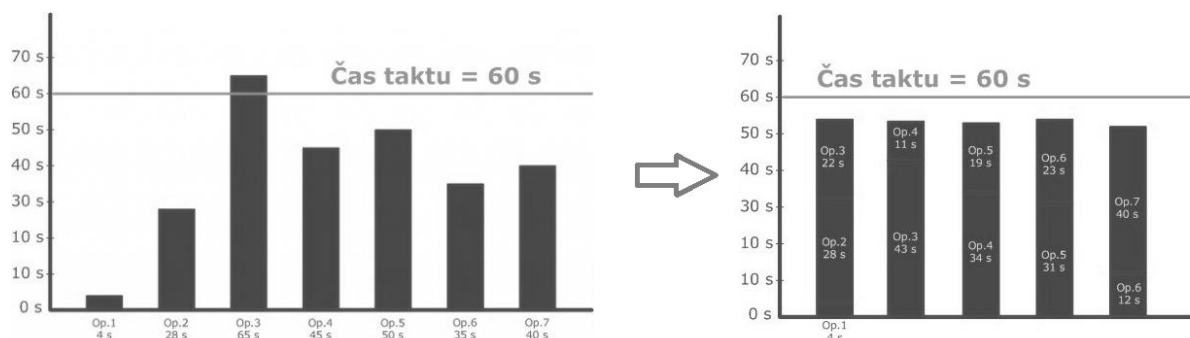
Nástroje používané v rámci této filozofie:

- **Heijunka** – snaha o vyrovnání časových disproporcí v pracovním vytížení (mura). Toho se dosahuje pomocí vyrovnání objemů a nastavení plynulých materiálových toků např. vyrovnaném využití obslužných kanálů, balancováním operací prováděných operátory. Snahou je naladit všechny na stejné tempo určené

požadavkem zákazníka. Tempo udává ukazatel zvaný **čas taktu**. Z následujícího vzorce vyplyne čas potřebný pro výrobu jednoho kusu dle požadavku zákazníka.

$$\text{Čas taktu} = \frac{\text{Dostupný pracovní čas za směnu [s]}}{\text{Požadavek zákazníka na směnu [ks]}}$$

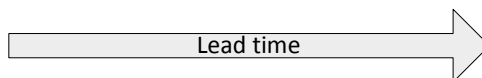
Jsou-li změřeny časy jednotlivých operací prováděných operátory, lze tyto operace vyladit v souladu s časem taktu. To názorně ukazují následující dva obrázky. [13, 14]



Obrázek 3-1 - Balancování operací, převzato z [13]

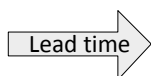
Heijunka také vidí význam v přeorganizaci výroby. Preferuje dávkování nižších výrobních dávek s kratším výrobním časem (Lead Time) před dlouhou výrobou ohromných zakázek. Tím dojde k pravidelnějšímu přísunu finančních toků (plateb za zakázky), zákazníkovi ukážeme, co jsme skutečně schopni vyrobit za určitý čas. Předpokládejme, že zákazník vyžaduje vyrobit díly:

X X X Y Y Y Z Z Z



Bylo by možné rozfázovat celou výrobu přesně tak, jak je naznačeno výše. Pokud bychom ale snížili dávky a rozdělili výrobu na kratší úseky s nižším Lead Timem, zjistíme, že jsme schopni dodávat více flexibilně na požadavky zákazníka a přibližujeme se filozofii just-in-time.

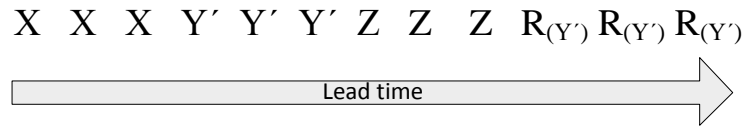
X Y Z X Y Z X Y Z



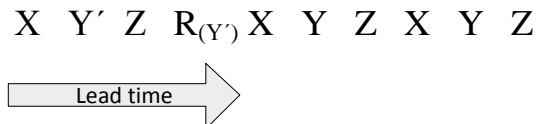
Teď si představme, že dojde během výroby dílu Y k neshodě v kvalitě a bude

nutné jej přepracovat (R). Označíme jej Y'.

V prvním případě bude process výroby a celkový Lead Time vypadat následovně:



V případě druhém budem bude situace následující:

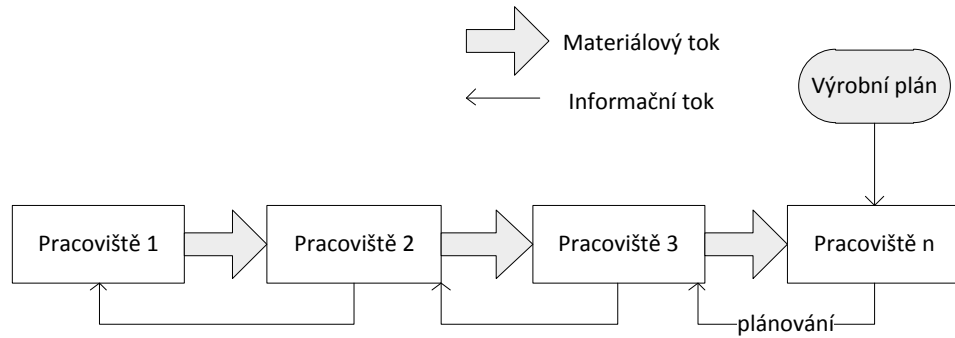


Jak lze tedy vyčíst, že ačkoli častější přestavba strojů na výrobu jiných kusů by se zpočátku mohla jevit jako nevhodná (přestavba nepřináší hodnotu a je časově náročná), ve výsledku z hlediska kvality a přepracování v případě zjištění neshody při výrobě se jeví tento systém výhodnější. Proto se vyvinul systém SMED.

- **SMED**

Smyslem SMED přístupu je získat část kapacity stroje, kterou zabírá jeho přenastavení a urychlit přechod z jednoho produktu na druhý. Samotná přestavba se sestává z několika dílčích operací. Tyto operace se podle SMED dají rozčlenit do dvou skupin. V rychlé přestavbě se rozlišují **interní** a **externí** operace. Externími operacemi jsou myšleny ty operace, které lze provést za chodu stroje. Naopak interní činnosti jsou takové, během kterých musí být zařízení nutně vypnuté. Jak lze vyvodit z následujícího, externí operace je možné provádět již s předstihem a předem připravit celkovou přestavbu. Často se v praxi tomu ale bohužel neděje. Celá filozofie se dá shrnout do 3 fází:

1. Oddělit operace interní a externí (definovat je)
2. Redukce času pro interní operace a to tím, že se hledají cesty, jak některé z nich převést na operace externí (nastavení rozměrů a poloh předem, zjednodušení upevňování, příprava materiálu, pracoviště, přidání operátora)
3. Zkrácení času interního a externího seřízení (uspořádáním pracoviště a činností) [15]



Obrázek 3-4 Tahový výrobní systém, převzato z [13]

3.2.2 Jidoka

Proti produkci musí stát samozřejmě v rozumné rovnováze i kvalita. Proto vznikl zároveň i druhý pilíř, nazývaný Jidoka. Toto slovo se dá volně přeložit jako automatizace za dotyku člověka. V praxi tento přístup znamená, že dojde-li k takové situaci, kdy pracovník na lince zjistí chybu, zatáhne např. za tzv. „**andon** provázek“, čímž se zobrazí signál na výstražné tabuli či jiném audiovizuálním zařízení. Tímto se „volá o pomoc“. Dojde k okamžitému zastavení linky, nastane-li problém. Každý pracovník tedy nese odpovědnost za výslednou kvalitu. V případě strojů může jít o automatizovaný systém v podobě semaforů.

Jidoka používá 4 základních nástrojů:

- **genchi genbutsu** – přístup, který znamená doslova **jít až ke zdroji problému**. Snahou je identifikovat příčinu. Základem je odhalení problému a jeho následné řešení.
- **andonové tabule** – jedná se o jednoduché elektronické audiovizuální tabule znázorňující stav všech linek a případně problém a jeho přesnou lokalizaci. Tabule se vyvěšují nad výrobní linky, aby byly viditelné pro všechny účastníky výrobního procesu.
- **standardizace** – stanovení pracovních postupů a jejich automatizace je základním předpokladem udržení výrobního tempa a eliminace chyb
- **poka-yoke** – filozofie řešící odolnost systému vůči chybám. Jde o taková řešení, která zabrání chybě např. při vložení dílu. Velmi často se jedná o mechanické zábrany. Typickým případem je např. konektor USB. Konektor lze vložit do zástrčky vždy pouze jedním způsobem kvůli ochraně zaměnění jednotlivých pinů (v případě USB spíše styčných kontaktních ploch).

Jelikož se štihlé myšlení rozvíjelo s časem dále, vzniklo mnoho dalších nástrojů, které napomáhají těmto cílům. Následující podkapitoly popíší základní z nich. [13, 14]

3.2.3 Mapování přidané hodnoty (Value Stream Mapping)

Klíčovou postavou je zde opět zákazník. Ten by samozřejmě nejraději platil pouze za činnosti, které přidávají hodnotu (Value-Added). Ve výrobě se ovšem vyskytují i procesy, které však samy hodnotu nepřidávají, ale jsou k její vytvoření většinou nutné (transport materiálu na místo, přenastavení strojů atd.) Value Stream Mapping je grafická metoda zobrazení výrobního toku a rozlišení procesů v něm podle toho, zda právě přidávají hodnotu.

Na základě zmapování těchto procesních toků lze určit tzv. efektivní hodnotu průtoku (angl. Flow Time Efficiency).

$$\text{Efektivní doba průtoku} = \frac{\text{Průměrná doba průtoku} * 100 [\%]}{\text{Teoretická doba průtoku}}$$

Kde průměrná doba průtoku je průměrná doba vyřízení požadavku (výroby zakázky včetně všech zdržení v podobě čekání ve frontách, přepracovávání atd.) a teoretická doba průtoku je doba potřebná k výrobě při eliminaci všech zdržení, přepracovávání atd. Některé zdroje uvádějí, že proces není štíhlý do té doby, dokud je hodnota efektivní doby průtoku menší než 10%. [3, 6, 14]

3.2.4 Teorie omezení (Theory of Constraints)

Fyzik Eliyah Goldratt je autorem tvrzení: „Řetěz je tak silný, jako je jeho nejslabší článek.“ Takto jednoduše lze shrnout myšlenku Teorie omezení. Tato teorie se snaží ukázat druhý aspekt na pohled eliminace plýtvání. Výrobní náklady nemůžete nikdy zeštíhlit na nulu, proto není tato cesta samospasitelná. Je třeba ohodnotit výkonost všech prvků systému a identifikovat tzv. **úzké místo**. Úzké místo výrobního podniku je ta činnost, která omezuje nejvíce rychlost všech operací dalších. V podstatě nám určuje takt celého systému. Vyznačuje se maximálním vytižením jeho výrobní kapacity a tvořením front požadavků před ním. Jestliže se toto místo podaří definovat, je třeba „rozšířit hrdlo“ a investovat tak do posílení kapacit této činnosti. To se odrazí na výkonnosti celého systému. Omezení vyskytující se v podnicích mohou mít tedy charakter fyzikální (výkonnost stroje, obslužného systému), ale i organizační. Podle autora myšlenky Goldratta, se „zřídka kdy najde podnik, který by byl omezen trhem. Zpravidla je to spíše sebezničující marketingová strategie, která je příčinou potíží.“ Vzniká potřeba aktualizovat pravidla podniku a zjistit, nejsou-li zastaralá a nebrzdí-li tak zbytečně pružnost celého systému. [3]

3.2.5 Pět S

Název vznikl z pěti japonských slov počínajících písmenem S. Do nich lze jednoduše shrnout myšlenky systému pro uspořádání pracovišť. V češtině nelze nalézt ekvivalenty začínající stejným písmenem tak jako se to podařilo např. v angličtině. Těchto pět pravidel je uvedeno níže:

- **Třídění (angl. Sort, jap. Seiri)**
Je třeba vyloučit z pracoviště všechny nástroje, které nejsou nezbytné k činnosti na něm.
- **Umíst'ování (anl. Set in order, jap. Seiton)**
Vše je třeba umístit na své určené a označené místo.
- **Úklid (angl. Sweep, jap. Seiso)**
Pracoviště musí být čisté a uklizené kvůli přehlednosti. Čištění je pravidelnou součástí výroby. Neuklízí se tedy až tehdy, kdy už je nepořádek neúnosný.
- **Standardizace (angl. Standardize, jap. Seiketsu)**
Vytvoření pracovních postupů pro operátory tak, aby při změně pracoviště byli schopni podle jeho uspořádání úkony vykonávat podle stejného standardu jako na tom samém místě předchozí operátor. Prostředí musí podporovat opakovatelnost a jednotnost výrobních postupů.
- **Udržení (angl. Sustain, jap. Shitsuke)**
Po úpravě pracoviště je potřeba dohlédnout, aby se předchozí kroky dodržovaly. Lidé mají sklony změny spíše nepřijímat a sklouznout pak zpět do „starých kolejí.“ [3]

4 Simulace výrobních systémů

Celý výrobní systém v podniku se dá rozložit do 4 základních částí, a to sice na sklady, pracoviště, transport a řízení výroby. Všechny tyto systémy jsou provázány v jeden velký složitý funkční celek. Představíme-li si výrobní systém, kterým denně prochází tisíce požadavků na výrobu a musí se zajistit, aby vše řádně fungovalo, je jasné, že zde již nestačí pouhé lidské vnímání na vytvoření reálného obrazu o tocích, frontách a požadavcích systému za chodu. Proto se v poslední době čím dál častěji podniky obracejí na konzultační firmy schopné vytvořit simulační modely výroby, které dokážou odhalit kolikrát i netušené stavy v produkci.

4.1 Definice simulace

„Simulace je výzkumná metoda, jejíž podstata spočívá v tom, že zkoumaný systém nahradíme jeho simulátorem a s ním provádíme pokusy s cílem získat informace o původním zkoumaném systému. Simulační model je dynamický systém, v němž nastávají události a stavy jako ve zkoumaném (simulovaném) systému, a to ve stejném pořadí, avšak obecně v jiných časových okamžicích. Prvky modelu nemusí být trvale v modelu, mohou se dynamicky měnit.“
[7]

Simulační model je tedy jakýmsi virtuálně převedeným reálným systémem sestávajícím se z různých prvků a událostí. Budeme-li se bavit o výrobních systémech, simulujeme tzv. systém hromadné obsluhy.

4.2 Systém hromadné obsluhy

Systém hromadné obsluhy se skládá ze 3 základních elementů. Jsou jimi požadavky, fronty a obslužné kanály. Pod požadavkem si lze představit jakýkoli nárok na zpracování obslužným kanálem (např. požadavek na obrobení surového materiálu na frézce). Obslužným kanálem je tedy frézka. Jelikož požadavky mohou chodit v čase různě stochasticky či pravidelně a doba obrábění může záviset např. na různých aspektech (typu materiálu), nemusí spolu tyto časy nutně korespondovat a může docházet k vytváření front požadavků. Na těchto modelech je poté založena tzv. diskrétní simulace. Diskrétní simulační postupy jsou tedy schopny vytvořit obraz o všech systémech hromadné obsluhy. Nemusí být nutně pouze výrobního charakteru (např. obsluha aut v myčkách, vyřizování požadavků klientů ve finančnictví a státní správě apod.).



