

# Ekonomické důsledky digitální transformace průmyslu

Jana Benešová <sup>1</sup>, Jana Kleinová <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika  
[benesovj@kp.v.zcu.cz](mailto:benesovj@kp.v.zcu.cz)  
[kleinova@kp.v.zcu.cz](mailto:kleinova@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** V dnešním moderním světě je po výrobcích vyžadováno, aby byly produkty dodávané na trh ve vysoké kvalitě, bezporuchové, udržitelné a jejich výkon nikterak neovlivnil životní prostředí po celou dobu trvání životního cyklu tohoto produktu. Společnost již prošla mnoha průmyslovými revolucemi, kdy došlo k rozvoji mechanických výrobních zařízení poháněných parou, zavedením hromadné výroby s využitím elektrické energie či elektrických systémů a výpočetní techniky ve výrobě. Mnoho společností též začalo výrobu převádět na poloautomatickou či se jí snaží zcela automatizovat a využívat tak průmyslové roboty. Cílem tohoto článku je v krátkosti seznámit čtenáře s Kondratějevovy cykly, které se zabývají dlouhodobými cykly související s průmyslovými revolucemi a následně zmapovat poslední čtvrtou průmyslovou revoluci, která je v současné době označována jako Průmysl 4.0 v souvislosti s návrhem nových produktů.

## 1 Kondratěvovy cykly a průmyslová revoluce

Hospodářský cyklus představuje pravidelné kolísání ekonomické aktivity zaměřující se na celou úroveň ekonomiky, nebo alespoň její velkou část v okolí dlouhodobého trendu. Střídání relativního ekonomického růstu a relativního ekonomického poklesu je nazýváno cyklem. Problematikou ekonomických (hospodářských) cyklů se začal zabývat sovětský ekonom Nikolaj Dmitrijevič Kondratěv. [1]

### 1.1 Obecná charakteristika dlouhodobých hospodářských cyklů

Sovětský ekonom Kondratěv vypracoval studii, ve které posuzoval cykly kapitalistického hospodářství. Soudil, že toto hospodářství prochází dlouholetými cykly, trvající 50-60 let. Při bádání ruský ekonom rozeznával tři části cyklu (v dnešní době se rozeznávají již čtyři): růst, stagnace, recese (dnes se k těmto cyklům přidává ještě deprese). Převědeme-li tyto cykly do vývoje nových objevů či vynálezů, pak při zavedení nových objevů je způsoben ekonomický růst, následně dojde k ekonomické stagnaci, jelikož se vykazuje určitá nadvýroba daného objevu či vynálezu a poté upadá ekonomika do krize. Ruský ekonom se snažil stále obhajovat ekonomiku malých podniků, nicméně jeho činnost byla roku 1938 ukončena, popravou. Teorie hospodářských cyklů, jež prokazoval zakladatel nové ekonomické

politiky Kondratěv, byla na jeho počest pojmenována díky návrhu politologa Josefa Schumpetera. [2]

Tzv. Kondratěvovy dlouhodobé cykly (vlny) jsou obecně spjaty se zásadními změnami výrobních technologií, výraznými monetárními jevy a politickými převraty historického charakteru. Jedna tzv. dlouhá vlna se skládá z etapy dlouhodobého růstu (tzv. dlouhá expanze) a z etapy dlouhodobého poklesu (tzv. dlouhé deprese) a celý cyklus pak trvá 50 - 60 let. [3]

Zaměříme-li se na první fázi dlouhodobého cyklu (dlouhá expanze) pak se tato fáze vyznačuje prosazováním nových technologií (výrobních postupů), rostoucí produktivitou kapitálu, relativně rychlým růstem výroby, zaměstnanosti a mezd. V této fázi též dochází k postupnému vytlačování starých firem a odvětví. Pro tuto vzestupnou etapu dlouhé vlny je pak v rámci klasického průmyslového (obchodního) střednědobého hospodářského cyklu charakteristický vývoj, v němž jsou hospodářské poklesy relativně krátké a projevují se pouze zpomalením růstu výroby a jen menší nezaměstnaností. V tomto období prostě převažují hospodářsky "dobré roky". Je to dáno právě tím, že nové technologie umožňují vysoké tempo růstu potencionálního (přirozeného) produktu, což se nutně odráží v charakteru klasického průmyslového (obchodního) střednědobého hospodářského cyklu. [4]

V druhé fázi dlouhodobého cyklu (dlouhá deprese) dochází k nasycení trhu novými výrobky a technologiemi, roste konkurence, klesá produktivita kapitálu, celková výroba roste relativně pomaleji, snižuje se zaměstnanost a mzda jako cena práce (pracovní síly) je stlačována dolů. Postupem času i krátkodobé poklesy investic a poklesy výroby v rámci střednědobého cyklu přímo vykazují absolutní pokles ve vztahu k předcházejícímu roku a vystupují jako krize (deprese). Při dlouhodobém pohledu pak dochází k výraznému zpomalení růstu celkového produktu (výstupu ekonomiky) a ke vzniku masové nezaměstnanosti, což je spojeno s růstem úrokové míry, která v opakujících se okamžicích dokonce převyšuje míru zisku. V tomto období potom převládají hospodářsky "špatné roky", které jsou podmíněny v tomto období dosahovaným nízkým tempem růstu potencionálního (přirozeného) produktu v důsledku vyčerpání rozvojových možností dosavadních technologií. [4]

V dlouhé ekonomické krizi ovšem současně roste tlak na akumulaci a investování do racionalizace výroby a do perspektivně nových technologií. Hledají se tedy nové technologie či nové metody řízení. Jinými slovy vzniká nová forma moderní průmyslové (kapitalistické) společnosti, a to prostřednictvím vědeckých, zemědělských, průmyslových a sociálních krizí či revolucí, jelikož je nezbytné se zabývat otázkou rozložení "nákladů modernizace a restrukturalizace" mezi jednotlivé sociální a profesní skupiny obyvatelstva. V tomto kontextu lze pojem "krize" vnímat jako normální formu pohybu, existence a vývoje moderní společnosti, kdy za "porodních bolestí" přichází na svět nová společnost. [4]

Právě sociální revoluce, velké (systémové) války, politické převraty či jiné společenské živelné pohromy vázané na dobíhání dlouhé deprese umožňují

"kvantitě přerůst v novou kvalitu" čili přinášejí sebou ono potřebné prosazení nové formy moderní průmyslové společnosti, nového produkčního řádu, nového technologického stylu, jehož další rozvoj pak nese následující dlouhou expanzi a přináší i novou prosperitu. Rozvojové podněty nového produkčního řádu se však časem vyčerpají a jeho krize koncem příslušné dlouhé expanze přinášejí potřebu nového "šturmování nebe" čili nutnost začít opět s hledáním nových forem společenského a ekonomického života, tzv. otevírání krize. [4]

V této situaci je důležité si uvědomit to, že technologická změna musí postupovat v rámci tzv. dlouhé deprese pouze pomalu, protože vyžaduje na jedné straně nashromáždění velkých peněžních prostředků a na druhé straně je podmíněna růstem oněch odvětví, které vyrábějí novou techniku, nové výrobní prostředky. Kvalitativně zcela nová technika a technologie se může při užití v jednotlivém podniku a při současné intenzivní racionalizaci práce projevit také klesající produktivitou kapitálu. Teprve při přechodu k masovému užití a poklesu nákladů nové techniky to povede k dlouhodobému růstu kapitálové produktivity a ekonomiky jako celku. Až když se nové technologie dostatečně rozvinou, může nastoupit (na jejich základě) nová dlouhá expanze jako začátek dalšího dlouhodobého cyklu. [4]

## **1.2 Charakter současné doby**

V dnešní době tedy dobíhá IV. dlouhá vlna a připravuje se rozběh V. dlouhé vlny, která zabere první polovinu 21. století. Konkrétně žijeme v období "čistění" historického a společenského terénu pro přechod k nové vzestupné fázi dlouhodobého cyklu ve vazbě na další vývoj výše zmiňovaných špičkových, vysokých technologií. Vývoj biotechnologií by měl např. přinést syntetické potraviny (umělé bílkoviny) či například vyrobené in vitro (ve zkumavce, v laboratoři). Postupně by se mělo rovněž rozšířit využití tzv. inteligentních robotů třetí generace, řešících pomocí tzv. umělé inteligence problémy podobně jako lidé - tj. prostřednictvím postupů založených na znalostech a na schopnosti se učit. Pokrok na úseku informačních technologií povede k novým generacím počítačů, počítačového softwaru, vysokorychlostních elektronických přenosů či televizorů (tzv. vysokodefiniční televize - HDTV) atd. [4]

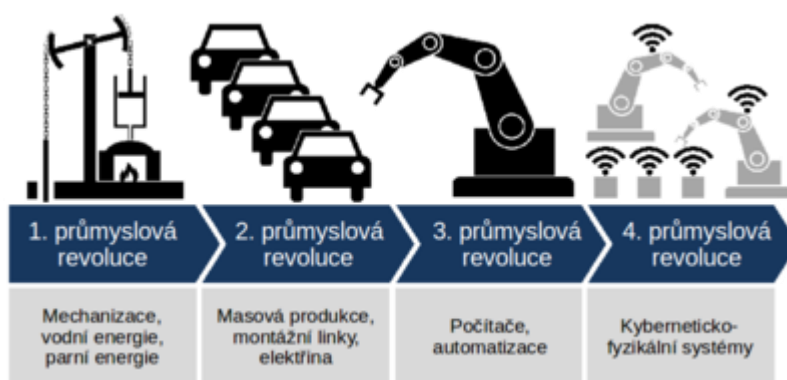
Přechod k nové dlouhé vlně má sice přinést žádaný nárůst společenské produktivity a společenského bohatství, předtím je však nutno zvládnout značné transakční náklady a nemalá rizika přechodového období (tzv. fáze turbulence), a to včetně možnosti zániku lidské civilizace v chaosu nezvládnutelných živelných přeměn. Pouze na tomto základě se lidstvo může dočkat zrodu rané globální občanské společnosti na úsvitu třetího tisíciletí naší éry (po Kristu). [4]

Léta 2001 - 2002 byla ve znamení recese ve světové ekonomice. Obnova ekonomického růstu v letech 2003 - 2005 ukazuje na možný nástup 5. Kondratěvovy vlny (zabírající orientačně období 2003/04 - 2057/58). Nejasnosti ohledně globálního nástupu 5. Kondratěvovy vlny spočívají ale v

tom, že současná formační krize nemá podobu nějaké výrazné společenské živelné pohromy typu revolučního roku 1848 či druhé světové války (1939 - 1945), takže četné nahromaděné rozpory se řeší pouze postupně a pomalu. Sociální, politický a ekonomický vývoj je proto tolik nejednoznačný či dokonce plný protikladů (protitrendů). Na kolik k vyřešení nahromaděných rozporů přispějí současné globální finanční krize, jejíž počátky spadají do roku 2008, a zejména na ní navazující třetí světová hospodářská krize (od roku 2009) ukáže až čas. Teprve nalezení adekvátních východisek z obou těchto krizí definitivně potvrdí tolik vyhlášený nástup 5. Kondratěvovy vlny. [4]

## 2 Průmysl 4.0.

Nově vstupující technologie rychle mění tvář naší ekonomiky i náš způsob života. Díky tomuto vstupujeme do čtvrté průmyslové revoluce. Předcházející tři revoluce byly vyvolány rozvojem mechanických výrobních zařízení poháněných párou, zavedením hromadné výroby s využitím elektrické energie či využitím elektronických systémů a výpočetní techniky ve výrobě. Čtvrtá revoluce nepřináší zásadní změny pouze pro oblast průmyslové výroby, ale stojí v centru všeho a zasahuje mnohem širší oblast lidstva. Jedná se zde o novou filozofii přinášející celospolečenskou změnu a zasahující celou řadu oblastí od průmyslu, přes oblast technické standardizace, bezpečnosti, systému vzdělávání, právního rámce, vědy a výzkumu až po trh práce nebo sociální systém. V současné době je důležité propojování internetu, věcí, služeb, lidí a s ním související vysoký objem generovaných dat ať už se jedná o komunikaci stroj-stroj, člověk-stroj nebo člověk-člověk. Iniciativa Průmyslu 4.0 není snaha o pouhou digitalizaci průmyslové výroby, ale je to komplexní systém změn spojený s řadou lidských činností a to nejen v průmyslové výrobě. [5] Průmyslové revoluce jsou znázorněny na obrázku níže, viz Obrázek 1.



Obrázek 1 - Průmyslové revoluce [6]

### 2.1 Charakteristika konceptu Průmysl 4.0

Průmysl 4.0 přetváří výrobu ze samostatných automatizovaných jednotek na plně integrovaná automatizovaná a průběžně optimalizovaná výrobní prostředí. Tímto vzniknou nové globální sítě, jež jsou založené na propojení výrobních zařízení a kyberneticko-fyzických systémech. Tyto systémy budou

brány jako základní stavební prvek „inteligentních továren“, jež budou schopny autonomní výměny informací, vyvolání potřebných akcí v relaci na konkrétní momentální podmínky a vzájemné nezávislé kontroly. Jednotlivé takto vzniklé sítě budou vzájemně propojeny v rámci hodnotového řetězce, který bude pomocí standardních komunikačních protokolů na bázi internetu reagovat a analyzovat data, aby mohly být předvídány případné chyby či poruchy a mohly se v reálném čase přizpůsobovat změněným podmínkám. [5]

V takto upravených továrnách budou vznikat „inteligentní produkty“, které budou jednoznačně identifikovatelné a lokalizovatelné, které budou znát nejen svou historii a aktuální stav, ale také náhradní cesty, které povedou ke vzniku finálního produktu. Výrobní proces bude nepřetržitě optimalizován a bude schopen pružně reagovat na nečekané změny způsobené například poruchou některého výrobního zařízení.

Základní charakteristiky inteligentních továren, jež odpovídají konceptu Průmysl 4.0 lze shrnout následovně:

- výrobní procesy jsou optimalizované kompletně v rámci hodnotového řetězce díky vertikálně i horizontálně integrovaným IT systémům;
- izolované výrobní jednotky jsou nahrazeny plně automatizovanými a vzájemně propojenými výrobními linkami;
- fyzické prototypy jsou nahrazeny virtuálními návrhy výrobků, výrobních prostředků a výrobních procesů, jejich uvedení do provozu probíhá v rámci jednoho integrovaného procesu zapojujícího jak výrobce samotného, tak i jeho dodavatele;
- flexibilní výrobní procesy umožňují efektivní výrobu i malých výrobních dávek přizpůsobených individuálním požadavkům jednotlivých zákazníků;
- vzájemně komunikující roboty, výrobní zařízení a výrobky činí do jisté míry autonomní rozhodnutí v reálném čase a tím zvyšují flexibilitu a efektivitu výrobního procesu;
- výrobní zařízení se samo optimalizuje a konfiguruje v závislosti na parametrech zpracovávaného produktu;
- automatizované logistické zázemí využívající autonomních vozíků a robotů se automaticky přizpůsobuje potřebám výroby.