Obrázek 4-1 Systém hromadné obsluhy, převzato z [7]

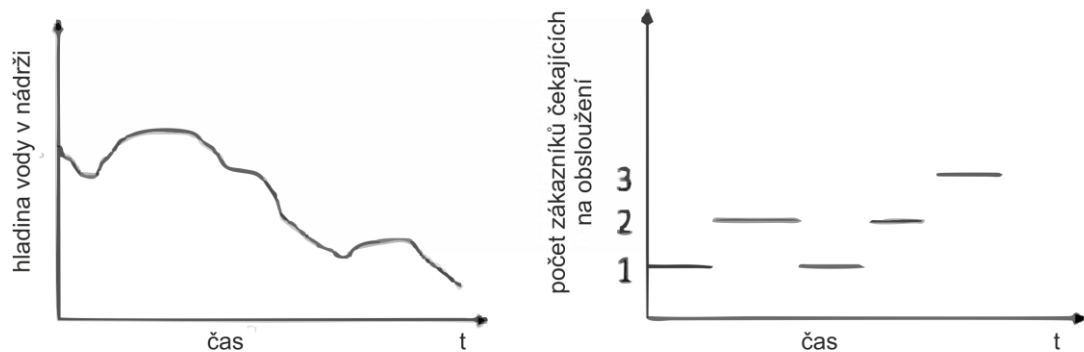
Co lze sledovat u každého prvku:

- **Požadavky** – lze sledovat charakter příchodů (náhodně, pravidelně, jednotlivě, skupinově)
- **Fronty** – lze sledovat:
 - průměrný čas požadavku strávený ve frontě
 - průměrný počet požadavků ve frontě
 - frontovou disciplínu (sekvenci vyřízení požadavků):
 - FIFO = first in first out – každý požadavek vyřízen v pořadí, ve kterém přišel
 - LIFO = last in first out – poslední požadavek vyřízen první
 - PRI = prioritní režim
 - Náhodný režim
 - osud požadavků – požadavek odpadne, je trpělivý (vydrží čekat určitou dobu), netrpělivý (okamžitá rezignace)
- **Obslužné kanály** – doba obsluhy, počet obslužných kanálů (jeden či více obráběcích strojů), využití kapacit [7]

4.3 Diskrétní simulační systémy

Existují dva druhy simulačních systémů. Prvním jsou spojité simulační systémy, kdy se algebraicky řeší závislosti spojitého systému. Důležitým rozpoznávacím znakem je změna času do následujícího kroku. U spojitého systému je změna času do dalšího kroku simulace vždy konstantní a co možná nejkratší (pracuje se s diferenciálními rovnicemi a derivacemi podle času). Hodnoty veličin v systému se vyjadřují pomocí reálných čísel. Naproti tomu stojí diskrétní simulace. Ta se liší od předchozího typu ve své filozofii. Vytvoří se nejprve časová osa a na ní se podle nastavených časů přiřadí požadavky a události, které je potřeba dle modelu vyřídit. Proto je časový rozdíl mezi následujícími kroky vždy proměnný. Dále veličiny se v čase mění spojitě a skokově (diskrétně). Např. ve frontě na obrábění může být 1,

2 či více požadavků. V tomto případě se vždy tedy jedná o celočíselné diskrétní vyjádření a hodnota se mění skokově.



Obrázek 4-2 Srovnání spojitě a diskrétní simulace, převzato z [7]

4.3.1 Prvky diskrétních simulačních modelů

- **Entita** – každý prvek nebo komponenta systému, která vyžaduje explicitní reprezentaci v modelu (např. operátor, výrobek, díl, vozík, server...)
- **Atribut** – všechny vlastnosti entity (např. priorita zákazníka, barva, přiřazený obrázek, plocha zabírající místo v systému)
- **Seznam** – soubor entit za sebou (např. zřetěžený sled výrobních operací)
- **Událost** – vyskytuje se v čase, v tu chvíli mění určitým způsobem stav systému (např. zahájení obrábění)
- **Záznam události** – zaznamenaný výskyt události obsahující data pro následnou obsluhu (čas a způsob obsluhy)
- **Seznam událostí - FIFO** seznam naplánovaných událostí
- **Aktivita** – doba vyřizování události (časový rozdíl mezi začátkem a koncem obrábění)
- **Zpoždění** – např. doba ve frontě, tento údaj se zaznamenává v rámci běhu simulací (předem jeho hodnotu nelze zjistit)
- **Časová množina systému** – množina časů vztahených k počátku simulace
- **Proces** – vhodně definovaný sled událostí nad nějakou podmnožinou časové množiny vyskytující se v systému [7]

4.3.2 Použití diskretních simulačních systémů

Použití je vhodné v různých systémech vykazujících charakter hromadné obsluhy. Může se tedy jednat o systémy dopravní, logistické, výrobní, vojenské systémy, modelování podnikových procesů apod. Přičemž se dají pomocí diskretní simulace sledovat hodnoty jako využitelnost kapacit, čekání, počty výrobků apod.

Simulace se tedy používá tehdy chceme-li získat informace o současném systému, a nebo hledáme-li nová řešení. Simulace dokáže odpovědět na otázku: Co se stane, když...? A to bez nutnosti již instalovaného řešení, takže může například pomoci posoudit návratnost u uvažovaných investic apod. Tím pomáhají ušetřit čas a peníze. Simulovat lze tedy i zatím fyzicky vůbec neexistující model a předběžně např. odhadnout počet potřebných obslužných kanálů a jejich parametry. [7]

4.4 Tvorba simulačního modelu

Před samotným započítím vytvářením modelu je potřeba nejprve si určit, co bude jeho předlohou, jaké prvky systému do jaké míry budeme modelovat, a především stanovit si předem cíle. Bez cílených ukazatelů a sledovaných hodnot nemá smysl model vytvářet, jelikož nelze přesně stanovit, zda například případné změny atributů v onom modelu vedou ke kýženým výsledkům. Provádí se tedy nejprve analýza reálného systému a zmapování procesů. Tato fáze je velmi důležitá vzhledem ke konečnému přínosu simulací. Je potřeba, aby informace podávané pracovníky byly pokud možno co nejvíce přesné a nezkrácené a skutečně odpovídaly reálné pracovní praxi (aby se skutečné pracovní postupy pracovníků nelišily od postupů zdokumentovaných). Máme-li k dispozici všechna potřebná data a zadání, nastupuje fáze samotného vytváření prvotního digitálního modelu. Takto vytvořený model se nazývá koncepční model.

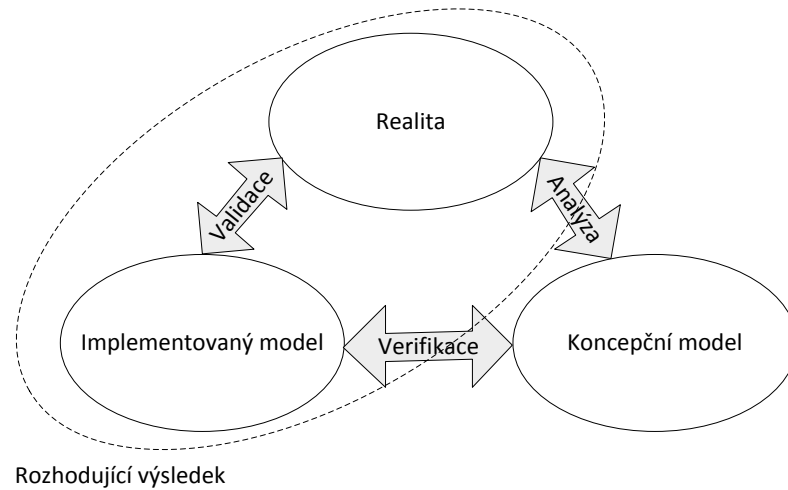
4.4.1 Verifikace

Koncepční model je nutno nejprve odzkoušet, zda se chová, jak se od něj předpokládá (odladění chodu, úprava kódu). V tuto chvíli se mluví o tzv. verifikaci modelu.

4.4.2 Validace

Je-li vše odladěné a simulační program běží dle návrhu, je potřeba ještě zpětná kontrola s reálným systémem. Ověřuje se, jestli takto vytvořený systém, opravdu kvantitativně výslednými hodnotami odpovídá výsledkům dosaženým v reálném systému (výrobě). Pakliže i toto platí, je systém validován. Poté lze na systému již experimentovat a měnit určité parametry a zkoušet, jak tyto změny ovlivní výsledný systém v reálné praxi. Lze tedy

nastavovat různé vzdálenosti mezi pracovišti po úpravách layoutu, časy operací, parametry strojů, počty strojů či obslužných kanálů obecně apod.



Obrázek 4-3 Tvorba modelu, převzato z [7]

5 Případová studie

Na základě teoretických poznatků získaných a popsanych v předchozích kapitolách a na základě seznámení se se stavem výroby ve společnosti Memco s r. o. byla vytvořena případová studie popisující a řešící problémy SMT výrobních linek v této firmě.

5.1 Představení společnosti Memco



IČO:	28136161
DIČ:	CZ28136161
ADRESA:	Okružní 2615 České Budějovice 370 01

Společnost Memco Limited byla založena v roce 1971. Zázemí společnosti se nachází ve Velké Británii ve městě Maidenhead. Firma vyrábí elektronická bezpečnostní zařízení, displeje a komunikační systémy do výtahů. Po celém světě již bylo nainstalováno do výtahů přes 1,5 milionu zařízení od společnosti Memco Limited.

Memco Limited je držitelem certifikátu jakosti BS EN 9001-2000, což značí kladený důraz na kvalitu svých produktů. Náskok před konkurencí si udržuje výraznými investicemi do vývoje.

Vzhledem ke zvyšující se poptávce po jejich produktech byla v Českých Budějovicích zřízena výrobní hala o ploše 4000 m². Prodejní pobočky lze nalézt v Itálii, Francii a Německu. Memco spolupracuje se sesterskými společnostmi Janus, TL Jones, E-Motive, Halma PLC - divize bezpečnostních prvků do výtahů, FTSE 250. Toto společenství vykázalo v minulém roce obrát 519 mil. liber. Produkty tohoto společenství lze nalézt ve výtazích napříč Evropou,

Afrikou a Jižní Amerikou. [11]

5.2 Problémy k řešení ve firmě Memco

Do firmy Memco s r.o. došlo k přesunu dvou SMT výrobních linek z mateřské společnosti z Anglie do haly v Českých Budějovicích, kde se do nedávna nacházely dvě původní starší výrobní linky. Vzhledem ke kapacitě haly došlo k selekci strojů a sestavení výsledných 3 výrobních linek s označení SMT 1, SMT 3 a SMT4.

Cílem případové studie je sestavení optimálního layoutu výrobních linek složených ze strojů včetně příslušenství tak, aby se maximálně zjednodušila práce obsluhujícím operátorům. To zahrnuje zmapování jednotlivých procesů na linkách, jejich časové náročnosti a prostorového rozložení. Snahou je dosáhnout rychlejšího a snadnějšího obsluhování výrobní linky a v případě občasných náhodných drobných problémů minimalizovat situaci, kdy se stroj zastaví a operátor je daleko a zaneprázdněn jinou činností. Proto se bude zkoumat i personální obsazení z hlediska optimální počtu operátorů na pracovištích a koordinace jejich činností.

Dalším předmětem řešení ve firmě je rozložení produktů do výrobních linek o různých výkonnostních parametrech. Jelikož každá deska plošného spoje je osazena jinými SMD součástkami a každá výrobní linka je schopna osazovat součástky rozdílně rychle, je cílem vytvořit nástroj pro vyhodnocení podobného složení produktů a jejich následné rozložení do výroby. V současné době o tomto rozložení rozhoduje pracovník na pozici předáka, který tak vychází z vlastních zkušeností a znalostí produktů. Tento nástroj bude podpůrným prostředkem právě pro tohoto pracovníka. Dojde-li k dokončení výroby jednoho produktu, musí se linka připravit na výrobu produktu dalšího. Velice v tu chvíli záleží na shodě stavby s produktem předešlým. Lišit se mohou v několika ohledech. Může vzniknout buď potřeba upravit šířky dopravníků kvůli jiné šíři druhé desky plošného spoje, může vzniknout potřeba výměn součástek v zásobovačích osazovacích strojů a samozřejmě i šablony pro tisk pájecí pasty. Cílem bude dobře návazná přestavba (co možná nejrychlejší) a to proto, že právě tento proces na výrobní lince nepřidává žádnou hodnotu.

Jednotlivé varianty řešení budou následně simulovány v softwaru Arena od firmy Rockwell Software. Simulována bude i situace, kdy chybí jeden obsluhující operátor. Snahou je zjistit dopad takové situace na celkovou produktivitu.

5.3 Analýza současného stavu

Během provozu byl změřen nejen layout, ale také identifikovány jednotlivé operace, které souvisí s chodem linek. Časy operací byly změřeny u předem vytipovaných operátorů a předáků s delší praxí ve firmě. To z toho důvodu, aby měly časy vypovídající reálnou hodnotu neprodužovanou nedostatkem zkušeností zaučujících se operátorů na linkách.

5.3.1 Definování jednotlivých procesů v SMT

Výroba probíhá na třech produkčních linkách značených SMT1, STM 3 a SMT4. Výčet všech procesů kolem linek vystihuje následující tabulka. Tato tabulka zároveň zobrazuje přidanou hodnotu (VA/NVA), vzdálenost, kterou musí operátor při daném procesu urazit, časovou náročnost tohoto procesu.

Tabulka 2- procesy ve výrobě SMT

Číslo	Proces	Hodnota	Vzdálenost [m]	Čas [s]
1	Zajistit štítky (předák)	NVA	8,2	40
2	Zajistit štítky (jednotlivá pracoviště)	NVA	51,1	1140
3	Transport panelů k lince - linka 1	NVA	5,4	6
4	Transport panelů k lince - linka 3	NVA	10,2	10
5	Transport panelů k lince - linka 4	NVA	8,2	14
6	Přepočít panelů dle průvodky	NVA	0	120
7	Příprava linky / přestavba - linka 1	NVA	0	
8	Příprava linky / přestavba - linka 3	NVA	0	
9	Příprava linky / přestavba - linka 4	NVA	0	
10	Založení panelů do linky	NVA	1	13
11	Kontrola nanesené pasty na panelu	NVA	3	13
12	Doplňování pasty do tiskárny	NVA	4	40
13	Dojít pro součástku - linka 1	NVA	8,5	19
14	Dojít pro součástku - linka 3	NVA	8,5	17
15	Dojít pro součástku - linka 4	NVA	10	20
16	Měřitelné součástky změřit	NVA	2	57
17	Doplnit součástku do OA - EP	NVA	2	90
18	Doplnit součástku do OA - Univ.	NVA	3,5	60
19	Zapsat výměnu součástky	NVA	2	34
19	Kontrola založené součástky -SMT1	NVA	21,8	73
20	Kontrola založené součástky - SMT3	NVA	21,8	60
21	Kontrola založené součástky - SMT4	NVA	0	30
22	Kontrola osazeného panelu před pecí	NVA	3,5	15
23	Vyndat osazené panely z linky	NVA	5	15
24	Polepit panel štítkem	NVA	0	15
25	Zapsat do DB - board tracking	NVA	0	35