Vznik a rozšíření inteligentních továren otevře prostor pro nové kreativní cesty tvorby přidané hodnoty a vzniku nových obchodních modelů. Dojde k zásadní redefinici vazeb mezi zákazníky, výrobcí a dodavateli, stejně tak i ke změně způsobu komunikace mezi člověkem a strojem. Veškeré tyto změny přispějí k řešení celkových problémů, mezi které se řadí například nedostatek surovin, působení energie či změny v reprodukci obyvatelstva. Lidé v těchto změnách již nebudou vykonávat fyzicky těžkou práci, ale bude jim dán spíše prostor pro kreativní práci. Předpokladem zavedení těchto změn by měla být pracovní

flexibilita zaměstnanců pro lepší skloubení soukromého a pracovního života. Tento předpoklad však bude naplněn tehdy, pokud společnosti a stát zvládnou v dostatečném předstihu předejít všem rizikům na trhu práce spojených s novou průmyslovou revolucí. [5]

### 3 Vývoj pracovní síly - Cobot

V průmyslové výrobě je již nějaký čas zastoupena lidská práce prací buďto poloautomatickou či, v některých odvětvích, již plně automatickou v podobě robotů. U většiny případů se jedná o náhradu únavné či nebezpečné práce. Ve vývoji pracovní síly dochází v současné době k dalšímu pokroku, kdy na světlo přichází tzv. cobot (kolaborující robot). [7]



Obrázek 2 - Kolaborující robot – COBOT [8]

Kolaborující robot neboli cobot je speciálně navržený robot, který má za úkol spolupracovat s lidským protějškem. Dochází k postupu, kdy robot není brán jako samostatná jednotka v ochranných klecích, ale tyto roboti pracují v kooperativním prostředí a jsou nápomocni při složitých úkolech, které nelze plně automatizovat. Jako příklad můžeme uvést podávání komponent zaměstnancům, kteří provádějí přesnější úkony při sestavování či kontrole kvality.

Spolupracující roboti jsou tvořeni obvykle z lehké a flexibilní konstrukce a lze je snadno přeprogramovat pro řešení nových úkolů. Coboti jsou navrženi tak, aby se opakovaně a přesně pohybovali k nápomoci pracovníkům. Jejich nejlepší využití je při kompletaci více komponent do balení, při montáži součástí či při balení ostrých materiálů. Nejen tyto činnosti mohou dělat coboti, ale také se mohou zaměřit na výpomoc v úkolech, které jsou pro lidi riskantní či nebezpečné, například manipulace s ostrými, špičatými či horkými obrobky. Při nasazení těchto kolaborujících robotů se předpokládá méně nehod a zaměření na méně náročné stránky výroby. Cobot je vybaven jednoduchým dotykovým displejem pro ovládání, nebo lze cobota ovládat

chytnutím ramene robota a snadným vedením (ukázáním) požadovaného pohybu – robot se tak podvolí a naprogramuje se na požadovaný pohyb. [7]

### **3.1 Vliv na pracovní sílu**

Automatizace výroby pomocí tradičních průmyslových robotů umožňuje pracovat rychleji a také zpracovávat těžší předměty. Tito roboti jsou schopni pracovat nepřetržitě 24 hodin / 7 dní v týdnu téměř celý rok na, pro člověka, fyzicky náročných úkolech. Oproti tomu spolupracující roboti se pohybují sice pomaleji a jejich užitečné zatížení je menší, ale jsou vhodné pro užití pro práci s jemnějšími materiály s nižší hmotností. Vývoj této pracovní síly znamená pro okolní pracovníky práci bez ochranných pomůcek v okolí robota a možnost snadné a rychlé optimalizace práce. Robot nemusí nutně představovat velké a člověku nebezpečné „monstrum“. Výrobci těchto robotů se naopak snaží o bezpečnou a přesto rychlou a flexibilní práci člověka ve spolupráci s robotem. [7]

Práce se spolupracujícím robotem je pro pracovníky, vykazující tuto činnost před zavedením robotické výpomoci, úlevou, jelikož cobot zastává práci, která je velmi monotónní a tedy unavující či ergonomicky zatěžující. Při náhradě, v těchto činnostech, lidské práce roboty je zamezeno vzniku chyb a vadných kusů produktů a hlavně pracovníkům nevzniká únava tak rychle a tím se zamezí i vznik pracovních úrazů na pracovištích.

### **3.2 Ekonomické přínosy a náklady**

Přínosů cobotů je celá řada, nicméně zde uvedeme pouze některé.

Díky revolučnímu přístupu je zde zásadní redukce času při nasazení spolupracujícího robota do výroby. Oproti tradičním robotům, kdy je třeba systém naprogramovat a zajistit výrobu, což zabere spoustu času (v řádech dnů) a s tím spojené náklady, pak cobot k nasazení potřebuje pouze pár hodin.

→ Ekonomický přínos vycházející z revolučního přístupu je úspora personálních nákladů (potřeba programátorů, složitost programování a tím i potřeba času), dále úspora výrobních nákladů, které souvisí se zapojováním robota a zajištění zkušební výroby a případného odladování vad.

Dalším přínosem takovýchto pomocníků je jejich váha a potřeba prostoru. Kooperující roboti jsou lehké, vyžadují minimum prostoru k instalaci a umožňují jednoduchou montáž. Díky jejich vysoké flexibilitě umožňují snadné a rychlé přemístění na jiné pracoviště, kde je z pohledu výroby jejich využití potřebnější a přínosnější. Mezi klady se tedy zařazuje rychlé přizpůsobení výrobě či rychlé změně výrobního postupu.

→ Ekonomický přínos vycházející z váhy a potřeby prostoru cobota je pak dán úsporou nákladů na přepravu, nákladů na využitý prostor či nákladů na přestavbu (změna výrobních postupů).

V neposlední řadě lze zařadit mezi přínosy i snadnost obsluhy. Tyto stroje mohou obsluhovat i operátoři, kteří mají nulovou zkušenost s programováním, jelikož nastavení robotů je snadné a rychlé. Uvedení do provozu je díky intuitivnímu ovládacímu prostředí systému velice snadné, a u některých typů je možná i 3D vizualizace.

→ Ekonomický přínos daný snadnou obsluhou cobota je dán úsporou personálních nákladů - netřeba vysoce kvalifikované pracovníky, tím pádem pracovníci obsluhující coboty budou zařazeny do nižší mzdové třídy a budou ušetřeny i mzdové náklady

Díky všem úsporám, které lze získat využitím spolupracujících robotů lze vypočítat dobu úspor ( $D_u$ ), tedy návratnost investice do těchto robotů.

$$D_u = \frac{\text{Investiční náklady [kč]}}{\sum \text{nákladových úspor [kč/rok]}} \quad (1)$$

Investice do řešení na bázi spolupracujících robotů není vysoká, jelikož průměrná doba návratnosti činí cca 195 dní. [7]

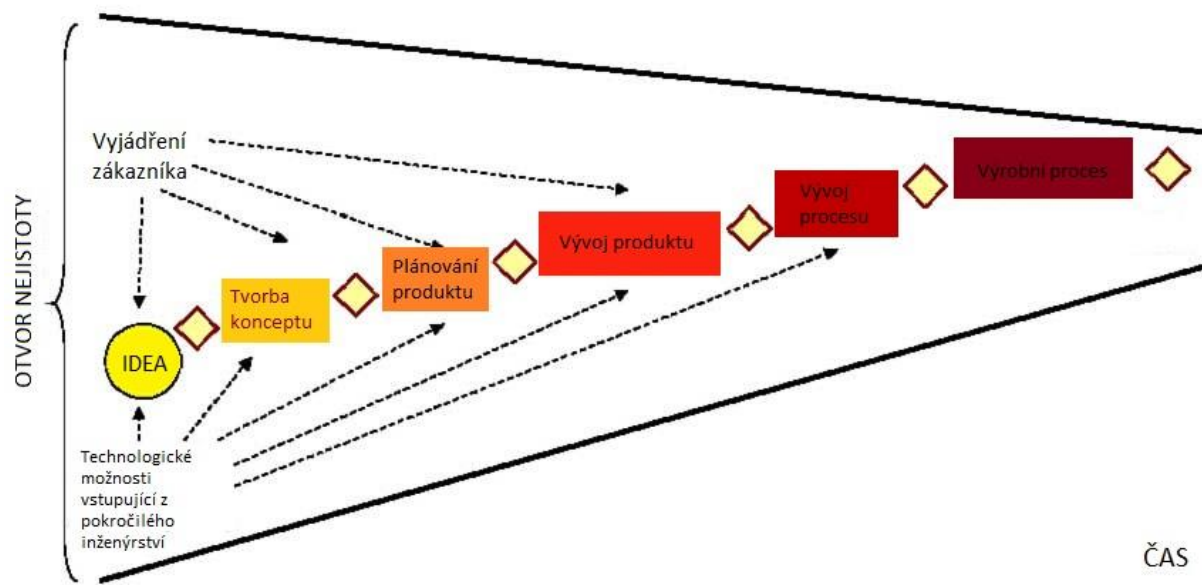
## 4 Jak souvisí digitalizace s návrhem nového produktu

Všechny podniky na trhu čelí výzvě zvané inovace. Chce-li se podnik udržet na trhu a být konkurenceschopný, musí umět zlepšit svou nabídku produktů či služeb (inovovat produkty či služby) nebo zlepšit proces tvorby produktu či služeb. Pro mnohé firmy je tato oblast stěžejní a ne všem se inovace vydaří.

Vývoj nových produktů je důležité především v důsledku již zmíněné konkurence, která se snaží zavádět stále nové produkty a také v důsledku tlaku technologického pokroku, který zkracuje životní cykly produktů. Podniky jsou tedy závislé na ziscích z nových produktů, jež mohou zajistit jejich růst či samotné přežití na trhu a jsou nuceny využívat metody vývoje nových produktů, jelikož dochází k rychlému vývoji nových technologií, změnám potřeb a požadavků zákazníků či postupnému růstu konkurence v globalizované znalostní ekonomice. Vývoj nových produktů není jednoduchý proces a není možné k němu přistupovat lehkovážně. Jedná se o komplexní a časově náročný proces, který skrývá více hrozeb, nežli je na první pohled zřejmé.

Metoda vývojového trychtýře ilustruje jak požadavky a přání zákazníků či technologické možnosti ovlivňují tvorbu a výběr konceptů. Dále je zde viditelné, v jakých krocích postupuje návrh a vytváří se prototyp, pilotní produkt až k náběhu do výroby a uvedení na trh. Flexibilita jednotlivých kroků postupně klesá, zatímco náklady na výrobu rostou. Na obrázku níže je vidět znázornění metody vývojového trychtýře (viz Obrázek 3), která se skládá z dílčích fází a bran, jež je další možnou metodou užití při vývoji nového produktu. Fáze představuje probíhající činnost, již provádějí členové týmu a

brány představují rozhodující body, kdy se tým rozhoduje, zda bude možno v projektu pokračovat či nikoliv. [9]



Obrázek 3 - Metoda vývojového trychtýře [9]

#### 4.1 Vliv digitalizace na návrh nového výrobku

Problematika automatizace výroby a převedení dat do digitální podoby je v současné době velmi aktuálním tématem všech podniků. Nicméně je to důležité pro udržení se na dnešním trhu mající tak vysoké nároky. Podniky, které se digitalizací nezabývají, dle mého názoru, nebudou mít dlouhou životnost, jelikož je konkurence ušlape svými esy vyvíjející se k umělé inteligenci.

Z hlediska návrhu nových produktů je zapotřebí aby se společnosti zaměřili na práci s programy a systémy, které jsou na trhu k dostání, kterých je nespočetné množství a které jsou stále aktualizovány. Díky rekvalifikaci pracovníků a přistupování na novinky na trhu mají společnosti možnosti rozvoje.

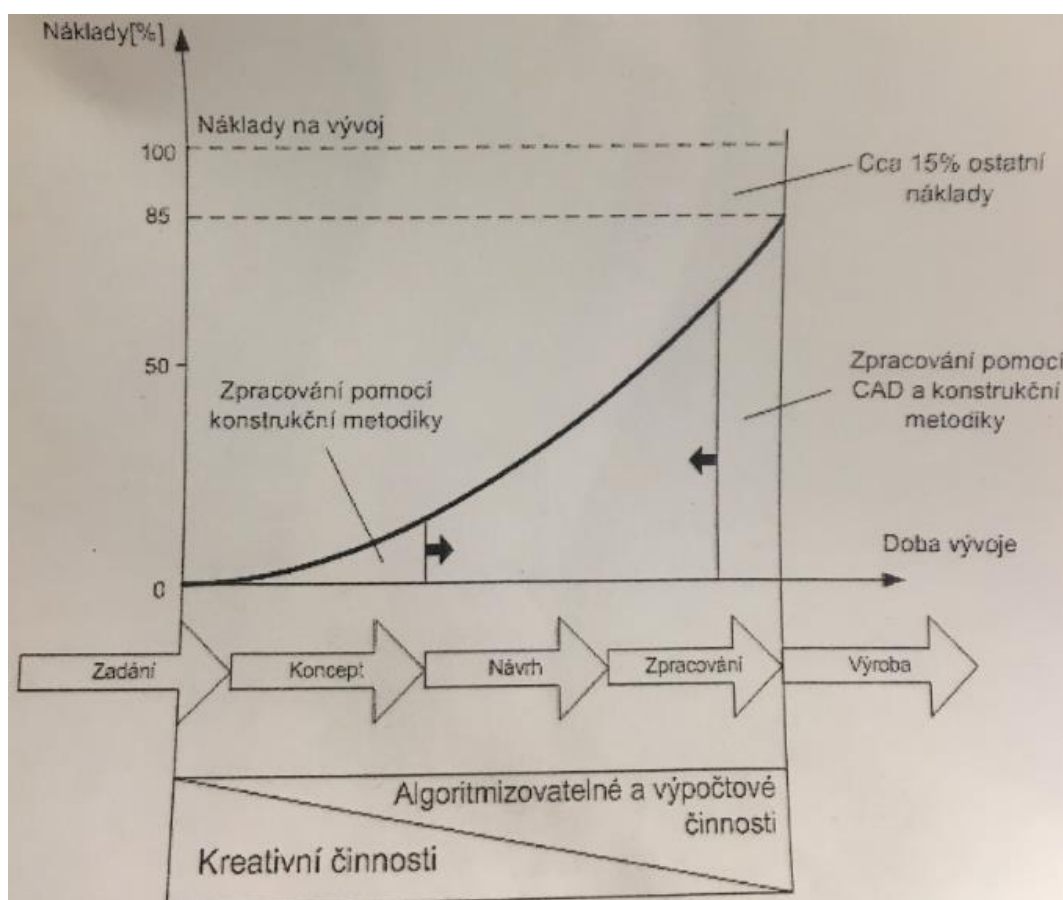
Jak je v textu výše popsáno, společnost prošla několika revolucemi. Podniky se rozvíjely od mechanizace na základě vodní energie či parní energie, přes masovou produkci díky zavedení výrobních montážních linek a následně zavedením elektřiny. Po vynalezení elektrické energie se společnost začala rozvíjet nezastavitelnou rychlostí. Mnoho strojů a zařízení byla poháněná právě elektrickým proudem a mohlo dojít k vývoji dalších nových produktů. Postupem času došlo k další revoluci, kdy na světlo světa přišli počítače a tím se začalo hovořit o první automatizaci. Podniky, které měly počítač a nějakým způsobem již evidovaly své výstupy dat, mohly již hovořit o jakési automatizaci. Postupem času lidstvo vymyslelo různé početní programy, které vložená data sama propočítávala a to je opět posunulo o krok dál. Vznikem nových systémů bylo možno začít s novou revolucí, ve které je nyní zapotřebí

přecházet k digitalizaci a robotizaci. Společnost se snaží ulehčovat si práci, nicméně některé činnosti nahradit nikdy nedokážou.

Zaměříme-li se na hodnocení digitalizace při vývoji nového výrobku, tak je zajímavé, když je vidět, jak výrobek vypadá a jak se bude chovat ještě před tím, než ho má zákazník reálně v ruce. Tato digitální představa Vám již napoví, zda o produkt máte skutečně zájem, jak byste ho případně chtěl upravit k obrazu svému či co byste na něm zcela změnil. Již při simulaci práce daného produktu zjistíte, jak skutečně pracuje, z jakých materiálů bude vytvořen a jakým způsobem bude ovlivňovat Vaše zdraví.

## 4.2 Předvýrobní náklady vs. náklady na výrobu

Zaměříme-li se na náklady, které vznikají v předvýrobním procesu, tedy náklady spojené s výzkumem a vývojem nového produktu, tak s rozšířením digitalizace se tyto náklady mění. Můžeme říci, že dokud nebyla digitalizace v takovém rozsahu používána ve firmách, tak většina kreativních činností spojených s vývojem produktu nebyla tak nákladná. Náklady na vývoj produktu začaly růst s postupem času, kdy produkt procházel koncept, návrh a následné zpracování. Náklady na vývoj produktu před využitím digitalizace jsou znázorněny na obrázku níže (viz Obrázek 4).



Obrázek 4 - Náklady na vývoj produktu [10]

Na obrázku si můžeme všimnout, že kreativita, jak již bylo řečeno, je v počátku vývoje vysoká, avšak náklady na ní jsou nulové, či minimální.

Postupem času se kreativita snižuje a začíná se koncept a návrh produktu překlápět do výpočtů či algoritmů a tím se zvyšují i náklady na vývoj produktu.

Zaměříme-li se ovšem na novodobou situaci a budeme již brát v úvahu, že je digitalizace součástí pracovního procesu, pak můžeme říci, že už i kreativní činnosti jsou zde nákladnější, jelikož už v prvopočátku jsou užívány algoritmy či výpočtové činnosti a k samotnému konceptu a návrhu produktu jsou užity různé designerové a konstruktérské programy. Můžeme konstatovat, že s rozšířením digitalizace předvýrobní náklady rostou, ovšem náklady na výrobu, tím, že jsou již některé činnosti zajištěny v předvýrobní fázi, klesají.

## **5 Závěr**

Cílem práce bylo seznámit se s Kondratějevovy cykly (zabývající se průmyslovými revolucemi) a následně zmapovat poslední čtvrtou průmyslovou revoluci, která je v současné době označována jako Průmysl 4.0 v souvislosti s návrhem nových produktů.

V současné době je trendem propojování internetu, věcí či služeb s vysokým objemem generovaných dat a na základě toho vyvíjet nové produkty či služby. Iniciativa průmyslu 4.0 je dále snaha o digitalizaci všech dat a tudíž se osvobodit od papírování a dalších druhů archivování dat – archivace je zde možná pouze v elektronických podobách. Dále je v dohlednu nahrazení lidské práce prací automatickou v podobě robotů. Jelikož, ale nejdou plně nahradit všechny činnosti roboty, pak se zavádí na trh a do výrobních systémů spolupracující roboti tzv. coboti. Tito roboti sice pracují pomaleji, než tradiční roboti, ovšem lze je použít v blízkosti pracovníků a pracovníkům nehrozí téměř žádné nebezpečí. Kooperující roboti nemusejí pracovat v kleci a jejich nastavení je rychlé a snadné i pro pracovníky, kteří nejsou programovatelně zdatní.

S rozvojem průmyslu 4.0 je zapotřebí, aby byly zajištěné takové technologie, které zajistí snížení nákladů na předvýrobní etapu, aby byl vyrovnán rozdíl mezi předvýrobními a výrobními náklady. V současnosti se společnosti zaměřuje na snižování nákladů, ovšem většina firem se snaží snižovat náklady ve výrobní etapě, nikoliv v předvýrobní etapě

## **Poděkování**

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## **Použitá literatura**

- [1] „Hospodářský cyklus,“ [Online]. Available: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Hospod%C3%A1%C5%99sk%C3%BD\\_cyklus](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hospod%C3%A1%C5%99sk%C3%BD_cyklus). [Přístup získán 19 10 2017].

- [2] „Nikolaj Kondratěv,“ [Online]. Available: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Nikolaj\\_Kondratěv](https://cs.wikipedia.org/wiki/Nikolaj_Kondratěv). [Přístup získán 19 10 2017].
- [3] P. D. Bernard Rosier, Cykle ekonomiczne (kryzisy i przemiany społeczne - perspektywa historyczna), Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, 1987.
- [4] „Historie a realita dlouhodobých cyklů,“ [Online]. Available: <https://blisty.cz/art/59208-historie-a-realita-dlouhodobych-cyklu.html>. [Přístup získán 19 10 2017].
- [5] „Iniciativa Průmysl 4.0,“ [Online]. Available: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>. [Přístup získán 21 10 2017].
- [6] „Průmysl 4.0,“ [Online]. Available: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Průmysl\\_4.0](https://cs.wikipedia.org/wiki/Průmysl_4.0). [Přístup získán 22 10 2017].
- [7] „Robot vs. Cobot,“ [Online]. Available: <https://automatizace.hw.cz/robot-vs-cobot.html>. [Přístup získán 24 10 2017].
- [8] „Robotika,“ [Online]. Available: <http://www.fccps.cz/vertikalni-trhy/abb-yumi-dvouruky-robot-ktery-umi-spolupracovat-s-clovekem>. [Přístup získán 22 10 2017].
- [9] „Jak použít metody vývoje nových produktů,“ [Online]. Available: <http://www.innosupport.net/index.php?id=2239&L=8>. [Přístup získán 28 10 2017].
- [10] Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion, Springer 2006, ISBN 103-540-26039-0.

# Plytvanie vo výrobe a jeho dôsledky na produktivitu

Petra Běhuncíková <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hajdik a.s.  
Jablunka 668, 756 23, Jablunka  
Česká republika  
[petra.behuncikova@hajdik.com](mailto:petra.behuncikova@hajdik.com)

**Anotace:** Spoločnosť Hajdík, a. s. sídliaca v obci Jablunka sa na trhu pohybuje od roku 1989 a zaoberá sa kompletnou starostlivosťou o povrchovú úpravu prostredníctvom mokrého lakovania. Od založenia firmy vo firme neexistoval pojem priemyselné inžinierstvo, ale vzhľadom na dobu technologických pokrokov sa musela spoločnosť začať zameriavať na zvýšenie produktivity, zníženie chybovosti a taktiež zníženie nákladov, pričom zavedené metódy priemyselného inžinierstva sú dobrým ťahačom pri dosiahnutí tých najlepších výsledkov a uspokojovaní potrieb zákazníkov. Hlavným cieľom príspevku je predstaviť zníženie nákladov na vybraný projekt zavedením základných metód priemyselného inžinierstva. Základné metódy sú: zostavenie univerzálneho štíhleho layoutu, zníženie počtu operátorov z pôvodných 11 na 8, zavedenie organizácie práce, vizualizácie a štandardizácie

## 1 Úvod

Podľa Košturiaka a Frolíka [1] je plytvanie vo filozofii štíhleho podniku kľúčový pojem. Plytvanie podľa nich je všetko, čo zvyšuje náklady výrobku alebo služieb bez toho, aby to zvyšovalo hodnotu. Medzi plytvanie zahŕňajú krátkodobé skladovanie, počítanie dielov, zadávanie dielov do počítača, nosenie súčiastok, komplikovaná preprava, pozorovanie chodu stroja, nadvýroba a zbytočná manipulácia, hromadenie zásob, poruchy, čakanie na materiál, zmätky, hľadanie nástrojov, nedostatok súčiastok na montáž, odstraňovanie zmätkov.

Vo viacerých zdrojoch je uvedených 7 základných druhov plytvania, s ktorými sa stretávame najviac:

**Čakanie** – k tomuto plytvaniu dochádza, keď sa práca zamestnanca zastaví z dôvodu nerovnováhy na linke, nedostatku súčiastok alebo poruchy stroja. Môže nastať aj v prípade, že pracovník pozoruje stroj, ktorý pridáva hodnotu výrobku [2].

**Zásoby materiálu** – predlžujú dobu transportu, sú zaťažované finančnými prostriedkami, obsadzujú výrobné plochy, predlžujú a zaťažujú manipuláciu [3]. Finálne produkty, rozpracované produkty, obrobky, diely a súčiastky sú všetko zásoby, ktoré nepridávajú žiadnu hodnotu a zvyšujú prevádzkové náklady tým, že často zaberajú miesto a vyžadujú ďalšiu manipuláciu [2].

**Transport** – vysoký transport vyžaduje čas, ktorý je nutný zaplatiť, zvyšuje sa riziko poškodenia prepraveného produktu, navyšuje náklady na prepravnú techniku [3].

**Zmätky** – prerušujú výrobu a vyžadujú nákladné opravy. Často sa musia vyhodiť, čo spôsobuje plytvanie zdrojmi a prácou. Navyše môžu spôsobiť poškodenie na upínacích či výrobných zariadeniach, preto si vyžadujú neustálu kontrolu a obsluhu, ktorá je schopná poruchu zastaviť [2].

**Chyby vo výrobe** – môže ísť o nesprávne navrhnutý výrobný postup alebo layout, spôsobujú straty skladovaním, transportom, vznik zmätkov [3].

**Nadprodukcia** – výroba na sklad alebo do zásoby, zastavuje tok peňazí, napr. mzdy pracovníkov, energie, materiál [3].

**Zbytočné pohyby** – vyžadujú čas, v prípade namáhavých pohybov spôsobujú únavu, ktorá môže viesť k riziku úrazu či chybovosti [3].

Ďalšie plytvanie, ktoré existuje, je napríklad:

- nevyužitá kreativita/kvalifikácia zamestnancov,
- nesprávna komunikácia [3]

## 2 Metodika

### 2.1 Analýza pôvodného stavu

Spoločnosť Hajdík, a. s. je rozdelená na dva úseky, a to robotické prevádzky a ručné lakovanie. Robotické prevádzky sa delia na linky 1, 2 a 3. Ručné prevádzky na ďalšie 4 pracoviská. Do roku 2017 spoločnosť nepoznala pojem priemyselné inžinierstvo, rozmiestnenie pracoviska bez využitia jednosmerného materiálového toku a odstránením plytvania vo výrobe, vizualizácia neodpovedala všeobecným podmienkam vizualizácie a šandardizácia práce neodpovedala realite.

Vzhľadom na to, že firma chce byť na vrchole konkurencieschopnosti, chce znižovať náklady, zvyšovať produktivitu a eliminovať chybovosť bolo potrebné začať sa venovať eliminácii plytvania zavedením metód priemyselného inžinierstva, ktoré vypuklo na linke 3 na robotických prevádzkach.

Na obrázku 1 je zobrazené pôvodné rozmiestnenie pracoviska pred lakovacou kabínou. Na linke 3 prebieha veľké množstvo projektov, avšak vplyv metód priemyselného inžinierstva je zobrazený len na jednom.



*Obrázek 1 - Pôvodné rozmiestnenie pracoviska*

### **2.1.1 Predstavenie produktu**

Prvý projekt, na ktorom bolo testované využitie metód priemyselného inžinierstva je z rad automobilového priemyslu. Na obrázku č. 2 môžeme vidieť lišty navesené na menšom rámi, ktorý je zavesený na lakovacom ráme. Počet líšt na rámi je 18 kusov a na celom ráme 72 kusov.



*Obrázek 2 - Navesené lišty na ráme*

### **2.1.2 Popis pracovných činností**

Každý kus od navezenia do výroby zo skladu musí prejsť nasledujúcimi činnosťami:

#### **Vešanie kusov na rámy**

Operátor vyberie kusy z balenia a kus po kusu navesuje na rám. Diely sú nasadzované až k dorazom, aby sa minimalizovalo uvoľnenie pri ofúknutí tlakovým ionizovaným vzduchom. Táto operácia zahŕňa aj prípravu rámov a prípravu jigov k danému projektu.

#### **Ionizácia a manuálne čistenie kusov**

Navesené kusy na ráme sú ofúknuté ionizovaným vzduchom a následne ich musí operátor odmastiť vlhčenými obrúskami. Tesne pred vstupom do linky sú kusy znova ofúknuté tlakovým ionizovaným vzduchom v tvare písmena S. Táto operácia je dôležitá z dôvodu, aby sa kusy zalakovali bez usadených nečistôt. Pri podcenení operácie odmastenia a ofúknutia kusov vznikajú na hotových dieloch hrudky a smeti a tieto kusy sú zahrnuté medzi NOK kusy, resp. SCRAP.