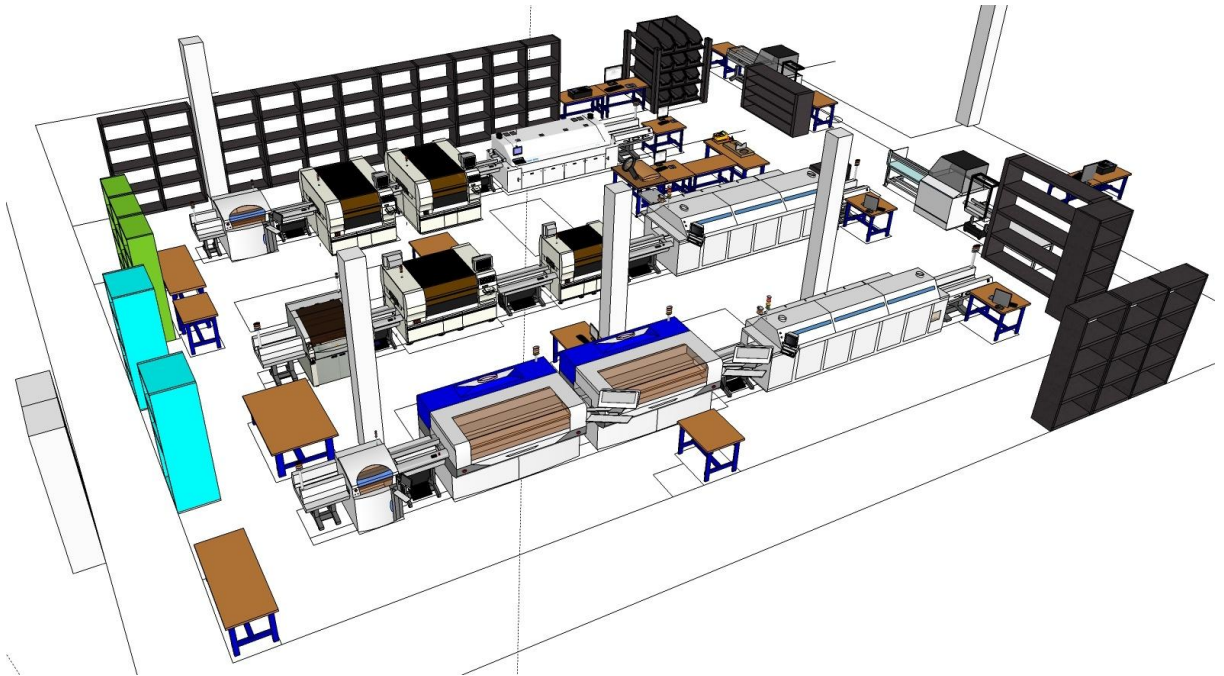
26	Polepit desky čár. kódy	NVA	0	10,5
27	Skenování štítků	NVA	0	480
28	Uložení desek do transportních beden	NVA	0	3
29	Transport desek k AOI - linka 1	NVA	1,1	2
30	Transport desek k AOI - linka 3	NVA	5,8	16
31	Transport desek k AOI - linka 4	NVA	4,6	9
32	Transport desek z regálu k AOI	NVA	5	58
33	Nahrání programu do AOI	NVA	0	44
34	Kontrola panelu v AOI	NVA	0	25
35	Scan desek po AOI	NVA	0	8
36	Uložení desek do transportních boxů	NVA	0	5
37	Transport desek k lakovací lince	NVA	6,5	17
38	Transport desek k programátoru	NVA	7,7	20
39	Tisk štítků (obsluha programátoru)	NVA	13,4	185
40	Transport DPS k programátoru - z regálu	NVA	4,3	7
41	Vyndat panel z boxu	NVA	1	6
42	Programování DPS	VA	0	74
43	Nalepení štítku na DPS	NVA	0	5
44	Razítkování DPS - kód operátora (E)	NVA	0	6
45	Uložení desek do transportních boxů	NVA	1	7
46	Přesun DPS před lak. linky - od prog.	NVA	16	20
47	Transport DPS k lakovací lince	NVA	8	10
48	Očištění panelu	NVA	0	12
49	Umístění panelu na dopravník	NVA	0	2
50	Vyjmutí panelu z lak. Linky	NVA	4	2
51	Kontrola tloušťky laku	VA	0	15
52	Kontrola panelu pod UV lampou	VA	0	10
53	Založení panelu do krabice	NVA	2	6
54	Označení krabice a průvodky razítkem	NVA	2	20
55	Přesun DPS do sklad. regálů - linka A	NVA	50	120
56	Přesun DPS do sklad. regálů - linka B	NVA	60	150
57	Strojní výroba DPS - Europlacer	VA	0	44,9
58	Strojní výroba DPS - Universal	VA	0	44,8
59	Strojní lakování DPS - panel	VA	0	57

[9]

5.3.2 Současný layout

Současný layout byl zakreslen v softwaru Autodesk AutoCAD 2012 na základě výkresu projektové dokumentace pro účely stavebního povolení výrobní haly (příloha C). Do tohoto výkresu byly zakresleny rozměry výrobních strojů. Rozmístění odpovídá stavu ke dni 14. 1. 2013. Layout slouží k určení vzdáleností, které musí urazit operátor při vykonávání jednotlivých procesů a poslouží i k určení vzdáleností pro následné simulace. Pro lepší názornost byl tento půdorysný náčrt použit a importován do softwaru Google Sketchup a byl

vytvořen 3D model výrobní linky. Software Google Sketchup byl zvolen proto, že již existuje v databázi firmy Google díky uživatelům již mnoho vytvořených 3D modelů a je proto rychlým nástrojem pro vytváření názorných trojrozměrných nákrešů.



Obrázek 6 – Současný layout linek ve 3D (pořadí linek shora: SMT4, SMT1, SMT3)

5.3.3 Technické parametry výrobních linek

Tiskárny

Čas zpracování jednoho panelu od nabrání do stroje až po vyjetí z něj, je nejvíce ovlivněn 2D inspekcí panelu po tisku panelu. Čím víc pájecích plošek je podrobena inspekci, tím delší je cycle time. Obecně platí pravidlo, že čím komplexnější je panel, tím důkladnější inspekce, a tudíž i delší čas tisku.

- Tiskárna AccuFlex má základní cycle time kolem 30s (vypnutá 2D inspekce). S nastavenou jednou inspekcí se prodlouží cycle time cca na 45s. Běžně se používá 5-8 inspekčních bodů (cycle time kolem 50s).

- Tiskárna DEK je na tom velmi podobně jako AccuFlex, co se časů týká.

- Tiskárna Reprint (linka SMT3) je již staršího data výroby a často poruchová. Co se času týče, základní tisk trvá cca 40s, s aktivní 2D inspekcí se dostáváme nad 1:15 min. (2D inspekce je na této tiskárně vypnuta, protože zdržuje celou linku)

Na lince 4 je málo desek s CT (cycle time) pod minutu, takže tam by měla být 2D inspekce komplexnější a měla by lépe hlídat kvalitu tisku. Naopak na lince 3 je potřeba rychlý

tisk, protože hodně z panelů má CT osazení kolem 40s, což hraničí s CT tiskem.

Osazovací automaty

Teoretická výrobce udávaná rychlost osazování u automatů je následující (cph = components per hour):

- linka 4 (Universal):
 1. Automat (HSC) -13500 cph
 2. Automat (FJ3) - 9000 cph
- linka 1 (Xpress + Finesse):
 1. Automat (Xpress) – 11000 cph
 2. Automat (Finesse) – 6000 cph
- Linka 3 (2x EP928):

oba automaty jsou identické, výkon každého z nich je 4500 cph

Podavače pro osazovací automaty:

- Linka 4 (Universal) má podavače v podobě jednotlivých feederů (feeder = podavač). Každý podavač má danou šířku, podle pásky, která do něj pasuje. Každý feeder zabírá ve stroji jistý počet slotů. Oba stroje z linky mají stejné počty slotů, a sice 4 feeder banky (2 vpředu a 2 vzadu stroj), každý feeder bank má 18 slotů pro feedery.

- Linka 1 (Xpress + Finesse) má podavače dvojího typu. Buď tzv. feeder trolley (vozíky), u nichž každý má 33 slotů pro vložení feeder elementů. Do vozíků se vkládají feeder elementy, které podle šířky pásky zabírají určitý počet slotů z trolleje. Osazovací automat Xpress má možnost pojmout dva vozíky (jeden vpředu a druhý vzadu). Automat Finesse pojme celkem 5 vozíků (2 vpředu, 3 vzadu).

Druhým způsobem podávání součástek pro stroje Europlacer jsou tzv. tape feeders (stejný princip jako u Universalu). Jedná se o jednotlivé podavače, které se liší šířkou, podle pásky. Automat Xpress pojme cca 4 tyto podavače vpředu a další 4 vzadu, Finesse pojme 4 tyto podavače.

- Linka 3 (2x EP 928) je od stejného výrobce jako linka 1 a jejich druhy feederování jsou identické, liší se počtem vozíků. Oba automaty jsou stejné, a každý z nich je schopný pojmout dva vozíky vlevo a dva vozíky vpravo, plus 4 tape feedery pro každý stroj.

Pece

Pájecí pece mají dva různé teplotní profily pro pájení. Jeden je rychlejší a používá se pro jednoduché desky, kde není vysoká hustota součástek a pájení není náročné. Druhý profil je pomalejší a využívá se pro desky s vyšší hustotou součástek, kde je potřeba mít pájení kvalitnější (jde o kvalitní prohřátí všech spojů a komponentů). Rychlejší pájecí profil trvá cca 4:20 minut, pomalý profil cca 5:30 minut.

- Pec na lince 4 používá pouze pomalý profil a je schopna každých 50s pojmout panel.
- Pec na lince 1 používá oba pájecí profily (mění se podle aktuální výroby). S rychlým profilem pojme panel každých 40s, s pomalým profilem každých 55s.
- Pec na lince 3 používá pouze rychlý profil a pojme panel každých 46s.

5.3.4 Sledování výrobních linek

Předák ve spolupráci s operátory vytváří průběžně záznamy v sešitu MS Excel o výkonnosti výroby na všech linkách. Zapisují se následující činnosti:

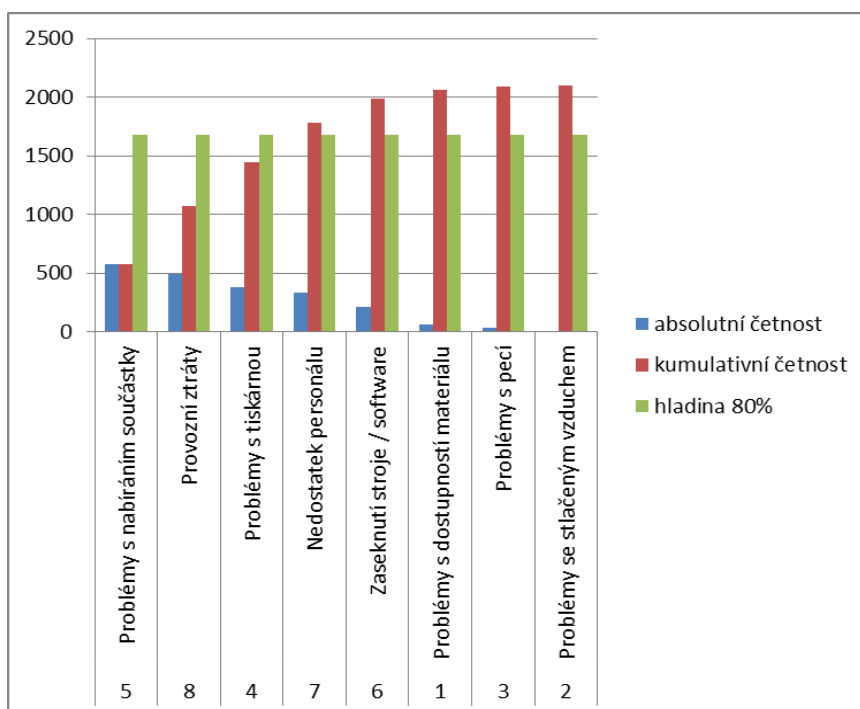
- Změna produktu (přestavba) – sleduje se počet změn a jejich čas
- Doplnování součástek – počet a čas
- Problémy na linkách – sem spadají veškeré problémy na lince a to jak technické i ostatní provozní.

Jelikož z dat sledování vyplývá, že procesy výroby na žádné z linek nejsou v ideálně stabilizovaném stavu, bylo nutné se zaměřit na příčiny problémů. Z dat byla vytvořena Paretova analýza, jejíž filozofie spočívá v přirozeném rozdělení příčin a následků. Paret tvrdí, že 80% problémů je způsobeno 20% příčin. Mluví se o tzv. životně důležité menšině. Na tento paradox přišel v 19. století, kdy jako ekonom zkoumal rozložení bohatství mezi lidmi na světě a zjistil, že 20% lidí vlastní 80% veškerého světového majetku. Tento princip se ovšem objevuje běžně i v přírodě a dá se formulovat jeho obecná platnost. Proto je na této myšlence založena i právě tzv. Paretova analýza. Postup je následující. V případě existence několika skupin problémů zkoumáme nejprve jejich četnosti. Problémy se následně seřadí podle četnosti od nejvyšší po nejnižší v grafu za sebou. Další částí grafu je tzv. Lorentzova akumulační lomená křivka. Tato křivka respektuje akumulační součty po sobě seřazených četností daných problémů. Jak již samotná teze napovídá, rozhodující hladinou bude hladina 80% kumulovaných problémů. Graf se tím rozdělí na dvě části, kde levá část obsahuje právě onu životně důležitou menšinu problémů a pravá problémy méně důležité. Těmito problémy se poté není potřeba zabývat. [6]

Výsledné hodnoty jednotlivých linek:

Tabulka 3 Paretova analýza problémů na lince SMT1

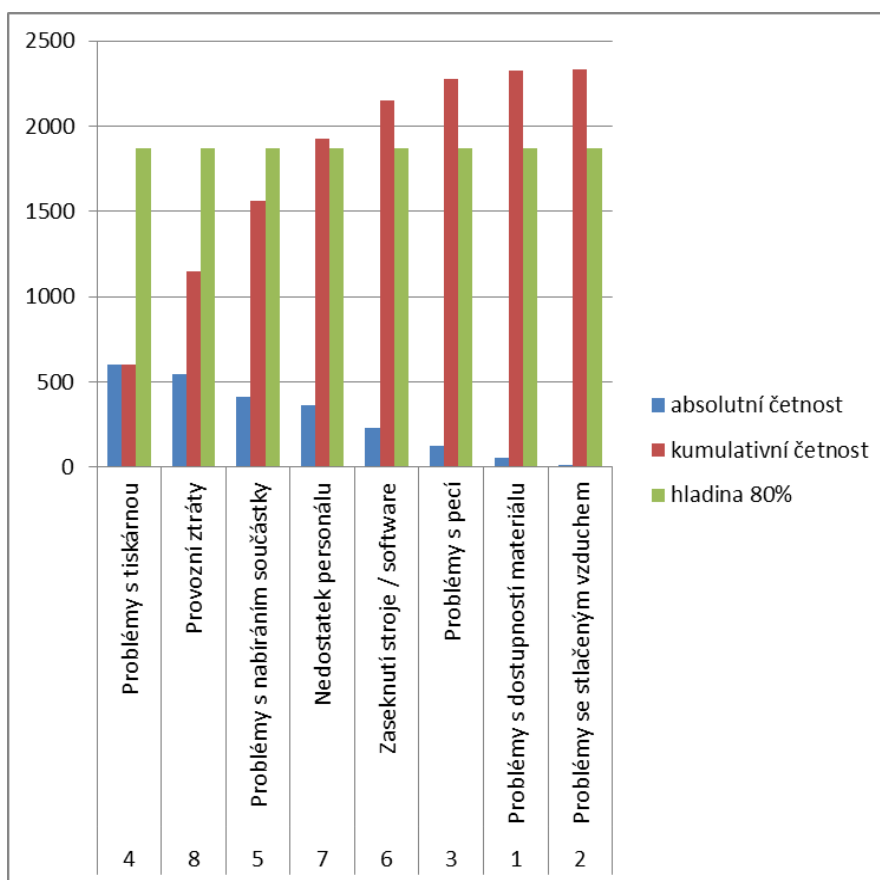
	id	Ztráta	absolutní četnost	kumulativní četnost	hladina 80%
SMT 1	5	Problémy s nabíráním součástky	575	575	1679,84
	8	Provozní ztráty	491	1066	1679,84
	4	Problémy s tiskárnou	382	1449	1679,84
	7	Nedostatek personálu	332	1781	1679,84
	6	Zaseknutí stroje / software	210	1991	1679,84
	1	Problémy s dostupností materiálu	66	2057	1679,84
	3	Problémy s pecí	35	2093	1679,84
	2	Problémy se stlačeným vzduchem	7	2100	1679,84
	pozn.	*technické problémy			