#### **Lakovanie**

Očistené kusy navesené na ráme vchádzajú do linky, kde prebieha proces lakovania. Čas lakovania je pre každý projekt individuálny. Lakovanie zahŕňa proces príprav farieb, záznamy o nastavení linky, záznamy o údržbe a záznamy o teplotách a viskozitách. Celý proces lakovania a sušenia môže trvať približne 4 – 5 hodín, podľa projektu.

#### **Zvesovanie kusov z rámov**

Nalakované a osušené kusy zvesí operátor na odkladaciu plochu. Je dôležité do tejto činnosti zahrnúť aj proces odobratia rámu z držiaku, aby bol držiak pripravený na rám pre ďalší projekt.

#### **Výstupná kontrola a balenie**

Pracovník výstupnej kontroly vezme kusy z odkladacej plochy, skontroluje a zabalí do originál balenia. Na celú paletu pripraví štítky k expedícií, umiestni na viditeľné miesto.

## **3 Diskuze**

### **Zostavenie LEAN layoutu**

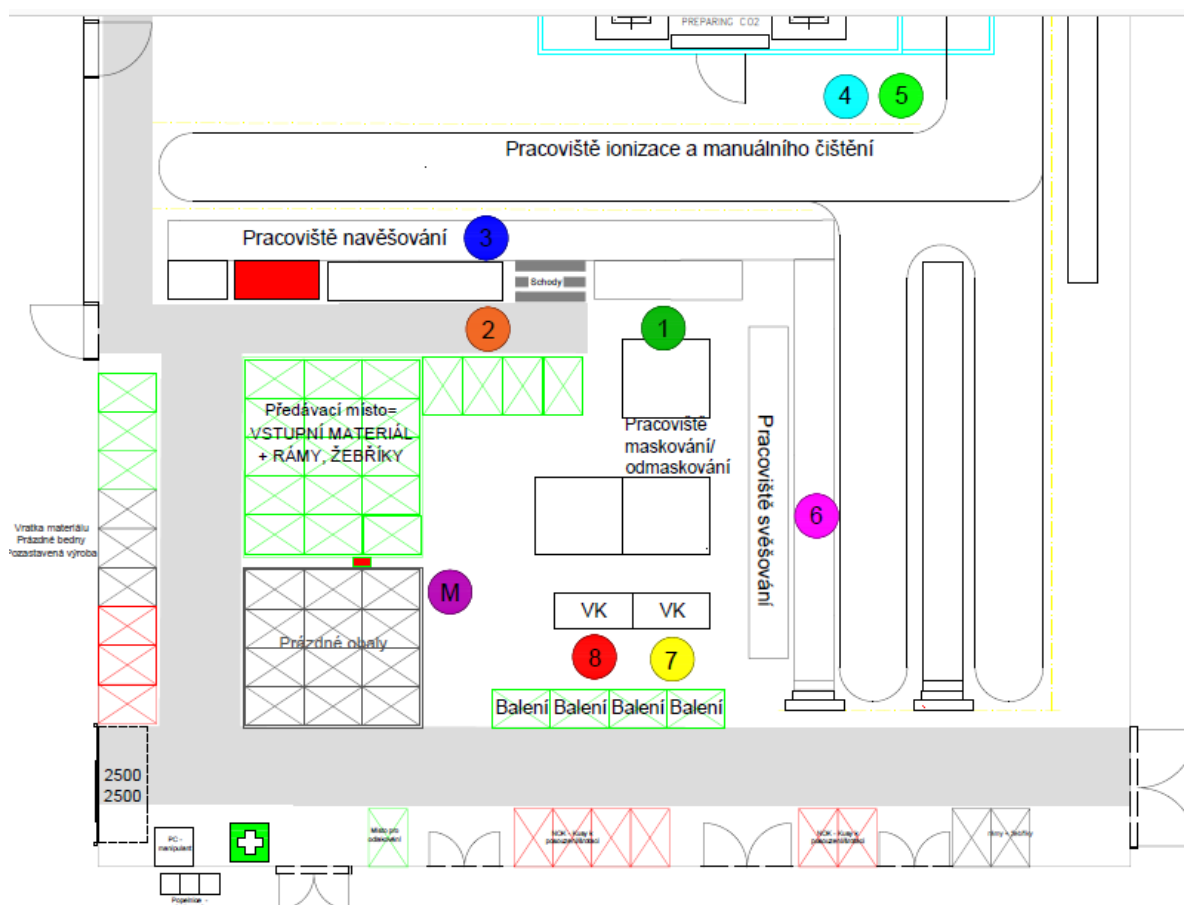
S pomocou pracovníkov na linke 3 bol vytvorený vhodný univerzálny layout (obr. 3), v ktorom je minimalizované plytvanie – zbytočná chôdza, transport a hľadanie a je využiteľný pre všetky projekty, ktoré na danej linke prebiehajú. Materiálový tok je nastavený jednosmerne a optimálny počet operátorov je daný podľa reálne nameraných časov, ktoré sú zobrazené a porovnané v tabuľke č. 1.

Navesovanie kusov na rámiky bude prebiehať v bezprostrednej blízkosti linky, aby sa zamedzilo ďalekému prevážaniu vozíkov. Čas pracovníka 1 sa znížil z 20 sekúnd na ks na 14,25 sekúnd na kus. Dôvodom je znížená manipulácia s vozíkmi, zníženie počtu krokov a zavedením vizualizácie aj zníženie hľadania.

Tým, že vozíky s kusmi na rámikoch budú v blízkosti navesovania, sa zníži čas operátorov 2 a 3 z 5 sekundy na kus na 1,57 sekundy na kus. V tomto prípade, by sme mohli uvažovať len o jednom pracovníkovi, avšak jiggy s kusmi sú ťažké a jeden operátor by ich nezvládol navesiť. Preto budú operátori 2 a 3 spolupracovať a spoločne navesovať jiggy na rámy.

Lepším usporiadaním pracoviska sa znížila aj operácia zvesovania jigov z rámov z 10 na 3,64 sekundy na kus.

Pracovník zvesovania (6) bude reálne stíhať nosiť kusy aj na stôl výstupnej kontroly. Výstupná kontrola a balenie bude spojené. Zamedzí sa tak neustálemu prenášaniu kusov a lepšou organizáciou práce sa zníži čas z 20 sekúnd na kus na 18,41 sekundy na kus.



Obrázek 3 - Univerzálny štíhly layout

Tabulka 1 - Prehľad časov a počtu OP pred a po zavedení metód PI

Operácia	Pôvodný čas operácií [s/ks]	Pôvodný počet OP	Časy po zavedení metód PI [s/ks]	Počet OP po zavedení metód PI
<b>Takt linky</b>	4,17	1	4,17	1
<b>Navesovanie kusov na jigy</b>	25	3	14,25	1
<b>Navesovanie jigov na rámy</b>		2	1,57	2
<b>Ionizácia a manuálne čistenie</b>	20	1	3,79	2
<b>Zvesovanie jigov z rámov</b>	10	3	3,64	1
<b>Výstupná kontrola</b>	20	2	18,41	2
<b>Balenie</b>				
<b>Spolu</b>	75	11	41,66	8

Na základe vhodného layoutu a zistenia reálnych časov bol zvolený optimálny počet operátorov, ktorý je potrebný k plynulému toku materiálu od vstupného skladu po expedovanie hotových výrobkov k zákazníkovi. Počet operátorov bol znížený z pôvodných 11 na 8 pracovníkov.

### Zavedenie vizualizácie

Pri realizácii layoutu vo výrobe boli označené páskami: uličky, paletové miesta, miesta pre vstupný materiál, prázdne obaly, stoly a hotové výroby podľa interných pravidiel spoločnosti, ktoré boli navrhnuté priemyselným inžinierom. Tým sa odstránilo plytvanie vo forme hľadania, nadbytočných pohybov, zbytočného transportu a bol splnený ďalší vedľajší cieľ diplomovej práce a projektu.

### Štandardizácia práce

Pri pozorovaní pracovníkov a následne urobených rozhovoroch s nimi boli spracované pracovné inštrukcie s dostatočnou vizualizáciou aj pre zahraničných pracovníkov.

## 4 Záver

Lepším usporiadaním pracoviska a využitím stolov, ktoré už boli vo výrobe používané sa znížilo nielen plytvanie (minimalizovala sa chôdza, zbytočný transport a hľadanie), ale finančne sa nemuselo investovať niekoľko desiatok tisíc korún českých na nové vybavenie pracoviska.

Do pôvodných ročných nákladov je zahrnuté len mzdové ohodnotenie jedenástich pracovníkov, ktorí pracovali na danom projekte.

Celkové ročné náklady po implementácii nového layoutu sú 1 992 000,- Kč. Úspora je viditeľná už v prvom roku, a to 516 000,- korún českých.

*Tabulka 2 - Úspora znížením počtu OP*

	<b>Pôvodne</b>	<b>Znížením počtu OP</b>
<b>Náklady v 1. roku</b>	2 508 000	1 992 000
<b>Preplatok/Úspora</b>	0	516 000

Usporiadaním pracoviska, zavedením vizualizácie a štandardizácie boli znížené časy operácií, ktoré po zmene layoutu boli reálne namerané a bilancia je nasledovná:

- Vešanie kusov na rámy sa znížilo z 25 sekúnd na kus na 15,82 sekúnd na kus, to je o necelých 37%.
- Ionizácia a manuálne čistenie kusov sa znížilo z 20 sekúnd na kus na 3,79 sekúnd na kus, to je o 81%.
- Zvesovanie kusov z rámov z 10 sekúnd na kus na 3,64 sekúnd na kus, to je o 64%.

Taktiež je dôležité spomenúť, že layout je vytvorený nielen pre nami analyzovaný projekt, ale je využiteľný pre všetky projekty, ktoré prebiehajú na linke 3. To znamená stoly navesovania, slúžia pri inom projekte na maskovanie kusov maskovacími prípravkami, následne na odmaskovanie kusov pred výstupnou kontrolou.

### **Použitá literatura**

- [1] Košturiak, J., Frolík, Z. *Štíhlý a inovativní podnik*. Alfa Publishing, Praha, 2006, 237 s. ISBN 80-86851-38-9.
- [2] Imai, M. *Gemba Kaizen*. Computer Press, Brno, 2005, 314 s. ISBN 80-251-0850-3.
- [3] Bauer, M. *Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě*. BizBooks, Brno, 2012, 193 s. ISBN 978-80-265-0029-2.

# Přehled nástrojů hodnocení zralosti podniku v oblasti průmyslu 4.0

Viktória Hořánek <sup>1</sup>, Josef Basl <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství  
a managementu  
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika  
[viktoria3@kp.v.zcu.cz](mailto:viktoria3@kp.v.zcu.cz)  
[basljo@kp.v.zcu.cz](mailto:basljo@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** V dnešní době si podniky uvědomují důležitost přizpůsobení se změnám a začínají se tedy zabývat zaváděním nástrojů konceptu průmyslu 4.0 zejména proto, aby v budoucnu přežily. Jsou však podniky a jejich procesy připravené na implementaci těchto nástrojů? Pro zjištění v jaké míře připraveni jsou, byly vyvinuty nové modely zralosti neboli nástroje pro hodnocení připravenosti podniků na průmysl 4.0. Stěžejní částí tohoto článku je tedy přehled a charakteristika stávajících modelů zralosti hodnotící koncept průmyslu 4.0 na podnikové úrovni. Součástí je tabulka, která slouží pro snadné srovnání jednotlivých modelů a pro zhodnocení modelu dle toho, zda ve své struktuře obsahuje nebo hodnotí alespoň některé podnikové procesy tak, aby došlo k základnímu vyřazení modelů, které nebude nutné detailněji přezkoumávat pro budoucí výzkum v rámci vývoje nového modelu zralosti.

## 1 Úvod

Již v roce 1979 byl vytvořen základní koncept modelu zralosti, který hodnotil kvalitu organizačních procesů v podniku. [1] Obecněji modely zralosti (MZ) poskytují podniku možný přístup ke zlepšování podnikových procesů. Využitím zralostního modelu podnik zjišťuje a hodnotí svůj aktuální stav (své schopnosti, znalosti, technické vybavení atd.) a zkoumá možnosti zlepšení do budoucna, zejména způsoby, nástroje, metody či aktivity, které má podnik realizovat, aby dosahoval svých strategických cílů a uspěl v konkurenčním prostředí.

Ačkoliv v literatuře existuje velké množství různých typů zralostních modelů (též maturity model), většinou sdílejí některé společné vlastnosti. Zralostní modely jsou založené na stupních zralosti, které vyjadřují vyspělost podniku v určité stanovené oblasti, kterou měří a hodnotí. Obvykle bývá stanoveno tři až šesti stupňů, které jsou řazeny v logické návaznosti od nejzákladnějších stupňů po ty, které značí nejvyšší vyspělost podniku. Každý stupeň má svůj specifický název, případně oblasti a obecný popis vlastností. [2][3] Zralost podniku lze určit též kvantitativním způsobem a to pomocí indexu připravenosti podniku, nemusí být tak přesně popsané jednotlivé úrovně.

Aplikace konceptu průmyslu 4.0 (dále P4.0), spojený s novými funkcemi a inteligentními technologiemi, digitalizací a robotizací, vede ke změně výrobních, podnikových systémů a obchodních modelů. Vliv čtvrté průmyslové revoluce nutí podniky zavádět v rámci výrobního prostředí nové nástroje P 4.0, které však přinesou zlepšení všech podnikových procesů. Koncept P 4.0 vedl ke vzniku nových modelů zralosti, které mohou podniky využít jako odrazový můstek pro zjištění současného stavu své připravenosti a též mohou poskytnout návod, jak postupovat v implementaci nástrojů P4.0.

## 2 Metodika

Smyslem práce bylo vyhledat, přezkoumat a představit jednotlivé modely zralosti nebo též indexy připravenosti podniků na průmysl 4.0 a nalézt modely se zaměřením na hodnocení připravenosti podnikových procesů na koncept P4.0. Dále modely porovnat z několika hledisek a nakonec provést základní filtr, při kterém budou z dalšího výzkumu pro vývoj nového (nebo rozšíření stávajícího) modelu zralosti vyřazeny modely, které se v žádném ohledu, ať už v rámci oblasti či kritérií, nedotýkají podnikových procesů.