Graf 1 Pareto diagram pro linku SMT1

Tabulka 4 Paretova analýza problémů na lince SMT3

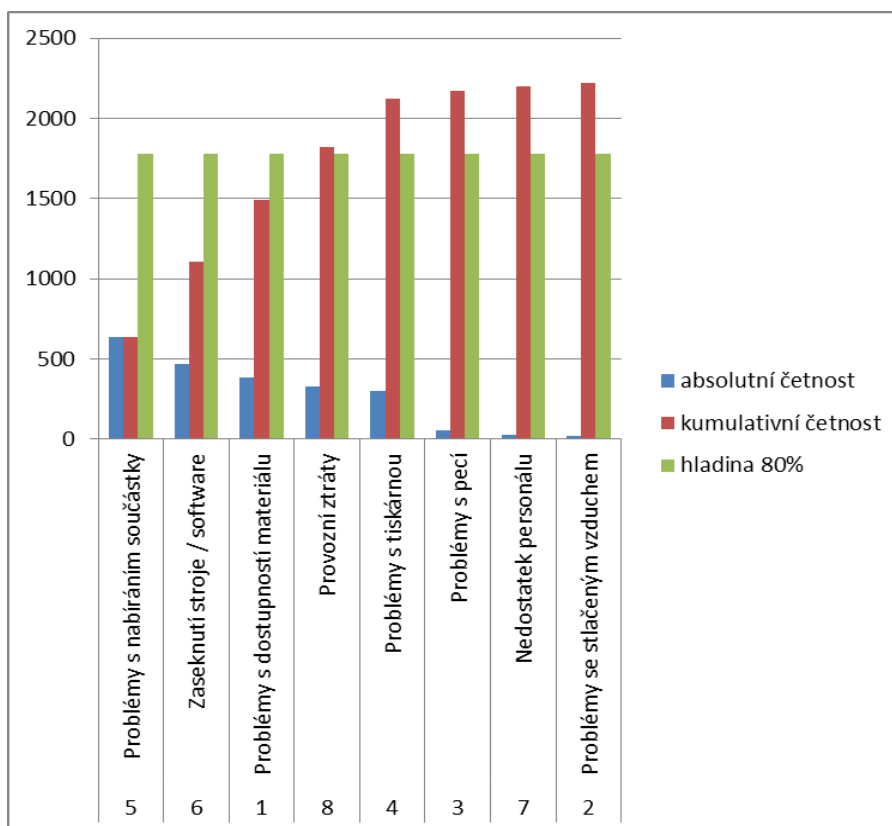
	id	Ztráta	absolutní četnost	kumulativní četnost	hladina 80%
SMT 3	4	Problémy s tiskárnou	604	604	1867,37
	8	Provozní ztráty	543	1147	1867,37
	5	Problémy s nabíráním součástky	413	1560	1867,37
	7	Nedostatek personálu	363	1923	1867,37
	6	Zaseknutí stroje / software	226	2150	1867,37
	3	Problémy s pecí	124	2273	1867,37
	1	Problémy s dostupností materiálu	51	2324	1867,37
	2	Problémy se stlačeným vzduchem	10	2334	1867,37
	pozn.	*technické problémy			



Graf 2 Pareto diagram pro linku SMT1

Tabulka 5 Paretova analýza problémů na lince SMT4

	id	Ztráta	absolutní četnost	kumulativní četnost	hladina 80%
SMT 4	5	Problémy s nabíráním součástky	635	635	1778,37
	6	Zaseknutí stroje / software	470	1105	1778,37
	1	Problémy s dostupností materiálu	386	1491	1778,37
	8	Provozní ztráty	330	1822	1778,37
	4	Problémy s tiskárnou	299	2121	1778,37
	3	Problémy s pecí	53	2174	1778,37
	7	Nedostatek personálu	28	2202	1778,37
	2	Problémy se stlačeným vzduchem	21	2223	1778,37
	pozn.	*technické problémy			



Graf 3 Pareto digram k lince SMT1

[9]

Z následujících grafů a tabulek plyne společný závěr pro všechny linky. Nejčastější problémy jsou definovány níže:

1. **Problémy s nabíráním součástky** – jedná se o technický problém způsobený podavači. Jelikož dochází k mechanickému posunu pásky se součástkami vedených po perforovaných dírách, může nastat situace, kdy ne zcela přesně dojde k „odkrokování“. Řešením by byla koupě novějších modernějších a spolehlivějších feederů.
2. **Problém s dostupností materiálu** - tento problém je jednoduchý. Způsobuje jej nejčastěji skutečnost, kdy zásobník součástek je vyčerpán a čeká se na jeho doplnění. Snahou řešení problému tedy bude maximální možné zkrácení času výměny. S tím souvisí dostupnost součástek jak z hlediska uspořádání pracoviště, tak i zlepšení povědomí operátorů (vizuálním) o docházejících součástkách v podavačích. Může samozřejmě dojít i k situaci, kdy chybí prázdné panely již v loaderu na začátku linky. K této situaci může dojít ve chvíli, kdy je jeden operátor na konci linky zaměstnán odběrem hotových DPS a jejich štítkováním a druhý operátor kontrolou osazení před následným zapájením v peci. Pokud jsou na lince operátoři dva, může takto v extrémním případě dojít k „vyhladovění“ loaderu na začátku, tiskárna čeká a následně poté celá linka se zpomalí.
3. **Problémy s tiskárnou** – po konzultaci s technikem SMT linek vyšlo najevo zjištění, že dochází k problému při tisku, kdy po něm dochází k 2D inspekci. Často se bohužel ve spěchu operátorům podaří, že panely do tiskárny jsou vloženy otočené o 180°. Tiskárna samozřejmě poté ohlásí neshodu se vzorem nahraným v programu. Snahou tedy bude najít takové řešení, aby se taková situace maximálně eliminovala.
4. **Provozní ztráty** – zde se jedná především o náhodné problémy spjaté především se stroji. Může dojít k situaci, že se neumístí součástka, na šabloně v tiskárně vlivem zalepení otvoru dojde k nenanesení pasty apod. Tyto jevy vykazují velice náhodný charakter a jejich eliminace je prakticky nemožná. V případě tiskáren existuje kontrolní mechanismus, který již existuje. Operátor má za úkol každých 5 minut zkontrolovat stav pasty a šablony v tiskárně.

5.4 Návrhy variant řešení

Podle výsledků analýzy současného stavu došlo k prozkoumání několika možností řešení z hlediska uspořádání pracoviště, počtu operátorů a vytvoření nástrojů pro rozložení výroby do jednotlivých linek.

5.4.1 Layout

Zkoumána bude možnost zařazení do linky tzv. buffer-stacků místo unloaderů za jednotlivými pecemi. Unloadery v současné době mají každý kapacitu schopnou pojmout pouze 3 hotové osazené panely. Tyto panely musí být poté odstraněny operátorem na odkládací stůl, aby mohla pec pojmout další panely. Buffer-stacky mají schopnost pojmout vyšší počet hotových panelů (v simulacích uvažujeme 20 ks). Tímto by se snížila četnost operace odebrání hotových panelů. Nasazení těchto strojů se ale bude zkoumat spíše pouze teoreticky. Firma nechce v současné době do vybavení linek významně investovat, proto by musel být výkonový přínos značný.

Jelikož osazovací automaty z linky SMT 1 a SMT 4 umožňují pojímání podavačů z obou stran strojů, bude zkoumáno zda současné seřazení linek z hlediska zásobování součástek je ideální z prostorových možností a přístupnosti k těmto podavačům.

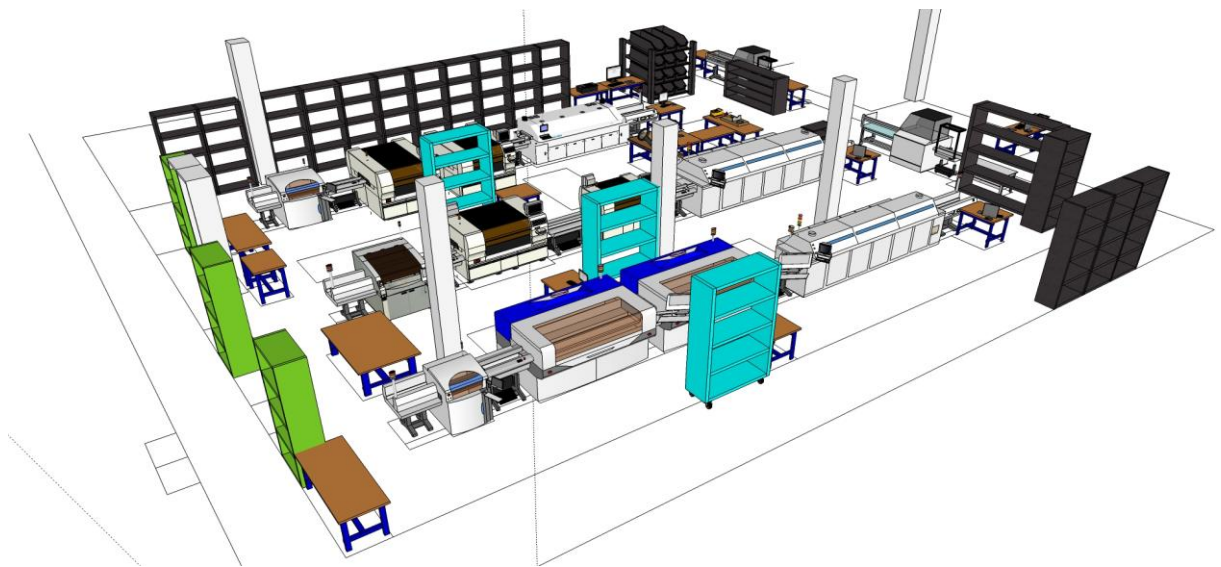
Další úpravou layoutu bude úprava regálů se součástkami a panely. Místo jednoho společného zdroje před začátkem všech linek se bude zkoumat možnost jednotlivých regálů se součástkami odpovídající produktovému obsazení jednotlivých linek. Tímto se zvýší kapacita součástek a zároveň sníží pravděpodobnost jejich absolutní nedostupnosti na pracovišti SMT.

Byly navrženy dvě možnosti úpravy rozložení výrobních linek a blízkého pracovního okolí. Vzhledem k četnosti operace doplňování součástek a panelů, která je dle tabulky četností operací nejvyšší, byla navrženy následující změny:

Návrh A:

- Přesun regálů přímo do prostorů před osazovací automaty – toto zkrátí vzdálenost operátorům, kterou musí urazit pro doplnění součástky. Problémem by mohlo být dodržení manipulačních prostorů před samotnými stroji (cca 60 cm před každým strojem). Abychom se vyvarovali problému, že regál bude tento prostor blokovat, byla navržena možnost zakoupení nových mobilních regálů na kolečkách, či pouze úprava stávajících jejich následnou montáží.
- Přiblížení regálů s panely blíže k loaderům před tiskárnami – opět se jedná

o zkrácení vzdálenosti pro nejčastější operaci.



Obrázek 5-1Návrh A (3D)

Návrh B:

- Výměna linek SMT3 a SMT4 – tento krok respektuje možnost vkládání součástek do osazovacích automatů. Vzhledem k tomu, že u linky SMT3 lze pouze doplňovat součástky z jedné strany (viz technické parametry linek), jeví se jako výhodnější řešení prohození těchto dvou linek. Dosáhne se tímto stavu, kdy operátoři linky SMT3 mají přehled nejen o své lince, ale mohou upozornit operátory z vedlejší linky SMT1 na docházející součástku. Obdobný princip se poté po přesunu opakuje mezi linkou SMT1 a SMT4. Linka SMT4 disponuje nejvýkonnějšími osazovacími automaty, a proto se může odvrácenost jedné strany směrem ven od výroby (nastavená pouze k regálům s nadvyrobenými kusy DPS) stát příčinou pozdní registrace chybějící součástky operátorem.
- Přesun programovacích stolků a jejich sloučení – přesunem linek došlo k uvolnění většího prostoru za linkou SMT3 (nově po přesunu za linkou SMT4), kam lze přesunout oba programovací stoly a sloučit tak proces programování na jedno pracoviště. Jelikož se za linkou SMT1 programovaly zvláště čipy na počítači, který řídil zároveň i chod osazovacích strojů této linky, docházelo často k časovým prostojům těchto automatů způsobeným právě jejich programováním. Proto návrh počítá s přesunem programátoru na čipy na nově sloučené stoly za linkou SMT4 (po jejím přesunu).



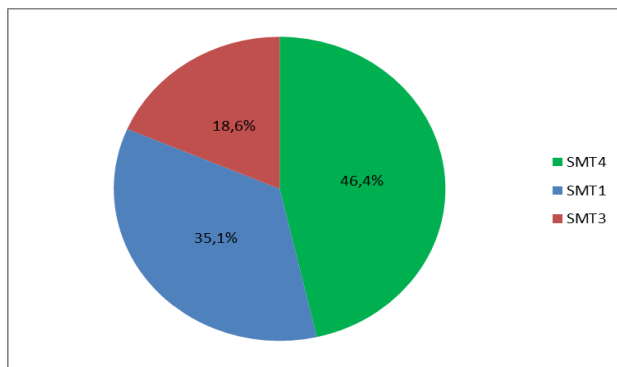
Obrázek 5-2 Návrh B (3D)

5.4.2 Rozložení produktů do linek

Rozložení panelů do linek proběhlo následujícím způsobem. Jelikož každá linka má různý výkonnostní parametr především omezený výkonem osazovacích strojů cph (= components per hour) udaný výrobcem, byla vytvořena sekvence pro osazování panelů v souladu s jejich výkonem. Následující graf a tabulka ukazují procentuální výkon výroby každé linky (podle technických parametrů osazovacích strojů).

Tabulka 6 – výkony osazovacích automatů na linkách

Osazovací automaty souhrnně		
Linka	cph	podíl k celkové výkonnosti
SMT4	22500	46,4%
SMT1	17000	35,1%
SMT3	9000	18,6%
Součet	48500	100,00%



Graf 4 – procentuální podíl výkonu výroby na výrobních linkách

Myšlenka přiřazení panelů k linkám je následující. Nejprve je potřeba určit počet osazených součástek na panel. Podle této hodnoty se stanoví panel s maximálním počtem součástek a vzhledem k němu se opět poměrem budou určovat procentuálně počty součástek. Spektrum přiřazených linek podle počtu součástek by mělo odpovídat spektru výkonnosti.

- **Příprava podkladů**

Výrobní linkou fyzicky prochází panel nikoli deska plošného spoje. Jinými slovy, na jednom panelu bývá zpravidla najednou více DPS. Jelikož ve firmě doposud neexistovala relační databáze součástek a panelů, ale pouze seznam DPS a součástek na ní vytvořený v prostředí MS Excel ve dvou sešitech dle výrobních řad, bylo potřeba sešity spojit v jeden celek. Struktura tohoto sešitu byla následující. Panel k DPS byl přiřazen k desce jako jedna ze vstupujících součástek (materiál) a z počtu kusů panelu na desku lze odvodit, kolik desek na panelu je. Například: Je-li panel na desce v zastoupení 0,125 ks znamená to, že na panelu se vyskytuje 8 DPS ($=1/0,125$).