## 3 Nástroje hodnocení zralosti podniku v oblasti P4.0

Zralostní modely byly vyhledané pomocí databází např. Google, Google Scholar, SpringerLink, Web of Science, aj. na základě zadávaných klíčových slov. Celkem je v tomto článku zkoumáno třináct nástrojů pro hodnocení zralosti podniku. Nalezené modely byly vyvinuty v posledních třech letech a převážně v evropských zemích. Stručná struktura modelů, jejich původ, charakteristika, záměr aj. jsou popsány v následujících odstavcích.

První model, který byl přezkoumán, je nazván **Singapore smart industry readiness index** [4] vytvořen EDB a společností TÜV SÜD. Z názvu je zřejmé, že zde se jedná o index hodnotící připravenost podniku na průmysl 4.0. Tento samohodnotící nástroj je určen pro všechny průmyslové společnosti bez ohledu na jejich velikost nebo odvětví, v němž působí a je založen především na uznávaném referenčním modelu struktury Industrie 4.0 (zkráceně RAMI 4.0). Rámec indexu hodnocení je složen z 8 pilířů zaměřených. Tyto pilíře dále obsahují celkem 16 dimenzí, které mohou podniky využít k hodnocení. Každá dimenze má definováno a popsáno celkem šest úrovní zralosti, ve kterých se podnik může nacházet. Zpracovaný rámec připravenosti neslouží pouze k posouzení současné připravenosti podniku, ale poskytuje i návod jak vytvořit komplexní roadmapu, tedy jak stanovit komplexní transformační strategii a implementační plán.

Zdá se, že nejznámějším nástrojem pro hodnocení připravenosti je **Impuls - Industrie 4.0 Readiness** vytvořen strojírenským sdružením VDMA a univerzitou RWTH Aachen [5]. Jedná se o komplexní model zralosti podniku pro hodnocení připravenosti strojírenských podniku na P4.0. Podniky díky vytvořenému modelu zjistí nejen svůj současný stav úrovně zralosti v oblasti

průmyslu 4.0, ale též možnosti změn vedoucí k rozvoji ve všech oblastech. Tento nástroj připravenosti je založen na čtyřech oblastech Industrie 4.0: inteligentní továrna, operace a produkty a služby řízené daty a k nim byly určeny dvě další dvě oblasti: strategie a organizace a zaměstnanci. Každá z těchto šesti oblastí dále vymezuje kritéria, které slouží pro měření či hodnocení připravenosti společností na P4.0. Celkem je těchto kritérií 18. Pro samohodnocení podniku byl vytvořený online dotazník. Rámec modelu dle [5] definuje šest úrovní připravenosti, ve kterých se podnik může nacházet v rámci jednotlivých kritérií a obsahuje minimální požadavky, které musí být splněny, aby byla dokončena úroveň.

Další nástroj, který vyvinula společnost **PwC** je model digitální zralosti podniku (**PwC maturity model**) [6], který je určen např. pro automobilový průmysl, energetiku, zdravotnictví, finanční služby a jiné. Model klade do popředí digitalizaci horizontálních a vertikálních hodnotových řetězců společnosti a budování portfolia digitálních produktů a služeb. Model zahrnuje celkem sedm oblastí a čtyři úrovně zralosti obsahují požadavky, které musí podnik splnit, aby dosáhl dané úrovně. Model slouží společností k pochopení, kde se v současné době nachází na své digitální cestě. Podniky mohou provést sebehodnocení pomocí online dotazníku.

Čtvrtým zkoumaným modelem je model zralosti zaměřující se na digitalizaci výroby a specifickěji na Asset Performance Management (APM) neboli na řízení výkonnosti zařízení [7]. Smyslem konceptu **modelu zralosti APM** je pomocí digitalizace řešit problémy zejména s neplánovanou údržbou, poruchami zařízení, nedostatečnou viditelností provozu aj. umožní tak podniku zvýšit efektivitu svého výrobního zařízení a minimalizovat celkové náklady na operace. Model podnikům slouží k jistění současného stavu a pomůže jim rozpoznat oblasti možného zlepšení. Rámec MZ APM definuje 6 oblastí, které hodnotí stávající výrobní zařízení a následně dle zralosti člení oblasti do 5 stupňů. Úrovně nejsou obsáhle definovány, ale lze na základě popisu oblastí provést samohodnocení.

Další komplexně zpracovaný nástroj byl vyvinut na aglické univerzitě University of Warwick. Jedná se o jednoduše a intuitivně zpracovaný nástroj pojmenovaný **An Industry 4 readiness assessment tool** [8], který hodnotí připravenost podniků na základě šesti základních dimenzí (oblastí), které jsou rozděleny na dalších celkem 37 subdimenzí (neboli též kritérií hodnocení). Vypracovaná studie [8] obsahuje podrobný rozpis dílčích dimenzí a subdimenzí a jejich rozdělení do čtyř úrovní zralosti (začátečník, středně pokročilý, zkušený a odborník). Jednotlivé úrovně definují požadavky, které je nutné v rámci subdimenze splnit, aby byly naplněny konkrétní úrovně připravenosti. Podniky díky studii mohou nejen zjistit, jak jsou připraveni na P4.0 díky vytvořenému on-line dotazníku, ale též porovnat své výsledky s 53 jinými společnostmi.

The Digital Readiness Assessment Maturity Model (**DREAMY**) [9] je MZ vytvořen pouze pro zjištění digitální zralosti podniků pomocí online dotazníku. Model je založen na celkem třech dimenzích (úrovně zralosti, dimenze,

oblasti). Definuje celkem 5 úrovní zralosti, které jsou upraveny tak, aby podchytily digitální připravenost podniku, především ve výrobních procesech. Dále je struktura modelu složena z pěti oblastí (též výrobních procesů), které mají dále definované podoblasti (subprocesy) a v rámci těchto oblastí hodnotí celkem čtyři kritéria – dimenze. Model lze celkem snadno doplnit o další podoblasti a hodnotit je ve stejných dimenzích. Umožňuje vyhodnotit současný stav připravenosti výrobního podniku na digitální transformaci v různých oblastech podle různých dimenzí.

Výzkumníci z rakouského Fraunhoferu a z rakouské Vienna University of Technology vytvořili komplexní model pro hodnocení podniků rozšířením stávajících modelů zralosti a to **Industry 4.0 Maturity Model**. Model [10] se zaměřuje na výrobní podniky s vlastní výrobní technikou (B2B nebo B2C). Vytvořený model definuje devět oblastí, ke kterým bylo přiděleno celkem 62 položek neboli kritérií pro hodnocení zralosti podniku v P4.0. Každé kritérium může procházet pěti úrovněmi zralosti, které nejsou definované. Vyhodnocení zralosti v rámci podniku se provádí pomocí uzavřeného standardizovaného dotazníku, který nebyl dohledán a nejsou též známe všechny kritéria. Dle [10] je ke každému kritériu vytvořena jedna otázka, která vyžaduje odpověď (uzavřenou) na stupnici od 1=nepřipravenost na P4.0 až 5=plně implementovány nástroje P4.0. Přičemž kritéria nemají stejný význam pro rozvoj směrem k P4.0, proto byly jednotlivým kritériím stanovené váhy. Výsledný výpočet úrovně zralosti každé oblasti je počítán jako vážený průměr všech kritérií zralosti v rámci související oblasti.

**Digitalization degree in manufacturing industry** [11] je nástroj navržen německou univerzitou a jehož smyslem je zaměřit se na měření úrovně digitalizace dvou hlavních oblastí a to na výrobní proces, skládající se dále z pěti hodnocených podoblastí a na celý hodnotový řetězec tvořící 13 hodnocených podoblastí. Hodnotícím kritériem v tomto modelu je automatizace. V rámci studie byl pro podniky vytvořen online dotazník, jehož odpovědi odpovídají stanoveným stupňům digitalizace v definovaných oblastech. Pro výrobní proces lze hodnotit podoblasti na stupnici od 1-převážně ručně do 4-samoregulační a pro hodnotový řetězec od 1-převážně ručně do 3-vysoce automatizované. Na základě získaných indexů obou oblastí jsou definovány čtyři skupiny podniků, ke kterým se hodnocený podnik může přiřadit.

**Digital maturity model** [12] vyvinut švýcarskou univerzitou je určen pro zjištění současného stupně digitální zralosti podniku a pro porovnání s jinými podniky. Celkem model obsahuje devět dimenzí a každá dimenze modelu obsahuje určitý počet kritérií nebo též požadavků na digitální zralost. Požadavky v konkrétní dimenzi jsou hodnoceny dle toho, do jaké míry je podniky plní, obvykle na základě stupnice od 1 „neplatí“ do 5 „platí do velké míry“. Úrovně zralosti nejsou definovány. Podnikům je k dispozici veřejně přístupný dotazník se všemi dimenzemi a jejich požadavky se stanovenou stupnicí, pro samohodnocení.

Dalším zkoumaným modelem je **SIMMI 4.0** (System Integration Maturity Model Industry 4.0) [13] umožňuje podniku zhodnotit svou IT systémovou oblast se zaměřením na požadavky Industry 4.0. Jsou zde definovány 4 dimenze, které vycházejí obecněji ze základních požadavků na průmysl 4.0 a jsou to vertikální integrace, horizontální integrace, vývoj digitálních produktů a technologická kritéria napříč oblastmi. Každá dimenze je v modelu popsána. Model je dále rozdělen do pěti úrovní, ve kterých se podniková informatika může v rámci přechodu na průmysl 4.0 nacházet. Úrovně jsou podrobněji rozepsané v rámci jednotlivých dimenzí a obsahují požadavky či charakteristiky, které podnik v daném stupni splňuje. Navíc model uvádí pro každý stupeň klíčové aktivity, které musí být provedeny, aby bylo možné dosáhnout vyššího stupně zralosti. Nevýhodou je, že zatím neobsahuje žádný samohodnotící dotazník.

**M2DDM** neboli Maturity Model For Data-driven Manufacturing [14] je model jehož smyslem je pomoci podnikům hodnotit zralost jejich IT architektury, pokud jde o datově řízenou výrobu a Industrie 4.0. M2DDM se skládá ze šesti úrovní zralosti založených na šesti základních prvcích IT architektury, které přímo podporují dosažení cílů P4.0 a zvyšují efektivitu při získávání znalostí z dat, a uvažující tři referenční architektury. Úroveň 0 je nejnižší, a předpokládá, že neexistuje prakticky žádná integrace jakéhokoli druhu a že data nejsou uložena ani používána žádným způsobem. Nejvyšší pátý stupeň vyjadřuje samooptimalizující továrnu, která plně integruje všechny systémy, zařízení a data v celém životním cyklu produktu a využívá statistiky o těchto datech k automatické optimalizaci všech výrobních procesů. Veškeré stupně zralosti datové IT architektury jsou popsány, ale není vytvořena metodika pro hodnocení současného stavu podniku. Součástí modelu je popis kroků nezbytných k dosažení další úrovně zralosti.

**Reifegradmodell Industrie 4.0** [15] byl vyvinutý na Fachhochschule Oberösterreich ve spolupráci s Mechatronik-Clusters. Cílem modelu je pomoci podnikům, které jsou členy clustru, určit současnou připravenost na P4.0 ve třech dimenzích (3D struktura modelu - Data, inteligence, digitální transformace) a srovnat ji s ostatními podniky v oboru a též navrhnout cílené akce pro zlepšení úrovně zralosti. Pro hodnocení zralosti podniku jsou každé dimenzi přiřazena kritéria (u některých i subkritéria), kterých je celkem 24. Úroveň zralosti je měřen pro každé kritérium/subkritérium zvlášť pomocí referenční tabulky se stupněmi od 0 do 10. Čím vyšší je stupeň, tím je v podniku aplikováno více aspektů P4.0 v rámci dimenze. Výsledkem jsou tedy tři indexy zralosti vyjadřující současný stav- nejsou přesně definované úrovně zralosti. Jaké aspekty berou v úvahu stupně jednotlivých kritérií, z článku není známo a tedy ani akce vedoucí ke zlepšení – vyšší úrovni.

Dalším zkoumaným samohodnotícím modelem je **Industry 4.0 – MM** [16] původem z technické univerzity v Ankaře, který podnikům pomáhá hodnotit zavádění technologií Industry 4.0 ve výrobních podnicích. Struktura modelu je založena na pěti hodnocených oblastech a šesti úrovních zralosti, ve kterých se podnik může nacházet v případě, že splní požadavky definované pro

jednotlivé úrovně. Požadavků je v rámci všech úrovní celkem devět a jsou napojeny na oblasti.

I česká republika se zabývá digitální zralostí svých podniků a pracovní skupina, Svazu průmyslu a dopravy České republiky, **Firma4.cz** vytvořila online dotazník [17] pro hodnocení současného stavu. Rámec modelu zralosti a případný popis úrovní není znám, ale lze ho odvodit z veřejného dotazníku. Dotazník hodnotí digitalizaci ve 12 oblastech přiřazených do pěti bloků a jsou následující: 1. Leadership, lidský potenciál, otevřenost firemní kultury vůči digitalizaci, 2. byznysový model, zákaznická orientace a digitální produkt, 3. operační model, digitální hodnototvorné prostředí a digitální řízení, 4. technologie, 5. práce s daty a datová kultura. Hodnocení probíhá na základě pokládání několika otázek k jednotlivým oblastem tak, aby podnik vybral vždy jednu z pěti předem definovaných odpovědí. Lze usoudit, že v tomto případě je model sestaven do 5 stupňů.

Velká část nástrojů hodnotících úroveň připravenosti podniku na P4.0 hodnotí aspekty průmyslu 4.0 především na strategické úrovni a ve výrobních procesech. A to proto, že samotný koncept průmyslu 4.0 je vázán na výrobu s výsledkem dosáhnout označení Smart Factory. Radikální změny ve výrobě však ovlivní všechny podnikové procesy. Proto je na místě se zabývat připraveností podnikových procesů na P4.0. Po přezkoumání výše uváděných modelů bylo zjištěno, že zatím nebyl vyvinut takový model, který by komplexně hodnotil připravenost všech podnikových procesů na P4.0 nebo procesy jiné než hodnototvorné (klíčové/hlavní), a proto je zde prostor pro vývoj nového modelu či rozšíření stávajícího modelu zralosti v oblasti podnikových procesů a to i pro procesy řídicí a podpůrné.