1	A	C	D	E	F	G
	DPS	Díl	Popis	Množství	pcs	Jednot
1484	097 644 16 222	026 103	RESISTOR: 10K 0.1W 1% 0805	1,00	0	EA
1485	097 644 16 222	026 104	RESISTOR: 100K 0.1W 1% 0805	8,00	0	EA
1486	097 644 16 222	037 476	CAP: 47u 16v Alu 20% D5.0mm H5	1,00	0	EA
1487	097 644 16 222	042 002	DIODE: Sg,70V,0.1A,Sot23,BAV70	2,00	0	EA
1488	097 644 16 222	042 016	DIODE: IR, RX up looker,Vishay VBP	4,00	0	EA
1489	097 644 16 222	051 062	TRN: SS,PNP, 50V,100mA,Sot23,BC	1,00	0	EA
1490	097 644 16 222	073 318	HEADER: 10x 1mm,Male,Au=10u", F	1,00	0	EA
1491	097 644 16 222	073 319	HEADER: 10x 1mm,Female,Au=10u"	1,00	0	EA
1492	097 644 16 222	081 166	IC: MUX,DEMUX,8In,Analogue,SO16	1,00	0	EA
1493	097 644 16 222	098 644 242	PCB-PNL: 6440,14mm,RX32,Mid-R2,	0,17	0	EA
1494	097 644 16 222	026 103	RESISTOR: 10K 0.1W 1% 0805	1,00	0	EA
1495	097 644 16 221	026 104	RESISTOR: 100K 0.1W 1% 0805	8,00	0	EA
1496	097 644 16 221	037 476	CAP: 47u 16v Alu 20% D5.0mm H5	1,00	0	EA
1497	097 644 16 221	042 002	DIODE: Sg,70V,0.1A,Sot23,BAV70	2,00	0	EA
1498	097 644 16 221	042 016	DIODE: IR, RX up looker,Vishay VBP	4,00	0	EA
1499	097 644 16 221	051 062	TRN: SS,PNP, 50V,100mA,Sot23,BC	1,00	0	EA
1500	097 644 16 221	073 318	HEADER: 10x 1mm,Male,Au=10u", F	1,00	0	EA
1501	097 644 16 221	073 319	HEADER: 10x 1mm,Female,Au=10u"	1,00	0	EA
1502	097 644 16 221	081 166	IC: MUX,DEMUX,8In,Analogue,SO16	1,00	0	EA
1503	097 644 16 221	098 644 241	PCB-PNL: 6440,14mm,RX32,Mid-R1,	0,17	0	EA

Obrázek 5-3 struktura původního seznamu součástek

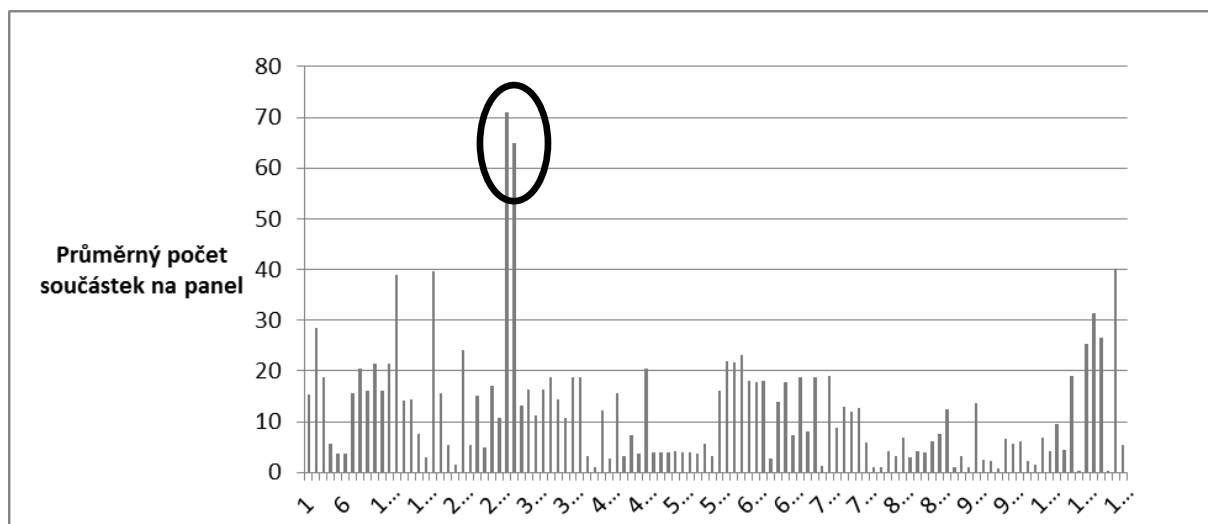
Dalším zdrojem informací byl seznam informující o vazbě DPS a jejich počtu na panel z databáze MS Access o průběhu výroby. Pomocí funkcí v souladu s výkonností linek se mohla určit primární, sekundární a terciální linka pro panel. Pro panel proto, že právě panel fyzicky prochází výrobní linkou a jednotlivé DPS se z panelů odstřihávají až později.

- **přiřazení panelů linkám**

Jak již bylo naznačeno, přiřazení panelů linkám bude odpovídat počtu součástek na panel a výkonnosti osazovacích automatů. Jelikož jednotlivý panel může být osazen různými

variantami DPS dle přání zákazníka, nelze toto číslo nikdy zcela přesně plošně pro panel určit. Bude se tedy pracovat s průměrným počtem součástek na panel.

Při prvním pokusu o přiřazení došlo k situaci, kdy díky dvěma DPS s enormním množstvím osazených součástek oproti zbytku nebylo rozvržení panelů do linek příliš rovnoměrné, a to sice pro linku SMT1 11 panelů, SMT3 95 a pro linku SMT4 6 panelů.



Obrázek 5-4 Vyčnívající problematický počet součástek

Linka SMT3 ale patří k nejméně výkonné. Proto bylo nutné nezapočítat 2 tyto extrémní případy a přiřazení provést znovu. Nový výsledek poté nabídl rovnoměrnější rozložení. Pro linku SMT1 bylo primárně určeno 22 typů panelů, pro SMT3 58 a pro SMT 4 32. Výsledné rozložení lze nalézt v souboru PrirazeniLinek.xls (součást příloh).

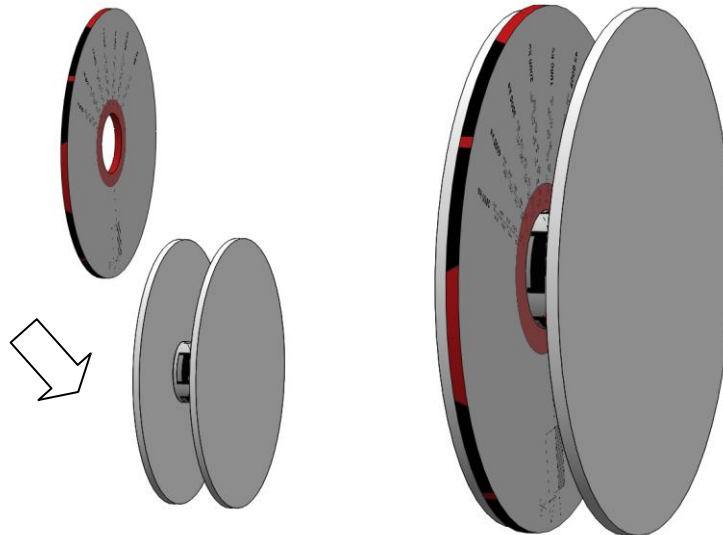
5.4.3 Procesní přístup

- Výrobní procesy

Jedním bodem bude snaha zjistit optimální obsazení linek určitým počtem operátorů. Simulací se vyhodnotí současný počet operátorů oproti stavu, kdy operátor chybí, ale i možnost přidání operátorů. Zkoumat se bude jejich procentuální časová vytíženost pomocí softwaru Arena od firmy Rockwell Software.

Dalším bodem zkoumání pomocí simulace bude změna nositele odpovědnosti za proces měření součástek RLC. Jelikož předák je zodpovědný za přísun materiálu a operátoři za chod linky, bude zkoumána možnost přeměrování hodnot RLC součástek přímo předákem ve chvíli, kdy součástky donášší ze skladu najednou. Tímto dojde k eliminaci stavu, kdy operátor je zdržován při doplnění měřením, a především k situaci, kdy je otočen zády k výrobní lince (platí pro všechny výrobní linky).

Mezi nové návrhy patří taktéž úprava papírových měrek součástek tak, aby se mohly zakládat spolu se založenými součástkami. Hlavní změnou bude jejich vizuální změna, kdy se určí kritická barevně (červeně) zvýrazněná hranice značící blížící se proces výměny součástky. Jedná se tedy o nový vizualizační nástroj podle přístupu filozofie 5S.



Obrázek 5-5 Vizualizace docházejících součástek v zásobníku

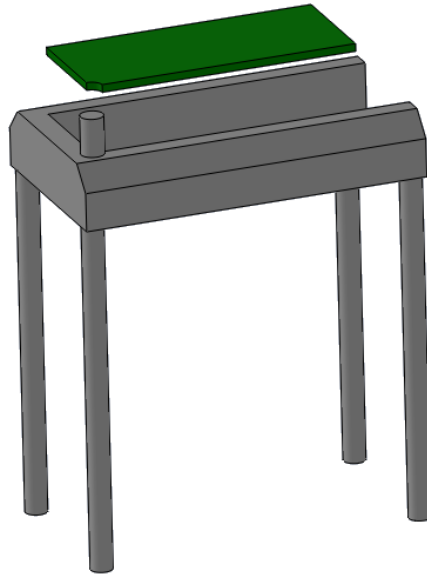
- **Přestavba**

Prvním návrhem je zvýšení flexibility změnou plánování. Místo týdenního plánování by měl předák plánovat výrobu vždy na každou následující směnu. K tomu, aby byl schopen snadněji plánovat, byla vytvořena databáze v MS Access (soubor CHO.accdb), která pomocí dvou dotazů automaticky zjistí počet a typ shodných součástek na sebe navazujících DPS ve výrobě, a především počet a typ součástek nutných k přípravě na přestavbu. Tím, že se plánuje pouze na následující směnu, lze vyzkoušet různé kombinace DPS za sebou (kombinací nebude zdaleka tolik, jako při týdenním plánování). Takto se snáze určí ideální sekvence výroby DPS v linkách. Plán by poté neměl obsahovat pouze vytištěné průvodky, ale i vytištěný seznam sekvencí výroby za sebou včetně součástek nutných k přípravě.

5.4.4 Technická řešení

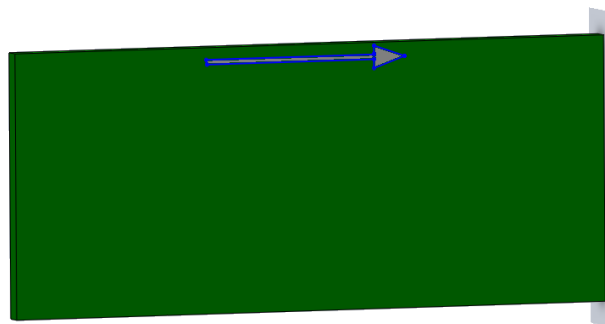
Problém se špatným zakládáním desek do loaderů zjištěný z Paretovy analýzy by mohl vyřešit nový design panelů s vyvrtaným otvorem na jedné straně panelů. Toto řešení by bylo u všech panelových řad a vzdálenost tohoto otvoru od okraje by respektovalo orientaci vzhledem ke straně dopravníku, která se z hlediska upravování jeho šíře nemění. Naproti

tomu by po zavedení této změny došlo i k designové úpravě samotného loaderu takovým způsobem, že by naproti otvoru na desce došlo k vytvoření a přichycení protichůdného dílu. Tímto způsobem by se zabránilo možnosti vložení dílu obráceně do loaderu. Jednalo by se o jednoduché řešení podle filozofie poka-yoke.



Obrázek 5-6 Poka-yoke řešení (blokace opačného založení panelu do loaderu)

Pokud by úprava loaderu byla příliš problematická a prodražila výrazně výrobu panelů (přidáním operace frézování v rohu), je druhou možností alespoň vizualizace. Princip vizualizace by spočíval v naznačení směru průchodu výrobní linkou v potiskové vrstvě desky. Obě úpravy by vyžadovaly změny ve výkresech panelů. Avšak tyto změny by byly stejné a snadno opakovatelné (okopírovatelné z jednoho návrhu na druhý).

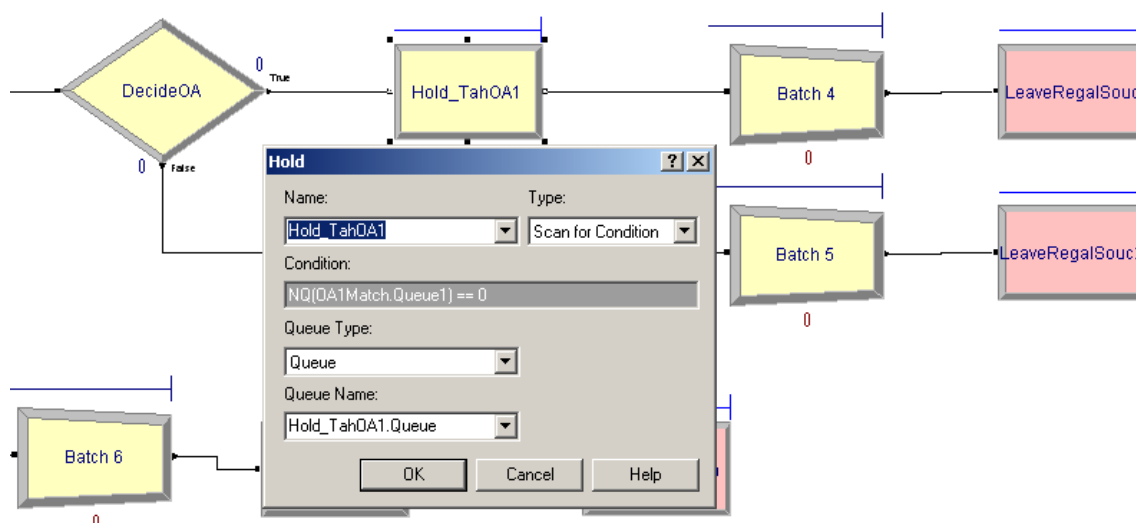


Obrázek 5-7 Vizualizace směru založení panelu

5.5 Diskrétní simulace výrobního procesu

5.5.1 Tvorba simulací

Podle naměřených časů, distancí z layoutu a výkonnosti jednotlivých strojů byly vytvořeny diskrétní simulace v softwaru Arena. Jelikož software Arena je původně koncipován na tlakový systém, musel se uměle vytvořit systém tahu. Entity v programu Arena totiž vznikají vždy podle zadaného časového rozložení pomocí objektu CREATE. Proces doplňování má však charakter tahu, jelikož vzniká potřeba doplnění součástek či panelů až na základě chybějícího materiálu v lince. Proto se musel systém vzniku požadavku odebírání součástek ze stanice regálu pozdržet pomocí funkce HOLD. V této funkci se poté nastavil propouštěcí parametr na požadavek přesunu materiálu v momentu, kdy fronta (zásoba) materiálu v daném stroji (loaderu nebo osazovacím automatu) byla nulová. Tím vznikne požadavek na přesun operátorem až teprve ve chvíli, kdy opravdu dojde materiál.



Obrázek 5-8 Tvorba tahového systému pomocí objektu HOLD v softwaru Arena

Pro stanovení dávek materiálu bylo využito četností operací doplňování na DPS z interních materiálů společnosti Memco. Díky četnostem činnosti doplňování součástek bylo možné určit dávku entit součástek na každou entity panelů. Dávky byly zajištěny pomocí objektu BATCH, který hromadí entity do požadovaného množství a poté posléze posílá celou dávku modelem dále. Entity je pak z dávky potřeba rozdělit objektem SEPARATE. Montáž byla posléze v osazovacích automatech provedena pomocí objektu MATCH na spojování entit.