## 4 Srovnání modelů

Tabulka níže obsahuje jak přehlednou charakteristiku jednotlivých modelů tak hodnotí modely z několika hledisek. Prvním hlediskem je účel použití modelu. Model může sloužit podniku ke stanovení a hodnocení současného stavu připravenosti / zralosti a přiřazení do určité úrovně zralosti – popisný účel, nebo může po provedení hodnocení současného stavu sloužit pro srovnání podniku s jinými podniky – srovnávací a v nejlepším případě může model poskytovat rady, návody, kroky, akce k dosažení vyšších úrovní zralosti – normativní účel. Dále porovnává MM dle toho, zda je veřejně dostupný dotazník nebo online dotazník či rámec modelu pro samohodnocení podniků. Poslední hledisko poukazuje na modely, které berou v úvahu, příp. hodnotí procesní přístup či zralost jakéhokoliv podnikového procesu, tak aby byl proveden základní filtr modelů pro následující výzkum.

Tabulka 1 – Srovnání jednotlivých modelů zralosti

Model	Zaměření	Úrovně / způsob hodnocení	Účel použití	Dostupnost	Podnikové Procesy*
<b>MZ1</b> [4]	P 4.0 a průmyslové podniky	Posouzení dle popisu 16 kritérií (oblastí) v definovaných 6 úrovních	Popisný	Veřejně dostupný jako průvodce pro samohodnocení	Ano
<b>MZ2</b> [5]	P 4.0 a průmyslové podniky	Posuzováno je 6 oblastí dle celkem 18 kritérií definované pro 6 úrovní	Popisný Normativní Srovnávací	Veřejně dostupný jako průvodce i online dotazník	Ano
<b>MZ3</b> [6]	Digitální zralost podniku	Hodnotí 7 oblastí, jejichž požadavky přiřazuje do 4 úrovní	Popisný	Veřejně dostupný online dotazník	Ano
<b>MZ4</b> [7]	Digitalizace v rámci řízení výkonnosti zařízení	Hodnocení dle popisu 5 úrovní zralosti obsahující požadavky 6 oblastí	Popisný	Veřejně dostupný jako průvodce pro samohodnocení	Ano
<b>MZ5</b> [8]	Komplexní nástroj pro P 4.0	Posuzováno je 6 oblastí a jejich kritéria (37) jsou členěny do 5 úrovní zralosti	Popisný Normativní Srovnávací	Veřejně dostupný online dotazník a zpráva popisující rámec MM	Ano
<b>MZ6</b> [9]	Digitální zralost výrobních podniků	5 úrovní zralosti, hodnotí se 5 oblastí dle 4 kritérií	Popisný	Veřejně dostupný online dotazník a rámec MM jako výzkumný článek	Ano
<b>MZ7</b> [10]	P 4.0 a výrobní podniky	Nedefinovány úrovně; Hodnotí 62 kritérií rozdělených do 9 oblastí na stupnici 1-5 (výsledkem indexy)	Popisný	Dotazník není veřejně dostupný, dostupný neúplný rámec MM jako výzkumný článek	Ano
<b>MZ8</b> [11]	Digitalizace výroby a hodnotového řetězce	Hodnocení dvou oblastí a jejich kritérií (5+13) na základě stupnice. Výsledné indexy dvou oblastí definují 4 typy podniků	Popisný Srovnávací	Dotazník není veřejně dostupný, rámec MM dostupný jako výzkumný článek	Ano
<b>MZ9</b> [12]	Digitalizace	Úrovně definovány po provedeném průzkumu. Na základě stupnice hodnotí určité požadavky celkem 9 oblastí	Popisný Srovnávací	Veřejně dostupný dotazník a rámec MM jako studie	Ne
<b>MZ10</b> [13]	IT systémová oblast a požadavky průmyslu 4.0	Posouzení na základě 5 úrovní zralosti popisující požadavky 4 oblastí	Popisný Normativní	Samohodnocení na základě popisu, rámec modelu dostupný jako výzkumný článek	Ne
<b>MZ11</b> [14]	IT architektura a datově řízená výroba	Posouzení dle popisu 6 úrovní zralosti založené na 6 oblastech	Popisný	Samohodnocení na základě popisu, rámec modelu dostupný jako výzkumný článek	Ne
<b>MZ12</b> [15]	P 4.0	Posouzení zralosti je ve třech oblastech, jejichž kritéria (celkem 24) jsou hodnoceny na stupnici 0-10	Popisný Normativní Srovnávací	Dotazník dostupný jen určitou skupinu podniku, rámec modelu dostupný jako článek v odborném časopise	Ne
<b>MZ13</b> [16]	P 4.0 ve výrobních	6 stupňů zralosti, posouzení dle popisu	Popisný Normativní	Samohodnocení na základě popisu, rámec	Ano

	podnicích	5 oblastí a stanovených požadavků pro splnění úrovně		modelu dostupný jako výzkumný článek	
<b>MZ14 [16]</b>	Digitalizace podniku	Úrovně nejsou definovány; hodnotí digitalizaci ve 12 oblastech	Popisný	Pouze online dotazník, bez dostupného rámec MM	Ano

\*zda modely obsahují či hodnotí alespoň některé podnikové procesy

Z tabulky lze porovnat modely dle toho, na jaké podniky či oblasti se jednotlivé modely zaměřují (co hodnotí), jaký je jejich účel použití, dále jak je provedeno jejich hodnocení, kolik obsahují úrovní zralosti, kolik oblastí a kritérií je hodnoceno a zda jsou dostupné pro samohodnocení podniku ať už pomocí dotazníku nebo na základě popisu oblastí a požadavků pro jednotlivé úrovně. Srovnávací tabulka může sloužit podnikům pomoci vybrat model, který budou chtít v rámci svého hodnocení použít.

Po přezkoumání modelů došlo ke zjištění skutečnosti, že zatím nebyl vyvinut model, který by komplexně hodnotil připravenost všech podnikových procesů na průmysl 4.0 a lze se na něj zaměřit v budoucím výzkumu. Tabulka proto dále hodnotí modely dle toho, zda ve své struktuře obsahují nebo hodnotí alespoň některé podnikové procesy, z důvodu, aby došlo k základnímu vyřazení modelů, které nebude nutné detailněji přezkoumávat pro budoucí výzkum v rámci vývoje nového modelu zralosti. V rámci tohoto vyhodnocení dochází k vyřazení čtyř modelů z dalšího výzkumu, V tabulce jsou modely neobsahující či nehodnotící podnikové procesy označeny v posledním sloupci výrokem „Ne“.

Pro další průzkum v rámci vývoje nového či rozšíření stávajícího modelu, který bude pojímat oblast podnikových procesů, bude důležité identifikovat problémy a mezery, které současné modely, zabývající se alespoň malou částí hodnocením procesů, zahrnují a provést na detailní úrovni hodnocení těchto modelů. Hodnotit modely lze z mnoha různých hledisek např. hodnotit detailnost popisu jednotlivých modelů, úplnost popisu metod hodnocení, které jsou pro měření použity, i podle toho, zda modely hodnotí důležité aspekty průmyslu 4.0 a další.

Provedená analýza a její následné podrobné hodnocení bude základem pro vývoj nového či rozšíření stávajícího modelu zralosti v oblasti podnikových procesů.

## 5 Závěr

Tento článek shrnuje identifikované nástroje pro hodnocení připravenosti podniků na průmysl 4.0. Identifikace proběhla na základě přezkoumání literatury především s cílem identifikovat modely zralosti, které řeší připravenost všech podnikových procesů na průmysl 4.0. Výsledně bylo přezkoumáno celkem čtrnáct modelů zralosti (i některých indexů připravenosti), které jsou zde popsány a charakterizovány podle jejich

původu, záměru, způsobu hodnocení či oblastí a kritérií, které hodnotí. A výsledně je vytvořena tabulka pro jejich snadné srovnání a též jsou zde modely zhodnoceny dle toho, zda hodnotí alespoň některé podnikové procesy. Článek též stanovuje následné kroky, které budou provedené v budoucím výzkumu pro vývoj nového modelu zralosti, který bude zaměřen na oblast podnikových procesů v rámci průmyslu 4.0.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] Mullaly, M., *If maturity is the answer, then exactly what was the question?*. In: International Journal of Managing Projects in Business, 2014, roč. 7, č. 2., s. 169–185. ISSN 1753-8378.
- [2] Fraser, P., Moultrie, J., Gregory, M., The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability. In: *IEEE International Engineering Management Conference*. Cambridge UK, 2002, roč. 1, s. 244–249. ISBN 0-7803-7385-5.
- [3] Röglinger, M., Pöppelbuß, J., Becker, J., *Maturity models in business process management*. In: Business Process Management Journal, 2012, roč. 18, č. 2, s. 328–346, ISSN 1463-7154.
- [4] The Singapore Smart Industry Readiness Index [online] Singapore Economic Development Board, 2017, [Cit. 15. 7. 2018], [https://www.gov.sg/~sqpcmedia/media\\_releases/edb/press\\_release/P-20171113-1/attachment/The%20Singapore%20Smart%20Industry%20Readiness%20Index%20-%20Whitepaper\\_final.pdf](https://www.gov.sg/~sqpcmedia/media_releases/edb/press_release/P-20171113-1/attachment/The%20Singapore%20Smart%20Industry%20Readiness%20Index%20-%20Whitepaper_final.pdf)
- [5] Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M., *IMPULS - Industrie 4.0- Readiness*, Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln, 2015.
- [6] Industry 4.0 - Self Assessment [online] PricewaterhouseCoopers, [Cit. 15. 7. 2018], <https://i4-0-self-assessment.pwc.nl/i40/landing/>
- [7] Asset Performance Management Maturity Model [online] Capgemini: Consulting, Technology, Digital Transformation Services Copyright © 2018 [Cit. 17. 7. 2018], [https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/08/asset\\_performance\\_management\\_maturity\\_model\\_paper\\_web\\_version.pdf](https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/08/asset_performance_management_maturity_model_paper_web_version.pdf)
- [8] Agca, O., Gibson, J., Godsell, J., Ignatius, J., Davies, C. V., Xu, O., An Industry 4 readiness assessment tool [online] WMG, [Cit. 29. 7. 2018], [https://warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/research/scip/industry4report/final\\_version\\_of\\_i4\\_report\\_for\\_use\\_on\\_websites.pdf](https://warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/research/scip/industry4report/final_version_of_i4_report_for_use_on_websites.pdf)

- [9] Carolis, A. D., Macchi, M., Negri, E. a Terzi, S., A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness of Manufacturing Companies. In: *Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing*. Hamburg, Germany, 2017, s. 13–20, ISSN 18684238.
- [10] Schumacher, A., Erol, S. a Sihn, W., A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. In: *Procedia CIRP*. 2016, roč. 52, s. 161–166, ISSN 22128271.
- [11] Bogner, E., Voelklein, T., Schroedel, O., Franke, J., Study Based Analysis on the Current Digitalization Degree in the Manufacturing Industry in Germany. In: *Procedia CIRP*, 2016, roč. 57, s. 14–19, ISSN 22128271.
- [12] Back, A., Berghaus, S., Digital Maturity & Transformation Studie [online] Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St.Gallen und CrosswalkAG, 2016, [Cit. 18. 7. 2018], [https://aback.iwi.unisg.ch/fileadmin/projects/aback/web/pdf/digitalmaturitymodel\\_download\\_v2.0.pdf](https://aback.iwi.unisg.ch/fileadmin/projects/aback/web/pdf/digitalmaturitymodel_download_v2.0.pdf)
- [13] Leyh, C., Schäffer, T., Bley, K., Forstenhäusler, S., SIMMI 4.0 – A Maturity Model for Classifying the Enterprise-wide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0. In: *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, Gdańsk, Poland, 2016, s. 1297–1302, ISBN 978-836081090-3.
- [14] Weber, C., Königsberger, J., Kassner, L., Mitschang, B., M2DDM – A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing. In: *Procedia CIRP*, 2017 roč. 63, s. 173–178. ISSN 22128271.
- [15] Jodlbauer, H., Schagerl, M., Maturity model Industry 4.0 - A process model for the identification of Industry 4.0 potentiale. In: *Lecture Notes in Informatics (LNI), Proceedings - Series of the Gesellschaft für Informatik (GI)*, Klagenfurt; Austria, 2016, roč. 46, s. 1473–1487, ISSN 16175468.
- [16] Gökalp, E., Şener, U., Eren, P. E., Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In *Software Process Improvement and Capability Determination*, 2017, s. 128–142, ISBN 978-3-319-67383-7.
- [17] *Průmysl 4.0 - přípravení na automatizaci podnikání? | Firma 4* [online] Hodnocení digitální zralosti firmy | Firma 4, [Cit. 13. 8. 2018], <http://firma4.cz/hodnoceni-digitalni-zralosti-firmy/>

# Ergonomická optimalizace pracoviště

Ilona Kačerová <sup>1</sup>, Marek Bureš <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika  
[ikacerov@kpj.zcu.cz](mailto:ikacerov@kpj.zcu.cz)  
[buresm@kpj.zcu.cz](mailto:buresm@kpj.zcu.cz)

**Anotace:** Článek je zaměřen na ergonomickou optimalizaci pracoviště ohraňovacího lisu. Nejprve byla zmapována současná situace na pracovišti, poté byly provedeny návrhy na úpravu pracoviště, které přinesou především snížení námahy při práci a zároveň snížení časové náročnosti výroby daných komponentů.

## 1 Úvod

Ergonomii je v dnešní době možné chápat jako nástroj, pro zabezpečení efektivnější výroby a zlepšení konkurenceschopnosti. Jejimi hlavními úkoly jsou vytvoření jednak organizačních a technických podmínek pro zefektivnění lidské práce, ale také snižování nepřiměřené pracovní zátěže a zvyšování pracovní pohody, dosažení efektivní výroby v podmínkách pracovní pohody. To vše bez nebezpečí zdravotního poškození pracovníků, při přizpůsobování pracovního zařízení, postupů a prostředí schopnostem člověka tak, aby mohl plnit pracovní úkoly co nejúčinněji a bez újmy na svém zdraví. Jedním z jejich hlavních přínosů je právě to, že přichází se systémovým přístupem k řešení problematiky člověka ve výrobním procesu. Tento článek se zabývá ergonomií pracoviště ohraňovacího lisu. [1]

## 2 Metodika

Pro řešení a mapování problémových situací byly využity standardní metody a techniky. Ty jsou popsány níže.