Pro rozdělení součástek na ty, které je nutno změřit, byl použit objekt DECIDE.

Ten umožní rozhodnout kolik procent entit se vydá dvěma různými směry v modelu dále.

Pro výkony strojů byly využity technické parametry a průměrný počet součástek k osazení na panel.

Pro simulaci pohybu operátorů pak bylo využito možnosti objektu TRANSPORTER. Dle naměřených distancí z výkresů layoutu byly pro tyto objekty vytvořeny řady DISTANCE ROWS. Transportér byl poté vyžadován vždy pro přesun entit z příslušných stanovišť v objektu LEAVE. Takto simulovaný operátor po transportu entity nebyl pak na další stanici uvolněn automaticky, ale až po proběhnutí procesu (např. doplnění součástky) pomocí objektu FREE.

Celé schéma modelu na příkladu simulace linky SMT3 je uvedeno v příloze D.

The screenshot displays the 'Leave' dialog box in the Arena software. The dialog is configured with the following settings:

- Name: LeaveRegalPan
- Allocation: Value Added
- Delay: 0
- Units: Hours
- Logic:
 - Transfer Out: Request Transporter
 - Priority: High (1)
 - Queue Type: Queue
 - Queue Name: LeaveRegalPan.Queue
 - Transporter Name: Operator1
 - Selection Rule: Smallest Distance
 - Save Attribute: (empty)
- Connect Type: Transport
- Station Type: Station
- Station Name: EnterLoader.Station

Below the dialog, the 'Distance - Advanced Transfer' table is visible, showing the following data:

ID	Name	Stations	Beginning Station	Ending Station	Distance
1	Operator1.Distance	55 rows	StationRegalPan	EnterLoader.Station	60
2			EnterRLC.Station	StationRegalPan	52
3			StationRegalSouc	EnterRLC.Station	25
4			EnterRLC.Station	EnterLoader.Station	37
5			EnterRLC.Station	EnterOA1a.Station	74
6			EnterRLC.Station	EnterOA2a.Station	109

Obrázek 5-9 Nastavení transportu a distancí v softwaru Arena

5.5.2 Výsledky simulací

Simulace potvrdily užitečnost navrhovaných řešení. Následující tabulky ukazují výsledky různých variant nastavení. Varianty určuje počet operátorů, jejich odpovědnost za měření RLC součástek (ano/ne), varianta koncového stupně linky s unloaderem pobírajícím 3 ks hotových panelů z pece a nebo buffer-stackem (20 ks). Po odsimulování současného stavu se už dále simulovalo pouze s ideálním počtem operátorů na linkách podle jejich časové vytíženosti. Doba běhu simulace byla 15 hodin, což odpovídá dvěma výrobním směnám s uvážením zákonem daných přestávek, avšak bez uvážení přestaveb.

- **Linka SMT1**

Tabulka 7 Výkony linky SMT1 při současném layoutu (černě aktuální stav)

linka	layout	operátorů	rlc	unl/uns	využití operátorů	výkon	nárůst
SMT1	současnost	1	ano	unloader	90%	153	0,00%
SMT1	současnost	2	ano	unloader	51%	153	0,00%
SMT1	současnost	3	ano	unloader	37%	153	0,00%
SMT1	současnost	1	ne	unloader	99%	159	3,92%
SMT1	současnost	2	ne	unloader	67%	159	3,92%
SMT1	současnost	3	ne	unloader	59%	159	3,92%
SMT1	současnost	1	ano	buff	87%	155	1,31%
SMT1	současnost	2	ano	buff	51%	155	1,31%
SMT1	současnost	3	ano	buff	35%	155	1,31%
SMT1	současnost	1	ne	buff	93%	159	3,92%
SMT1	současnost	2	ne	buff	69%	159	3,92%
SMT1	současnost	3	ne	buff	65%	159	3,92%

Tabulka 8 Výkony linky SMT1 při layoutu dle návrhu A

linka	layout	počet operátorů	rlc	unl/uns	využití operátorů	výkon	nárůst
SMT1	A	2	ano	unloader	73%	156	1,96%
SMT1	A	2	ne	unloader	69%	159	3,92%
SMT1	A	2	ano	buff	61%	159	3,92%
SMT1	A	2	ne	buff	64%	159	3,92%

Tabulka 9 Výkon linky SMT1 při layoutu dle návrhu B

linka	layout	počet operátorů	rlc	unl/uns	využití operátorů	výkon	nárůst
SMT1	B	2	ano	unloader	74%	156	1,96%
SMT1	B	2	ne	unloader	70%	159	3,92%
SMT1	B	2	ano	buff	63%	159	3,92%
SMT1	B	2	ne	buff	60%	159	3,92%

- Linka SMT3

Tabulka 10 Výkony linky SMT3 při současném layoutu (černě aktuální stav)

linka	layout	operátorů	rlc	unl/ buff	využití operátorů	výkon	nárůst
SMT3	současnost	1	ano	unloader	98%	158	1,28%
SMT3	současnost	2	ano	unloader	77%	156	0,00%
SMT3	současnost	3	ano	unloader	61%	156	0,00%
SMT3	současnost	1	ne	unloader	99%	159	1,92%
SMT3	současnost	2	ne	unloader	71%	159	1,92%
SMT3	současnost	3	ne	unloader	63%	159	1,92%
SMT3	současnost	1	ano	buff	98%	150	-3,85%
SMT3	současnost	2	ano	buff	72%	159	1,92%
SMT3	současnost	3	ano	buff	62%	159	1,92%
SMT3	současnost	1	ne	buff	94%	159	1,92%
SMT3	současnost	2	ne	buff	69%	159	1,92%
SMT3	současnost	3	ne	buff	62%	159	1,92%

Tabulka 11 Výkon linky SMT3 při layoutu dle návrhu A

LINKA	layout	počet operátorů	rlc	unl/ buff	využití operátorů	výkon	nárůst
SMT3	A	2	ano	Unloader	49%	158	1,28%
SMT3	A	2	ne	Unloader	47%	156	0,00%
SMT3	A	2	ano	Buff	36%	158	1,28%
SMT3	A	2	ne	Buff	38%	159	1,92%

Tabulka 12 Výkon linky SMT3 při layoutu dle návrhu B

LINKA	layout	počet operátorů	rlc	unl/ buff	využití operátorů	výkon	nárůst
SMT3	B	2	ano	unloader	46%	158	1,28%
SMT3	B	2	ne	unloader	45%	159	1,92%
SMT3	B	2	ano	Buff	40%	158	1,28%
SMT3	B	2	ne	Buff	43%	159	1,92%

- Linka SMT4

Tabulka 13 Výkony linky SMT4 při současném layoutu (černě aktuální stav)

linka	layout	operátorů	rlc	unl/ buff	využití operátorů	výkon	nárůst
SMT4	současnost	1	ano	Unloader	99%	159	0,00%
SMT4	současnost	2	ano	Unloader	85%	159	0,00%
SMT4	současnost	3	ano	Unloader	75%	159	0,00%
SMT4	současnost	1	ne	Unloader	99%	159	0,00%
SMT4	současnost	2	ne	Unloader	80%	159	0,00%
SMT4	současnost	3	ne	Unloader	68%	159	0,00%
SMT4	současnost	1	ano	Buff	98%	159	0,00%
SMT4	současnost	2	ano	Buff	75%	160	0,63%
SMT4	současnost	3	ano	Buff	79%	160	0,63%
SMT4	současnost	1	ne	Buff	99%	160	0,63%
SMT4	současnost	2	ne	Buff	81%	160	0,63%
SMT4	současnost	3	ne	Buff	76%	161	1,26%

Tabulka 14 Výkon linky SMT4 při layoutu dle návrhu A

LINKA	layout	počet operátorů	rlc	unl/buff	využití operátorů	výkon	nárůst
SMT4	A	3	ano	unloader	78%	160	0,63%
SMT4	A	3	ne	unloader	66%	161	1,26%
SMT4	A	3	ano	Buff	67%	160	0,63%
SMT4	A	3	ne	Buff	79%	161	1,26%

Tabulka 15 Výkon linky SMT4 při layoutu dle návrhu B

LINKA	layout	počet operátorů	rlc	unl/buf	využití operátorů	výkon	nárůst
SMT4	B	3	ano	unloader	63%	160	0,63%
SMT4	B	3	ne	unloader	80%	161	1,26%
SMT4	B	3	ano	Buff	70%	160	0,63%
SMT4	B	3	ne	Buff	78%	161	1,26%

5.6 Doporučení pro praxi

5.6.1 Layout

Z hlediska rozložení linek ukázaly simulace, že nejvýhodnějším návrhem je skutečně návrh B. Simulace ukázaly nárůst výkonu u linek SMT1 o 3,92%, SMT3 o 1,92% a SMT4 o 1,26% při převedení procesu měření RLC součástek na předáka. Vliv upozornění na docházející součástky z druhé strany osazovacích automatů od vedlejší linky by mohl být ještě dalším přínosem. Toto rozložení by navíc umožnilo získání prostoru za přesunutou linkou SMT4, který lze využít ke spojení všech míst k programování desek a čipů. Tím, že se programování čipů přesune do tohoto prostoru, nebude docházet k zasekávání softwaru na počítači, který dříve ovládl jak programátory, tak chod osazovacích automatů na lince SMT1. Simulace též prokázaly, že investování do buffer-stacků se nevyplatí. Obdobných výkonových výsledků linek bylo dosaženo po úpravě operací a layoutu i při průběžném odebírání a štítkování po 3 odebraných kusech.

5.6.2 Procesní přístup

- výroba

Nový procesní návrh počítá s tahovým přístupem doplňování součástek do regálů. V regálech umístěných přímo u linek (dle nových variant layoutu) budou součástky v kotoučích umístěny na konkrétních pozicích označených kanbanovou kartičkou s typem součástky a označením linky. V současné době předák chodí do skladu pro potřebný materiál na výzvu operátorů. Nový kanbanový tahový systém zajistí stav, kdy předák nemusí komunikovat ani s operátory, ale automaticky podle prázdného místa regálu vyjme kartičku s odpovídajícím typem chybějícího kotouče se součástkami. Tuto činnost by měl pravidelně provádět ze všech linek najednou, aby se snížil počet nutných cest do skladu (vzdálenost, kterou musí předák ujít je více než 60 metrů a časové zdržení je tedy značné). Existuje samozřejmě skutečnost, že se v osazovacím automatu nespotřebuje vždy kompletní zásobník součástek a ten se poté po výrobě určitého typu vrací zpět do regálů. Aby nedošlo k situaci, že již byl zásobník doplněn a blokovala místo pro zásobník vrácený, bude se z bloků v regálech sbírat až teprve úplně prázdný zásobník. Jelikož prázdné plastové zásobníky se jako odpad odnáší následně stejně do centrálního skladu ke třídění, dojde ke sloučení dvou operací v jednu.

Pro zlepšení povědomí o docházejících součástkách v zásobnících byly dle filozofie 5S navrženy po úpravě měrek součástek papírové vložky do zásobníků s barevně vyznačenou

kritickou hranicí docházejících součástek. Dalším doporučením, které pomůže s problematikou zakládání otočených panelů do loaderů před tiskárnou je poka-yoke blokovací návrh panelu a úpravy loaderu.

Počet operátorů je v současné době nastaven ideálně, simulace neprokázaly potřebu jej dle jejich vytížení měnit.

- **Přestavba**

Prvním pomocným nástrojem pro přestavbu je vytvořená databáze s dotazy na počet shodných a rozdílných součástek dvou různých DPS. To umožní odladit návaznost přestaveb díky porovnávání jednotlivých variant návazností.

Dle filozofie SMED se dělí operace při přestavbách na interní (nutné podniknout za běhu stroje) a externí, které lze připravit ještě během jeho chodu před přestavbou. Pokud bude mít operátor takovýto seznam, může si předem připravit potřebné součástky. Dříve byla tato operace prováděna bohužel často až při zastaveném stroji, což znamenalo zbytečné plýtvání časem. Proto se navrhuje, aby se s přípravou nových součástek začínalo průběžně ihned po vyrobení prvního hotového kusu současné výroby. Samozřejmostí je poté nastavování nových operací ve smyslu směru výroby Nejprve úpravou šířky loaderů, poté založení nové šablony do tiskárny (během zakládání už by měl druhý operátor provádět doplňování součástek do osazovacích automatů) atd. směrem k přetavovací peci.

- **Tabulka 16 Převedení interních operací na externí při přestavbě na strojích Europlacer**

Číslo	Proces	Interní / Externí	Vzdálenost [m]	Čas [s]
1	Dojít pro průvodku	EXT	55	60
2	Dojít pro šablonu na nový produkt	EXT	8	35
3	Odstranit pastu z tiskárny	EXT	2	60
4	Vyndat šablonou z tiskárny	EXT	2	45
5	Vyčistit šablonu	EXT	0	90
6	Založit novou šablonu do tiskárny	EXT	4	60
7	Odnést nepoužívanou šablonu	EXT	8	30
8	Nastavit tiskárnu pro nový produkt	EXT	12	480
9	Upravit šířku dopravníků	INT	28	150
10	Upravit šířku dopravníků v OA	INT	6	90
11	Nahrát příslušný program do OA	INT	0	40
12	Zjistit přítomnost potřebných součástek v OA	INT	2	240
13	Dojít pro chybějící součástky	EXT	32	35
14	Vybrat potřebné součástky	EXT	0	5
15	Založit potřebné součástky do OA	INT	0	60
16	Nastavit teplotní profil pece (nahrát program)	INT	0	40
17	Odnést nepotřebné součástky	EXT	22	20
18	Uložit nepotřebné součástky do skladovacích regálů	EXT	0	5

Závěr

Překládaná práce nejprve shrnula výhody technologie výroby povrchové montáže ve srovnání s klasickou technologií THT. Byly popsány její aspekty, technologická řešení a možnosti sestavení výrobních celků pro SMT výrobu.

Další část se teoreticky zabývala otázkou procesního řízení ve výrobních podnicích a především pak trendy a nástroji, které se používají v souvislosti s filozofií štíhlé výroby, jejímž účelem je eliminace plýtvání, vytvoření flexibilního a efektivního moderního podniku.

Nejdůležitější přínos práce ovšem spočívá v praktické části diplomové práce. Tou je případová studie vytvořená na základě spolupráce se společností Memco s r. o. České Budějovice. Ve firmě byla posbírána a změřena data potřebná k popisu současného stavu společnosti, ale zároveň i k novým návrhům pro zlepšení procesů místní výroby DPS. Byly zmapovány veškeré procesy probíhající na výrobních linkách, změřena jejich časová náročnost a z vyměřeného layoutu poté distance pohybu operátorů.

V kombinaci s daty o výrobě došlo k analýze současného stavu a díky Paretově analýze k odhalení životně důležitých problémů k řešení. Problémy s tiskárnami by se měly řešit pomocí navrhované poka-yoke blokovací zábrany u loaderu. Problémy s dostupností materiálu poté řeší přesun regálů se součástkami a panely. Přesun regálů zohledňuje manipulační prostory strojů. Byla tedy navržena jejich úprava pomocí dodatečné montáže koleček, která umožní v případě potřeby manipulace se stroji, se s regály vyhnout a manipulační prostory strojů se uvolní. Nově navrhovaný tahový systém pro doplňování součástek by měl zautomatizovat tento proces.

Převedení operace měření hodnoty RLC součástek na předáka umožní zamezit nežádoucí stav, jako je otočení operátorů zády k lince. Eliminuje se zároveň i časové zdržení operací, která nesouvisí přímo s výrobní linkou.

Z návrhu layoutů a následujících diskrétních simulací výrobního systému provedených pomocí softwaru Arena plyne, že investice do buffer-stacků, které by umožňovaly odebírání hotových panelů ve větších dávkách, se nevyplatí. Nárůst výkonu linek byl zanedbatelný a stejného výsledku bylo dosaženo pouhou úpravou layoutu a přiblížením regálů zapojených do nejčastějších operací (doplňování materiálů). Průběžné odebírání a štítkování po 3 kusech totiž nezdrží operátora na tak dlouho dobu, a je tedy schopen dříve reagovat na jiné podněty z linky, než kdyby byl zaměstnán štítkováním celé dávky 20 ks panelů.

Jako nejvýhodnější volba rozložení layoutu se dle očekávání jeví návrh B. V tomto návrhu lze vidět dle výsledků simulací zvýšení výkonu linek. Započteme-li

delegování měření RLC součástek předákem, je patrné zvýšení výkonu u linky SMT1 o 3,92%, SMT3 o 1,92% a SMT4 o 1,26%. Simulační modely přitom nezohledňovaly možnost spolupráce a upozornění operátorů vedlejších linek při docházení vstupního materiálu do osazovacích. To by mohl být další přínos výměny linek STM4 a SMT3 k celkovému výkonu. Tento layout umožní i spojení více programovacích pracovišť v jedno, čímž se sníží riziko zastavení osazovací automatů na lince SMT1. Na počítači, který právě řídí chod těchto automatů, se v současné době programovaly čipy, a to často vedlo k zastavení softwaru pro automaty.

Doporučený počet operátorů na linkách je následující. Pro linku SMT1 2 operátoři, SMT3 2 operátoři (případně i možnost jednoho), pro linku SMT4 3 operátoři. Čili se potvrdilo, že současné zastoupení u linek je již optimální. Snížení počtu operátorů v simulacích sice snížení výkonu linek neprokázalo, avšak jak lze vyčíst z časové vytíženosti operátorů, pracují pak tito na hranici svých možností (jejich relativní vytíženost se pohybuje od 85-90%). Taková vytíženost je dlouhodobě neunesitelná a při delším obdobném zatížení by mohla vést k únavě a ke snížení výkonnosti operátorů, a tudíž i následně s možným dopadem na výkonnost celé linky.

Na základě teoretické výkonnosti osazovacích automatů na jednotlivých linkách byl vytvořen seznam doporučených výrobních linek pro panely. Dalším vytvořeným nástrojem je nástroj porovnávající počet shodných a neshodných součástek pro přestavby při změně typu DPS ve výrobě.

Ekonomický přínos nemohl být vypracován, jelikož nebyly nastaveny identifikátory, pomocí nichž by jej bylo možné kvantifikovat. Očekávat ale lze zvýšení zisku odpovídající navýšení výkonu linek a snížení nákladů oprav spojené s vyřešeným problémem opačného zakládání panelů do linky.

Použitá literatura:

- [1] ABEL, Martin. *SMT Technologie povrchové montáže*. Pardubice: Platan, 2000. ISBN 80-902733-1-9.
- [2] STARÝ, Jiří a Petr KAHLE. Plošné spoje a povrchová montáž. In: *Plošné spoje a povrchová montáž* [online]. 2003 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/VIT/images/pdf/studijni_materialy/bc/Plosne_spoje_a_povrchova_montaz_S_P.pdf
- [3] SVOZILOVÁ, Alena. *Podnikové procesy: procesní řízení a modelování*. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2011, 223 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0.
- [4] ŘEPA, Václav. *Podnikové procesy: procesní řízení a modelování*. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007, 281 s. ISBN 978-80-247-2252-8.
- [5] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. 1. vyd. Praha: Alfa Publishing, 2006, 237 s. ISBN 80-868-5138-9.
- [6] BLECHARZ, Pavel. *Základy moderního řízení kvality*. 1. vyd. Praha: Ekopress, 2011, 122 s. ISBN 978-80-86929-75-0.
- [7] Doc.Ing. Václav Votava, CSc., Ing. Zdeněk Ulrych, Ph.D., Ing. Pavel Raška Ing. Petr Hořejší: *Simulace ve strojírenství*, ebook verze 2., Západočeská univerzita Plzeň, 2008.
- [8] Concepts of Printed Circuit Design. *University of Bolton: Online postgraduate courses for the electronics industry* [online]. 2005 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: http://www.ami.ac.uk/courses/ami4809_pcd/unit_01/
- [9] Výroba obrazce plošných vodičů. *SMT centrum: Služby v oblasti pájení a spolehlivosti povrchové montáže* [online]. 2010 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.smtcentrum.cz/vyroba-desek-plosnych-spoju/vyroba-obrazce-plosnych-vodicu/>
- [10] Typy pouzder SMD. *SMT centrum: Služby v oblasti pájení a spolehlivosti povrchové montáže* [online]. 2010 [cit. 2013-01-09]. Dostupné z: <http://www.smtcentrum.cz/pouzdra-smd/typy-pouzder-smd/>
- [11] Memco: About Memco. *Memco* [online]. 2011 [cit. 2012-11-23]. Dostupné z: <http://www.memco.co.uk/en/about-memco>
- [12] Workcells: The Heart of Lean Manufacturing. *Strategos Inc.* [online]. 2007 [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: http://www.strategosinc.com/cellular_manufacturing.htm

- [13] *Academy of Productivity and Innovations* [online]. 2012 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: www.e-api.cz
- [14] Toyota Production System. *Toyota: Toyota Material Handling CZ* [online]. [cit. 2013-04-09]. Dostupné z: <http://www.toyota-forklifts.cz/Cs/company/Toyota-Production-System/Pages/default.aspx>
- [15] Slovník: SMED. *Svět produktivity* [online]. 2012 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/>
- [16] Interní materiály firmy Memco s.r.o.

Přílohy

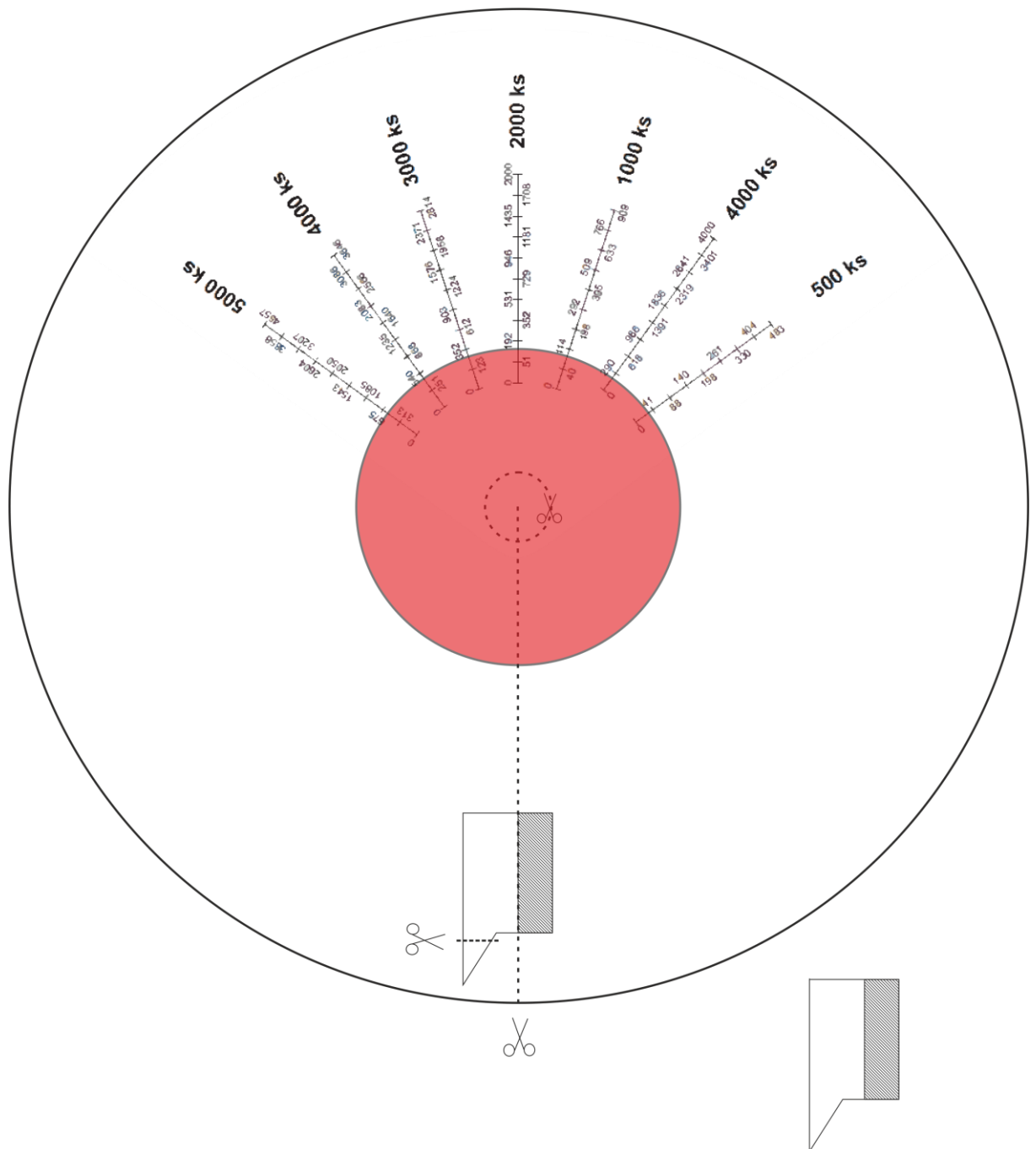
Příloha A – Přirazení do linek (PrirazeniLinek.xlsx)

Panel	SumOfKs na panelu	SumOfDPS krat Soucastky	počet DPS/pa nel	počet osazení	Rozdíl SMT4	Rozdíl SMT1	Rozdíl SMT3	Přiřazená linka		
								Pri	Sek	Terc
098 101 000	24	2965	8	15,4427	3,2101	1,3325	7,966	1	4	3
098 101 002	12	2052	6	28,5	9,8472	14,39	21,02	4	1	3
098 101 004	12	1350	6	18,75	0,0972	4,6398	11,27	4	1	3
098 101 010	20	2280	20	5,7	12,953	8,4102	1,777	3	1	4
098 101 014	60	6540	30	3,63333	15,019	10,477	3,844	3	1	4
098 101 015	60	6510	30	3,61667	15,036	10,494	3,861	3	1	4
098 101 018	6	558	6	15,5	3,1528	1,3898	8,023	1	4	3
098 101 019	6	738	6	20,5	1,8472	6,3898	13,02	4	1	3
098 101 020	6	582	6	16,1667	2,4861	2,0565	8,689	1	4	3
098 101 021	6	768	6	21,3333	2,6805	7,2231	13,86	4	1	3
098 101 022	6	582	6	16,1667	2,4861	2,0565	8,689	1	4	3
098 101 023	6	768	6	21,3333	2,6805	7,2231	13,86	4	1	3
098 101 024	6	702	3	39	20,347	24,89	31,52	4	1	3
098 101 030	12	1020	6	14,1667	4,4861	0,0565	6,689	1	4	3
098 101 031	12	1032	6	14,3333	4,3195	0,2231	6,856	1	4	3
098 101 041	12	540	6	7,5	11,153	6,6102	0,023	3	1	4
098 101 042	12	222	6	3,08333	15,569	11,027	4,394	3	1	4
098 102 001	6	1428	6	39,6667	21,014	25,556	32,19	4	1	3
098 102 004	6	564	6	15,6667	2,9861	1,5565	8,189	1	4	3
098 102 005	24	1584	12	5,5	13,153	8,6102	1,977	3	1	4
098 102 010	60	5600	60	1,55556	17,097	12,555	5,922	3	1	4
098 102 011	6	870	6	24,1667	5,5139	10,056	16,69	4	1	3
098 180 210	30	2220	14	5,28571	13,367	8,8245	2,191	3	1	4
098 450 200	4	120	2	15	3,6528	0,8898	7,523	1	4	3
098 452 210	4	80	4	5	13,653	9,1102	2,477	3	1	4
098 456 200	8	548	4	17,125	1,5278	3,0148	9,648	4	1	3
098 492 210	5	270	5	10,8	7,8528	3,3102	3,323	1	3	4
098 600 250	30	2130	1	71	52,347	56,89	63,52	4	1	3
098 600 252	12	780	1	65	46,347	50,89	57,52	4	1	3
098 632 250	474	37422	6	13,1582	5,4946	0,952	5,681	1	4	3
098 632 251	84	8286	6	16,4405	2,2123	2,3303	8,963	4	1	3
098 632 252	162	10806	6	11,1173	7,5355	2,9929	3,64	1	3	4
098 632 253	42	4146	6	16,4524	2,2004	2,3422	8,975	4	1	3
098 632 254	30	3396	6	18,8667	0,2139	4,7565	11,39	4	1	3

098 632 255	60	5142	6	14,2833	4,3695	0,1731	6,806	1	4	3
098 632 256	12	780	6	10,8333	7,8195	3,2769	3,356	1	3	4
098 632 257	6	672	6	18,6667	0,0139	4,5565	11,19	4	1	3
098 632 260	6	678	6	18,8333	0,1805	4,7231	11,36	4	1	3
098 632 261	6	120	6	3,33333	15,319	10,777	4,144	3	1	4
098 632 262	12	78	6	1,08333	17,569	13,027	6,394	3	1	4
098 633 250	60	4404	6	12,2333	6,4195	1,8769	4,756	1	3	4
098 633 251	24	408	6	2,83333	15,819	11,277	4,644	3	1	4
098 633 253	6	558	6	15,5	3,1528	1,3898	8,023	1	4	3
098 633 254	6	114	6	3,16667	15,486	10,944	4,311	3	1	4
098 633 255	24	1074	6	7,45833	11,194	6,6519	0,019	3	1	4
098 644 210	12	264	6	3,66667	14,986	10,444	3,811	3	1	4
098 644 220	12	1470	6	20,4167	1,7639	6,3065	12,94	4	1	3
098 644 231	12	276	6	3,83333	14,819	10,277	3,644	3	1	4
098 644 232	12	282	6	3,91667	14,736	10,194	3,561	3	1	4
098 644 233	6	144	6	4	14,653	10,11	3,477	3	1	4
098 644 241	12	306	6	4,25	14,403	9,8602	3,227	3	1	4
098 644 242	12	276	6	3,83333	14,819	10,277	3,644	3	1	4
098 644 243	6	138	6	3,83333	14,819	10,277	3,644	3	1	4
098 644 259	12	270	6	3,75	14,903	10,36	3,727	3	1	4
098 645 210	36	1200	6	5,55556	13,097	8,5546	1,922	3	1	4
098 645 211	6	120	6	3,33333	15,319	10,777	4,144	3	1	4
098 645 212	6	576	6	16	2,6528	1,8898	8,523	1	4	3
098 645 213	6	786	6	21,8333	3,1805	7,7231	14,36	4	1	3
098 645 214	6	780	6	21,6667	3,0139	7,5565	14,19	4	1	3
098 645 220	48	1116	1	23,25	4,5972	9,1398	15,77	4	1	3
098 645 221	6	648	6	18	0,6528	3,8898	10,52	4	1	3
098 645 222	6	642	6	17,8333	0,8195	3,7231	10,36	4	1	3
098 645 223	6	648	6	18	0,6528	3,8898	10,52	4	1	3
098 645 224	6	102	6	2,83333	15,819	11,277	4,644	3	1	4
098 645 231	18	1512	6	14	4,6528	0,1102	6,523	1	4	3
098 645 232	18	1932	6	17,8889	0,7639	3,7787	10,41	4	1	3
098 645 233	18	798	6	7,38889	11,264	6,7213	0,088	3	1	4
098 645 241	18	2028	6	18,7778	0,125	4,6676	11,3	4	1	3
098 645 242	18	864	6	8	10,653	6,1102	0,523	3	1	4
098 645 243	18	2034	6	18,8333	0,1805	4,7231	11,36	4	1	3
098 645 259	12	186	13	1,19231	17,46	12,918	6,285	3	1	4
098 645 260	6	684	6	19	0,3472	4,8898	11,52	4	1	3
098 674 200	24	1254	6	8,70833	9,9445	5,4019	1,231	3	1	4
098 674 201	12	936	6	13	5,6528	1,1102	5,523	1	3	4
098 674 202	12	864	6	12	6,6528	2,1102	4,523	1	3	4
098 674 203	6	458	6	12,7222	5,9306	1,388	5,245	1	3	4
098 740 200	8	372	8	5,8125	12,84	8,2977	1,665	3	1	4
098 740 201	8	64	8	1	17,653	13,11	6,477	3	1	4