### 2.1 Analýza RULA

Metoda RULA neboli Rapid Upper Limb Assessment byla vyvinuta roku 1993 jako ergonomická analýza pracovišť, ve kterých se vyskytuje zatížení horních končetin, krku a trupu. Patří do skupiny metod, které slouží k hodnocení ergonomických rizik při pracovním postoji a manipulaci s břemeny. K hodnocení se využívá pracovní list, který slouží k posouzení požadované polohy. Nejprve je pracovník pozorován a identifikují se jeho rizikové polohy, které jsou následně hodnoceny. Výběr postojů, které by měly být hodnoceny, by měl být založen na základě rozhovoru s pracovníky a počátečním pozorování, čímž se dají nalézt nejtěžší postoje a pracovní

polohy. Dále se řeší držení těla po delší dobu a pozice, kde se vyskytují nejvyšší síly. V rámci analýzy RULA se hodnotí polohy horních končetin, krku, trupu a nohou. Následně se provede skórování a zaznamenávání poloh jednotlivých částí těla. Výsledkem analýzy je tedy vypočítané bodové ohodnocení, které indikuje rizikovost celého procesu. Poté je stanovena celková nálehavost na opatření. Celkové hodnocení se dělí na 4 kategorie, které indikují nálehavost na provedení změn na pracovišti. Tyto kategorie jsou znázorněny v následující tabulce. [2][5]

*Tabulka 1 - Kategorie analýzy RULA [2]*

Skóre	Rizikovost a nálehavost opatření
1 – 2	Zanedbatelné riziko, práce je přijatelná
3 – 4	Malé riziko, potřeba dalšího hodnocení a případných požadavků na změnu
5 – 6	Střední riziko, brzké změny
7	Velmi vysoké riziko, okamžité změny

## 2.2 Tecnomatix Jack

Pracoviště bylo vytvořeno v softwaru Tecnomatix Jack. Software umožňuje umístění přesného biomechanického modelu člověka do virtuálního prostředí, zde je možné mu přiřadit úkoly a následně sledovat jeho výkonnost. K dispozici je jak mužské, tak ženské pohlaví a lze tvořit postavy dle libovolných rozměrů a proporcí, zároveň lze manipulovat s jednotlivými segmenty, které jsou spojeny pomocí kloubů. V softwaru je využita inverzní kinematika, při pohybování s jedním segmentem se automaticky určí poloha ostatních segmentů. Tento program umožňuje provádění několika základních typů vyhodnocení výkonu virtuálního pracovníka. Jedná se například o zobrazení zorného pole, případně o testování kolizí v reálním čase. V softwaru je mimo jiné možné provádět zmíněnou analýzu RULA, případně na pracoviště aplikovat NV 361/2007 Sb. [4]

## 2.3 NV 361/2007 Sb.

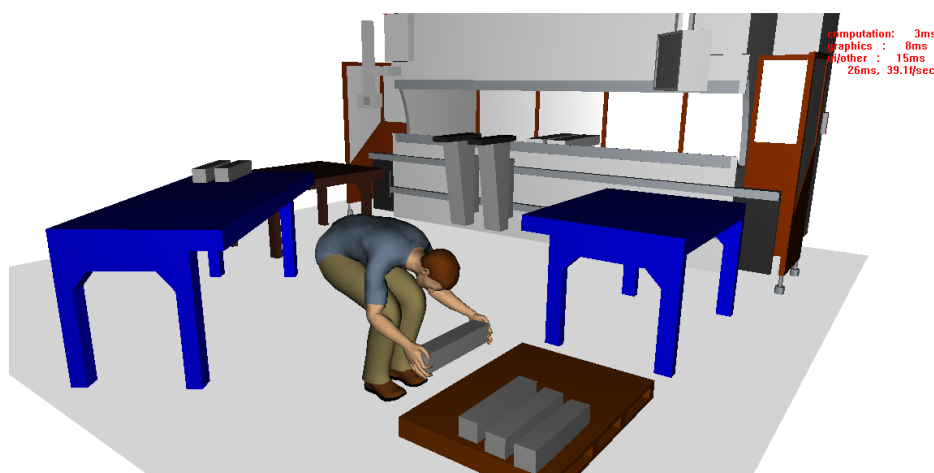
NV 361/2007 Sb. se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci. Hodnotí zdravotní rizika pracovní polohy na základě zařazení mezi přijatelnou, podmíněně přijatelnou a nepřijatelnou pracovní polohu. Průměrný hygienický limit pro dobu práce v jednotlivých podmíněně přijatelných pracovních polohách v průměrné 8 hod směně je stanoven na 160 minut. Průměrný hygienický limit pro polohy v nepřijatelné poloze je stanoven na 30 minut v průměrné 8 hod směně. [3]

### 3 Analýza současného stavu

Nejprve bylo pracoviště pozorováno a proběhl rozhovor s pracovníky. Poté bylo pracoviště převedeno do 3D modelu. Další oblastí studie bylo samotné řešení pracoviště z hlediska ergonomie. Na pracovišti byla provedena analýza RULA, poté byla v programu Tecnomatix Jack vytvořena animace pohybu pracovníka, na který byla aplikována add on aplikace NV 361/2007 Sb. a bylo vypočteno, kolik minut se pracovník nachází v podmíněně přijatelné a nepříjemné poloze. Po návrzích na zlepšení současného stavu byla vhodnost navrhovaných úprav potvrzena analýzou RULA a bylo znovu aplikováno NV 361/2007 Sb.

Ergonomické prohřešky byly shledány na pracovišti ohraňovacího lisu. Pracovník po opracování dílu odkládal díly na paletu ležící na podlaze. K dispozici měl pracovní stůl, který k této činnosti však nevyužíval.

Následující obrázek zobrazuje pozici, kdy pracovník odkládal opracovaný obrobek na paletu ležící na zemi.



Obrázek 1 - Pracoviště ohraňovacího lisu - situace 1

Pracovník daný obrobek odkládal průměrně 60x za hodinu. Tyto skutečnosti jsou zohledněny ve vstupních datech analýz.

**Rapid Upper Limb Assessment (RULA)**

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title:  Job Number:   
 Location:  Analyst:   
 Comments:  Date:

**Body Group A Posture Rating**

Upper arm: 5  
 Lower arm: 3  
 Wrist: 2  
 Wrist Twist: 1  
 Total: 6

**Body Group B Posture Rating**

Neck: 4  
 Trunk: 4  
 Total: 7

Muscle Use: Normal, no extreme use  
 Force/Load: < 2 kg intermittent load  
 Arms: Not supported

**Legs and Feet Rating**

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

**Grand Score: 7**  
 Action: Investigation and changes are required immediately.

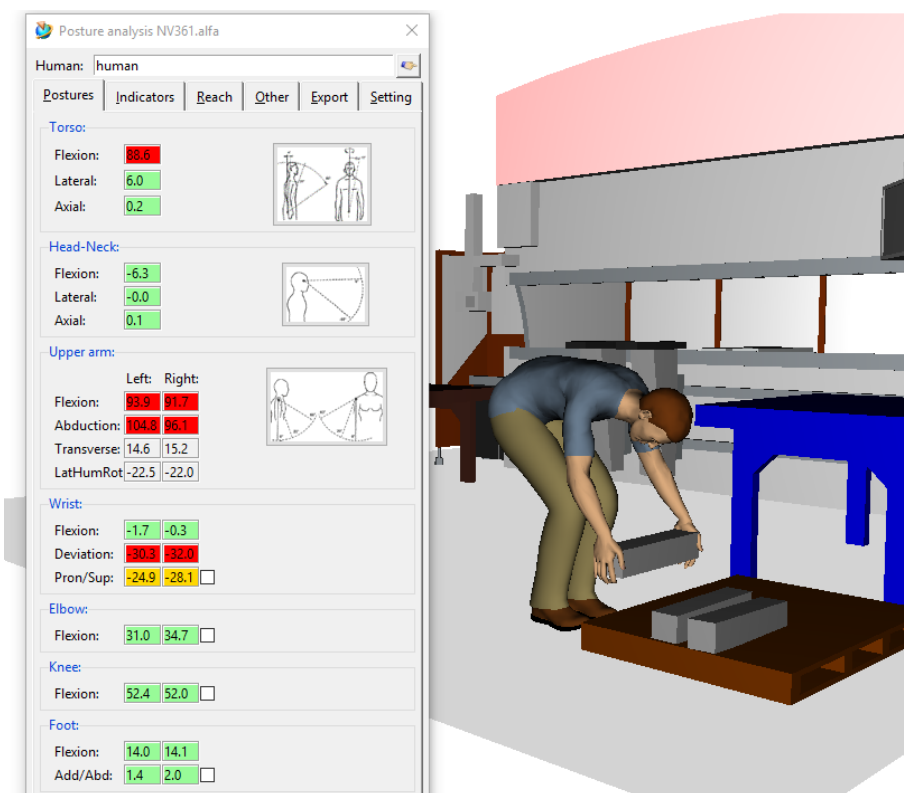
Update Analysis

Usage Dismiss

Obrázek 2 - Výsledky analýzy RULA 1

Obrázek 2 znázorňuje výsledky provedené analýzy RULA. Ta byla softwarem Tecnomatix Jack vyhodnocena číslem 7, spadá tedy do čtvrté – nejhorší kategorie. Je doporučeno zastavení práce a okamžitá změna pracovní polohy. Pro pracovníka je nevhodná poloha horní části rukou, krku a trupu.

V softwaru Tecnomatix Jack byla následně vytvořena simulace pohybu – ohýbání pracovníka k paletě ležící na zemi. Do této simulace byla aplikována add on aplikace NV 361/2007 Sb, z jehož výstupů byly následně vyhodnoceny výsledky. Následující obrázek vyobrazuje pracoviště s výsledky z add on aplikace NV 361/2007 Sb., tyto výsledky zobrazují pouze hodnoty daného pohybu, tedy ohýbání k paletě. Výsledné hodnoty, které byly vyhodnoceny ze simulací, jsou zaneseny do tabulek na následujících stranách.



Obrázek 3 - Špatné odkládání dílů NV 361/2007 Sb.

Červeně znázorněné hodnoty značí polohu nepříjemnou, oranžová políčka jsou polohy podmíněně přijatelné a zelená políčka jsou polohy přijatelné. Z obrázku 3-3 je zjevné, že pracovník má největší problémy se zatížením krku a horních končetin.

Pro porovnání výsledků nebyly zkoumány veškeré pohyby, které NV 361/2007 Sb. obsahuje, byly vybrány pouze některé z nich. Jedná se o TorsoFlex (předklon trupu), TorsoTwist (rotace trupu), TorsoLat (úklon trupu), NeckFlex (předklon krku), abdukci levého ramene, abdukce pravého ramene a levý a pravý loket. Hodnoty jsou ukládány 30 framů za sekundu a to do formátu .csv. Tento dokument byl převeden do Excelu a z něj byla vytvořena databáze. Z této databáze bylo pomocí jednoduchých SQL dotazů zjištěno, kolikrát se během animace pracovník pohybuje v daných mezích. Díky těmto dotazům byly zjištěny následující údaje. Následující tabulka zobrazuje výsledky nesprávného pohybu – odkládání výrobků na paletu, která leží na zemi. První simulace trvá necelých 10sekund.

Tabulka 2 - Počty pohybů nesprávného pohybu

	Torso Flex	Torso Twist	Torso Lat	Neck Flex	Levé rameno abdukce	Pravé rameno abdukce	Levý loket	Pravý loket
<b>Podmíněně přijatelný</b>	9	0	0	255	36	44	0	0
<b>Nepříjemný</b>	48	0	32	43	41	42	0	0

Díky těmto dotazům bylo zjištěno, kolikrát se pracovník pohybuje v podmíněně přijatelné a nepřijatelné poloze. Následné výpočty, jejichž výsledky jsou znázorněny v následující tabulce, se odvíjí od těchto údajů. V tabulce jsou uvedeny časy v minutách, přepočteno na 7,5 hod směnu.

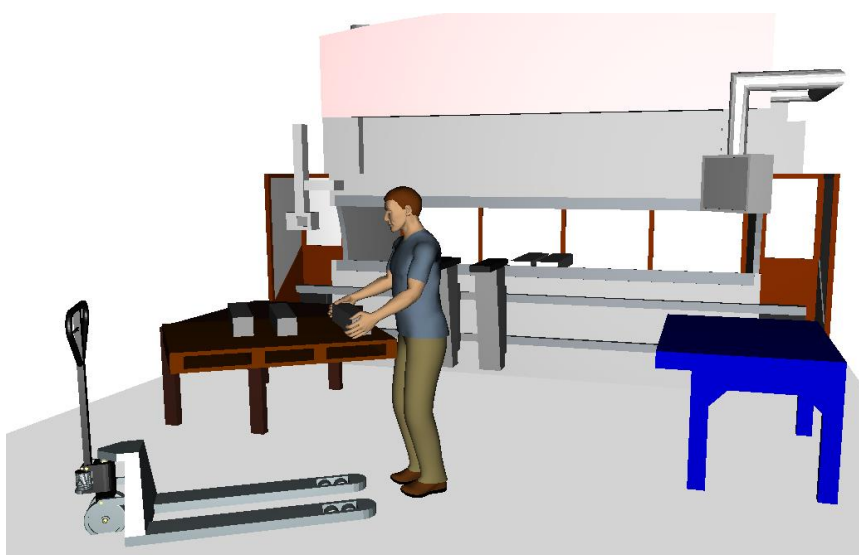
*Tabulka 3 - Výpočet časů ze simulace 1*

	Torso Flex	Torso Twist	Torso Lat	Neck Flex	Levé rameno abdukce	Pravé rameno abdukce	Levý loket	Pravý loket
<b>Podmíněně přijatelný</b>	2,25	0	0	63,75	9	11	0	0
<b>Nepřijatelný</b>	12	0	8	10,75	10,25	10,5	0	0

Čas, který pracovník stráví během průměrné 8hod směny v přijatelné podmíněně přijatelné a nepřijatelné poloze je znázorněn v tabulce výše. Pracovní limity nejsou překročeny, je však vhodné eliminovat nepřijatelné a podmíněně přijatelné polohy na minimum.

## 4 Úprava pracoviště

Změna pracovní polohy je znázorněna na následujícím obrázku – Obrázek č. 4. Za vhodné místo pro odkládání výrobků byl zvolen paletový vozík, na kterém byla vyzdvižena paleta, na kterou by se opracované výrobky odkládaly. Návrh pracoval s paletou vyzdviženou do 1 100 mm.