098 740 203	8	64	8	1	17,653	13,11	6,477	3	1	4
098 740 230	20	668	8	4,175	14,478	9,9352	3,302	3	1	4
098 740 231	12	312	8	3,25	15,403	10,86	4,227	3	1	4
098 740 232	12	652	8	6,79167	11,861	7,3185	0,686	3	1	4
098 743 210	20	460	8	2,875	15,778	11,235	4,602	3	1	4
098 743 211	20	656	8	4,1	14,553	10,01	3,377	3	1	4
098 743 212	20	616	8	3,85	14,803	10,26	3,627	3	1	4
098 743 213	16	784	8	6,125	12,528	7,9852	1,352	3	1	4
098 744 200	4	120	4	7,5	11,153	6,6102	0,023	3	1	4
098 744 201	4	199	4	12,4375	6,2153	1,6727	4,96	1	3	4
098 744 203	8	68	8	1,0625	17,59	13,048	6,415	3	1	4
098 744 205	4	52	4	3,25	15,403	10,86	4,227	3	1	4
098 744 206	4	17	4	1,0625	17,59	13,048	6,415	3	1	4
098 770 200	4	220	4	13,75	4,9028	0,3602	6,273	1	4	3
098 770 201	4	38	4	2,375	16,278	11,735	5,102	3	1	4
098 770 202	4	36	4	2,25	16,403	11,86	5,227	3	1	4
098 770 205	8	52	8	0,8125	17,84	13,298	6,665	3	1	4
098 771 207	8	424	8	6,625	12,028	7,4852	0,852	3	1	4
098 771 250	4	92	4	5,75	12,903	8,3602	1,727	3	1	4
098 771 251	4	99	4	6,1875	12,465	7,9227	1,29	3	1	4
098 771 255	4	36	4	2,25	16,403	11,86	5,227	3	1	4
098 771 256	4	26	4	1,625	17,028	12,485	5,852	3	1	4
098 774 210	6	249	6	6,91667	11,736	7,1935	0,561	3	1	4
098 774 211	6	148	6	4,11111	14,542	9,9991	3,366	3	1	4
098 774 212	6	345	6	9,58333	9,0695	4,5269	2,106	3	1	4
098 774 213	6	160	6	4,44444	14,208	9,6658	3,033	3	1	4
098 840 201	24	2742	6	19,0417	0,3889	4,9315	11,56	4	1	3
098 840 206	30	330	30	0,36667	18,286	13,744	7,111	3	1	4
098 841 200	4	404	4	25,25	6,5972	11,14	17,77	4	1	3
098 842 200	4	504	4	31,5	12,847	17,39	24,02	4	1	3
098 843 200	8	852	4	26,625	7,9722	12,515	19,15	4	1	3
098 B100 105	50	200	50	0,08	18,573	14,03	7,397	3	1	4
098 G3X 100	18	4338	6	40,1667	21,514	26,056	32,69	4	1	3
098 G3X 200	28	1484	10	5,3	13,353	8,8102	2,177	3	1	4

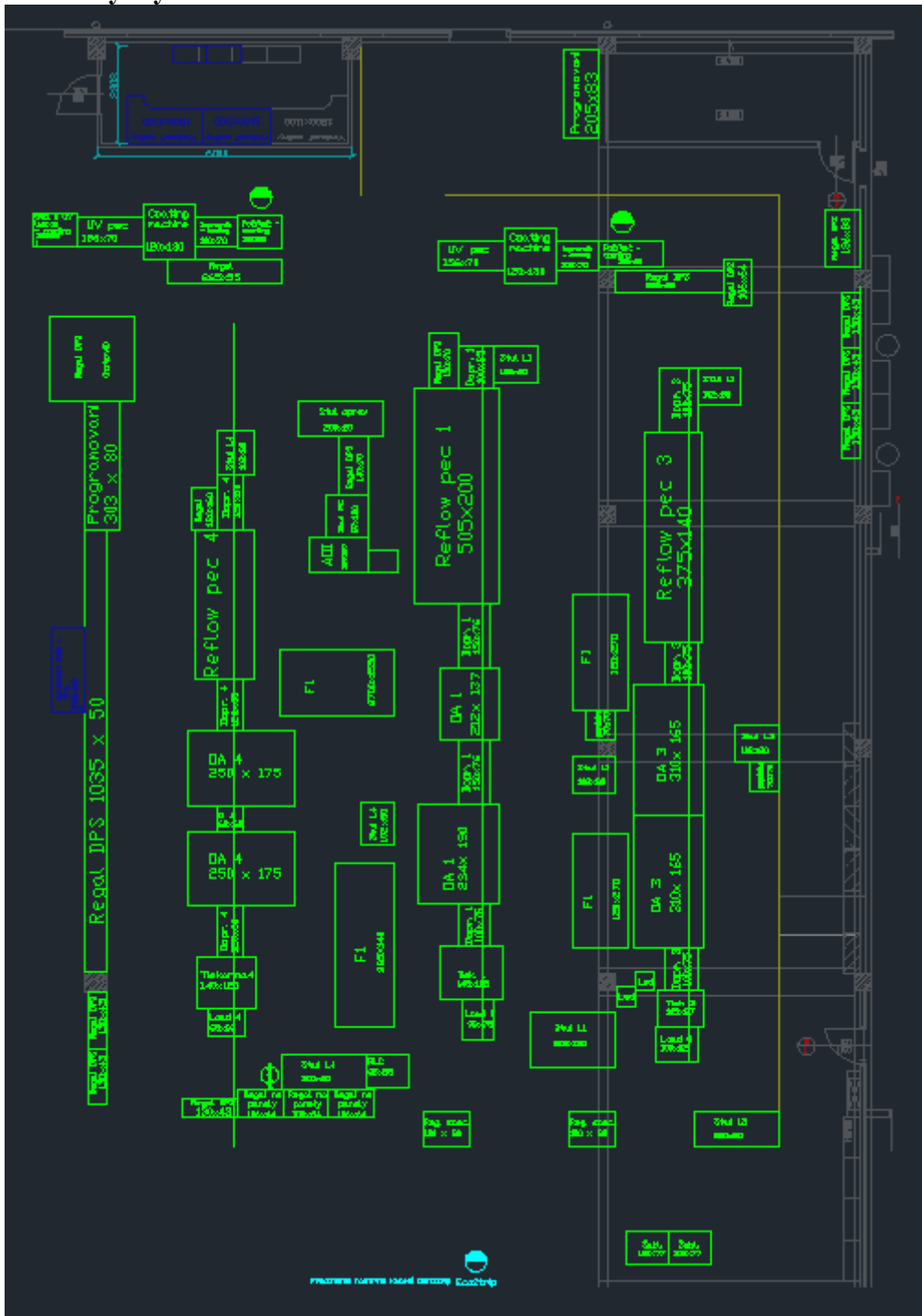
Příloha B – Vzor vizualizační vložky do zásobníku součástek odvozený z měrek



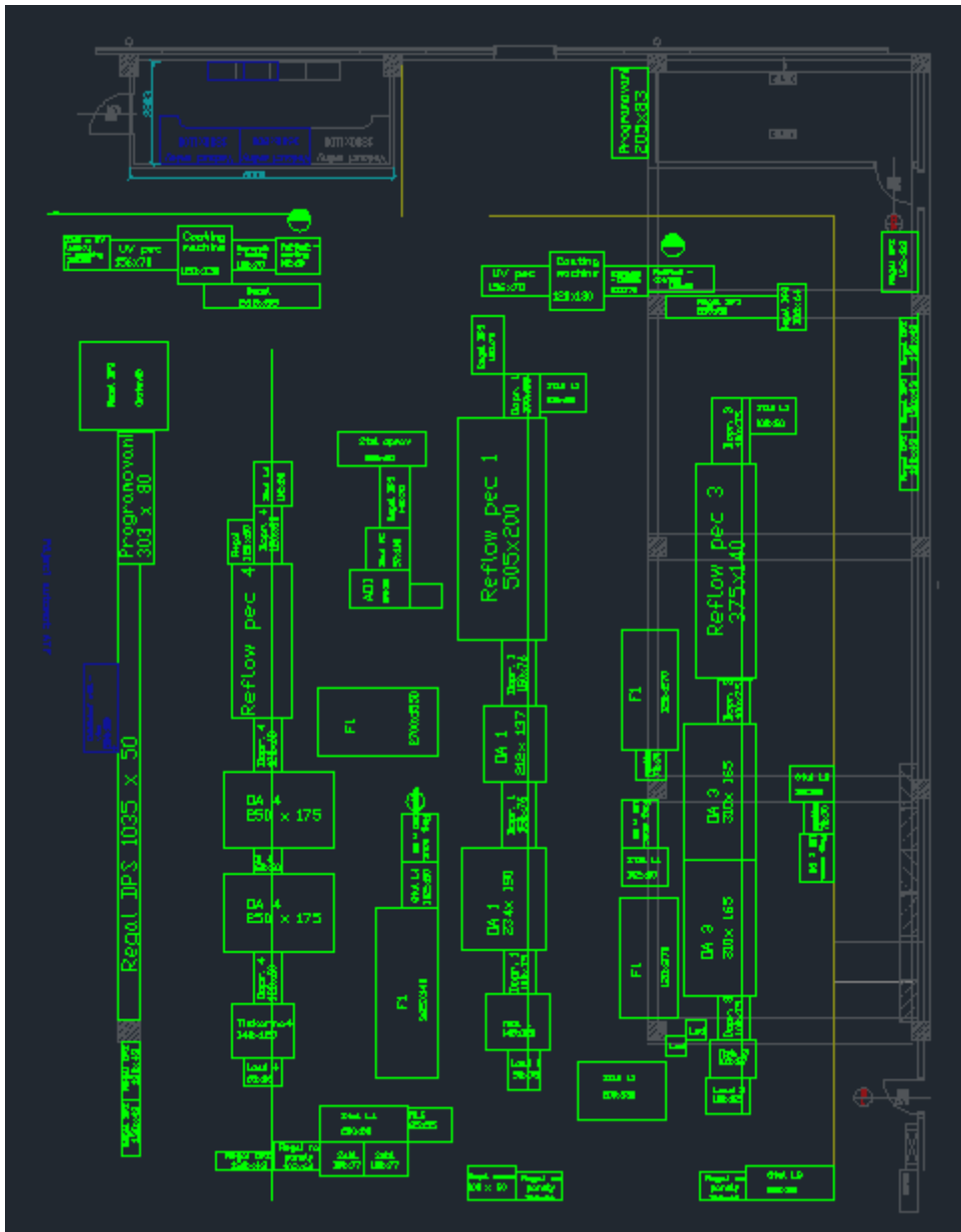
Pozn. Přerušované čáry značí místo stříhu stříh, šedá oblast místo nalepení upevňovací součásti z pravého dolního rohu

Příloha C – Výkresy layout vytvořené v programu AutoCad

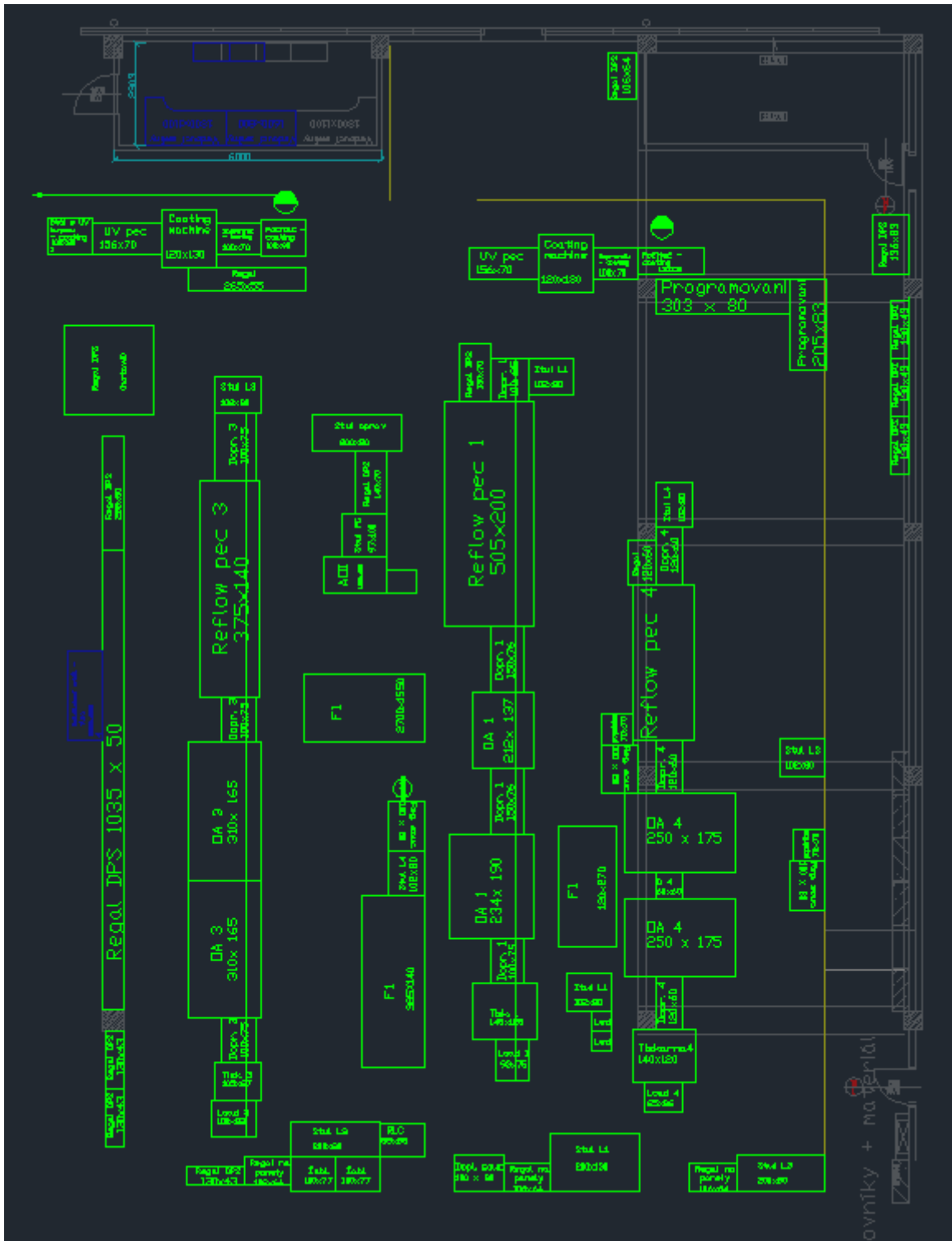
Současný layout k 14. 1. 2013:



Návrh A:



Návrh B:



Příloha D – Schéma simulačního modelu v softwaru Arena