*Obrázek 4 - Úprava pracoviště ohraňovacího lisu*

**Rapid Upper Limb Assessment (RULA)**

Task Entry | Reports | **Analysis Summary**

Job Title:  Job Number:   
 Location:  Analyst:   
 Comments:  Date:

**Body Group A Posture Rating**

Upper arm: 1  
 Lower arm: 3  
 Wrist: 1  
 Wrist Twist: 1  
 Total: 2

Muscle Use: Normal, no extreme use  
 Force/Load: < 2 kg intermittent load  
 Arms: Not supported

**Body Group B Posture Rating**

Neck: 1  
 Trunk: 1  
 Total: 1

Muscle Use: Normal, no extreme use  
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

**Legs and Feet Rating**

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

**Grand Score: 2**  
 Action: Posture acceptable if not maintained or repeated for long periods.

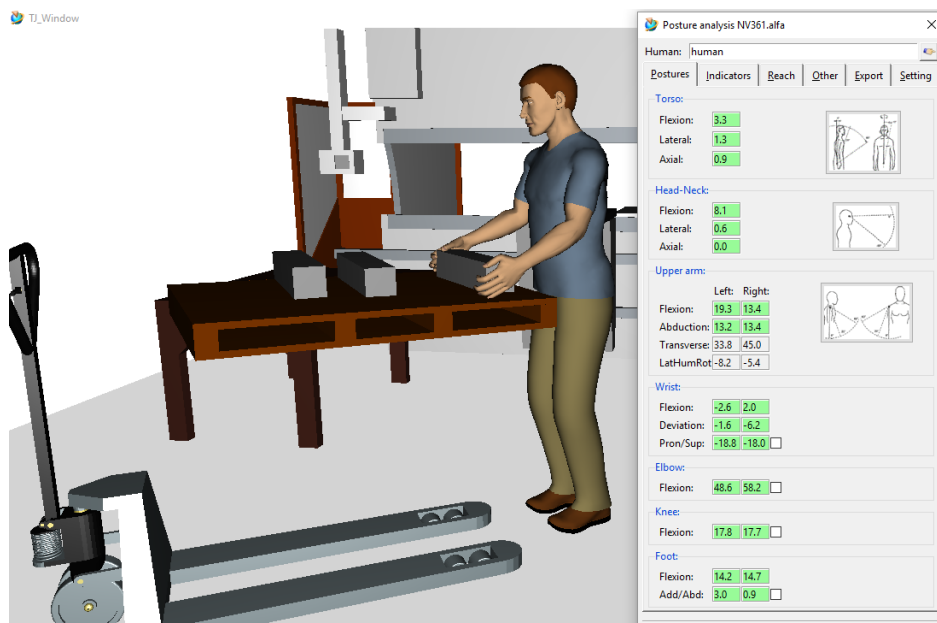
Update Analysis

Usage Dismiss

Obrázek 5 - Výsledky analýzy RULA 2

Program vyhodnotil druhou (vhodnější) pozici výsledkem 2, spadá tedy do první kategorie, tudíž je práce považována za přijatelnou. Je však důležité říci, že rozdělení prací do kategorií RULA analýzy není korespondující s rozdělením kategorií v rámci kategorizace prací v České republice.

Následně byla zpracována animace vhodnějšího pohybu – odkládání obrobků na vyzdvíženou paletu, na něž byla aplikována add on aplikace NV 361/2007 Sb. Tyto výsledky byly následně porovnány.



Obrázek 6 - Vhodné odkládání dílů NV 361/2007 Sb.

Z obrázku výše je zjevné, že poloha těla pracovníka je ve velmi dobré poloze a pracovník by neměl mít žádné zdravotní potíže. Z animace byly poté stejným způsobem vypočteny počty pohybů a z nich byl následně vypočten čas, který pracovník stráví v podmíněně přijatelné a nepřijatelné poloze. Výsledky jsou zaneseny v následujících tabulkách. Simulace druhého pohybu trvala necelých 5 sekund, tento pohyb je tedy zhruba o polovinu kratší, čímž se zkrátí i časová náročnost výroby daných komponent.

*Tabulka 4 - Počty pohybů během simulace 2*

	Torso Flex	Torso Twist	Torso Lat	Neck Flex	Levé rameno abdukce	Pravé rameno abdukce	Levý loket	Pravý loket
<b>Podmíněně přijatelný</b>	0	0	0	22	22	0	0	0
<b>Nepřijatelný</b>	0	0	0	0	0	0	0	0

*Tabulka 5 - Výpočet časů ze simulace 2*

	Torso Flex	Torso Twist	Torso Lat	Neck Flex	Levé rameno abdukce	Pravé rameno abdukce	Levý loket	Pravý loket
<b>Podmíněně přijatelný</b>	0	0	0	0	3,5	3,5	0	0
<b>Nepřijatelný</b>	0	0	0	0	0	0	0	0

Z tabulky je zjevné, že bylo zajištěno eliminování nepřijatelných poloh na minimum, časy podmíněně přijatelných poloh byly také eliminovány. Eliminace bylo dosaženo pořízením paletového vozíku a jednoduchým přeorganizováním daného pracoviště. Případně by bylo vhodné k odkládání výrobků využívat pracovní stoly, které jsou k tomuto účelu primárně určené. V případě využití paletového vozíku by byla zajištěna také jednoduchá úprava a úklid pracoviště v případě potřeby většího prostoru. Tímto přeorganizováním se zároveň dvojnásobně snížil čas dané činnosti.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] Bureš, M. *Tvorba a optimalizace pracoviště*. SmartMotion s.r.o., Plzeň, 2013. ISBN 978-80-87539-32-3.

- [2] A step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool. In: *ergo-plus.com* [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://ergo-plus.com/rula-assessment-tool-guide/>
- [3] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. In: *zakonyprolidi.cz* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>
- [4] TecnomatixJack. In: *digipod.zcu.cz* [online]. [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: <https://www.digipod.zcu.cz/index.php/oblasti-nasazeni/ergonomie/jack>
- [5] Valečková, A. Moderní metody v hodnocení ergonomických rizik. In: *vubp.cz* [online]. 2008 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: [https://www.vubp.cz/ces/soubory/valeckova\\_moderni\\_metody.pdf](https://www.vubp.cz/ces/soubory/valeckova_moderni_metody.pdf)

# Plán výroby se dotváří v dodavatelském řetězci

Michal Kavan <sup>1</sup>

<sup>1</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav řízení a ekonomiky podniku

Karlovo náměstí 13, 121 35, Praha 2, Česká republika

[michal.kavan@fs.cvut.cz](mailto:michal.kavan@fs.cvut.cz)

**Anotace:** Rychlý vývoj e-commerce mění svět výroby, logistiky i poptávky. To se odráží ve významných změnách výrobního plánování. Výrobní podniky České republiky v převážné míře prodávají dodavatelským řetězcům, nejen v oblasti automobilového průmyslu. Přestože jsou tyto podniky v převážné míře ziskové, jejich produktivita by měla být vyšší. Jeden z významných faktorů růstu produktivity moderního výrobního podniku spočívá ve správném výběru a užívání odpovídajícího IT systému a jeho řešení. Článek se zabývá možnostmi přizpůsobení výrobního plánování nejen potřebám podnikové výroby, ale především dodavatelskému řetězci, ve kterém probíhá integrace různých, často si konkurujících podniků, fungujících na principech zisku.

## 1 Úvod

Výrobní plánování je komplexní problém, související s řízením celého podniku. Od všech těchto částí se odvíjí pružnosti organizace výroby, struktura produkčního portfolia, inovační cykly i produktové strategie. Stále ještě se ve výrobním plánování i pro dodavatelské řetězce vyplatí rozlišovat strategické, taktické a operativní plánování.

**Strategické plánování** podnik potřebuje pro znalost dlouhodobého směřování výrobních systémů podniku, pro jeho marketing, rozhodování o investicích, rozvoj lidských zdrojů i pro rozvoj podnikového útvaru vědy a vývoje. Přestože se podnik musí přizpůsobovat dohodám v dodavatelských řetězcích, ve kterých potřebuje fungovat. Které jej živí.

**Taktické a operativní plánování výroby** hraje dál nezbytnou roli, především ve výrobních oblastech, kde dochází k silným materiálovým tokům, jako je nákup, expedice, logistika.

Podstatou výrobního plánování je stále ještě určení cílových hodnot a způsobů jejich dosahování. Zde ale fungování v dodavatelském řetězci přináší změny. Určení cílových hodnot podléhá vyjednávacím poměrům v dodavatelském řetězci. Takže při výrobním plánování musíme brát v úvahu všechny relevantní vnitřní faktory, ale kromě toho i faktory vnější, které ovlivňují saturaci dosahování cílových hodnot podniku, včetně požadavků na výrobu [1]. Čím dál víc je třeba se ve výrobě podřizovat zákonitostem článků dodavatelských řetězců. Nejen v automobilovém průmyslu.

## 2 E-commerce mění výrobní plánování

Základním plánem podniku je jeho globální strategie, protože většina z nich funguje pro více konkurenčních dodavatelských řetězců najednou. Fungování podniku v rámci dodavatelského řetězce konkurenční nároky na něho zvyšuje. Protože dodavatelské řetězce si konkurují navzájem. Jedná se o velmi složité multikulturní prostředí. Proto se dnešní pokročilí strategové neschovávají před každodenními výrobními problémy, ale je naopak sledují a analyzují. Teprve z těchto analýz abstrahují svá strategická rozhodnutí.

Výrobní plánování pro dodavatelský řetězec se dá vykonávat s pomocí stále se více rozrůstajícího počtu metod, jako jsou:

- **Přizpůsobené obousměrné plánování (Top-Down/Bottom-Up)**, které je kombinací přístupů jak shora dolů, tak i zdola nahoru. Odchylky mezi oběma směry potom musí být, v reálném čase, průběžně koordinovány a doladovány. To se v dnešních počtech hromadné výroby globálního světa neobejde bez výkonné výpočetní techniky. Obousměrné plánování je schopno do výrobního systému dodat důležitou zpětnou vazbu - důležitou pro konstrukci dodavatelského řetězce. Je ale manažersky náročnější, především co do pracovního nasazení.
- **Progresivní plánování (Bottom-Up)** je způsobem výrobního plánování, který stanoví cíle a způsoby jejich dosažení, předchozí cestou zdola nahoru. Při tomto procesu poté stanovujeme detailní cíle na spodních úrovních výroby. Ty poté, na stále vyšších úrovních výrobního plánování integrujeme, až do podoby rámcových globálních cílů, se kterými jdeme do vyjednávání v rámci konkrétního dodavatelského řetězce. Dnešní výrobní podniky hrají mezi konkurenty o svůj díl zisku. Musí se o cenách dohadovat v rámci článků příslušného řetězce, nebo přímo s finalistou. Se svými dodávkami se přizpůsobují materiálovým tokům dodavatelského řetězce a jeho globální strategii. Jedná se o konvergentní přístup k výrobnímu plánování. Nevýhodou je jednosměrný postup, takže v takovém plánovacím systému chybí racionální zpětná vazba. Toto omezení lze překonat jen předchozím obousměrným plánováním (Top-Down – Bottom-Up).
- **Retrográdní plánování (Top-Down)** je metodou výrobního plánování, kdy se stanoví cíle i cesty jejich dosažení shora dolů. Nejprve jsou nastaveny globální (rámcové) strategické cíle, vyplývající z flexibilních požadavků toho kterého dodavatelského řetězce. A cesty jejich dosahování. Ty jsou postupně na nižších úrovních organizační hierarchie výroby rozpracovávány, konkretizují se. Jde tedy naopak o divergentní přístup. Nevýhodou je rovněž jednosměrný postup, i když opačný předchozímu. I zde tedy chybí zpětná vazba (FeedBack). Zpětná vazba je základním regulačním mechanismem nejen výrobních

systémů. Porovnáváme plánované hodnoty na vstupu s dosahovanými hodnotami výstupu a rozdíl korigujeme.

### **3 Přizpůsobení výrobního plánu dodavatelskému řetězci**

Spolupráce v dodavatelském řetězci vyžaduje flexibilní využívání různých strategických alternativ, použitelných v rámci taktického výrobního plánování, včetně různých IT řešení.

Významným omezením výrobního plánování, v rámci dodavatelského řetězce, jsou časté pochybnosti vrcholového vedení v tom, co vlastně výrobní plánování v kontextu takové firmy má a nemá vykonávat, a jaké služby má zbytku podniku i jeho dodavatelskému řetězci poskytovat. Většinou své nedostatky znalostí se snaží řešit výběrem toho „správného plánovacího softwaru“. Ten si ale dokáže vybrat jen ten, kdo svou výrobu zná do detailu a ve výrobě přesně ví, co by měl jeho plánovací software splňovat. Tedy přesně zná, jak mají nastavené vstupy i výstupy nového softwaru zapadnout do jeho výrobních procesů. Dnes, za měsíc, za pět let.

Aby racionalizované výrobní plánování fungovalo produktivně, musíte na začátku přesně znát, co kdo potřebuje. Dotyčný v tom musí mít jasno především. Plánovací systém výroby by se tedy neměl snažit řešit všechno na světě, ale jen to co za to stojí. Co se vyplatí. Ušetřený čas a peníze je třeba vynakládat s cílem výnosnosti, návratnosti a rizikovosti.

Také nejde jen tak změnit zažité pracovní postupy. To dokazují zkušenosti z výroby podniků celé České republiky. Software výrobního plánovače dodavatelskému řetězci musí umět odpovědět nejen na následující základní otázky:

- S jakou spolehlivostí, kapacitním využitím a dohledatelností, za dané situace fungujeme?
- Jaký přesně dnes vydat do výroby materiál, dokumentaci atd.
- Kolik přesně dnes objednat od dodavatelů čeho na základě principu tahu?
- Jak vypadá nejlepší možný průběh výroby, za dané situace?
- Jaký je reálný termín dodávky zákazníkovi?
- Jaké je optimální pořadí práce na každém pracovišti právě dnes?
- Jaká je prognóza plnění termínů?
- Kolik mám v daném okamžiku k dispozici kapacit pro uspokojení náhlé poptávky?
- Kolik dílů z této vyrobené dávky skončí v zásobě ve skladu?
- Kolik z tohoto nákupu skončí v zásobě ve skladu?

Každý den musí výroba přesně vědět, na čem pracovat. Obchod, jaké termíny slíbit. Nákup, co na dnešek objednat.

V systému JIT je pro zajištění hladkého toku produkce zapotřebí přesných informací: o zásobách, dostupných materiálových zdrojích, především uvnitř samotných výrobních procesů. Kapacity a materiál jsou provázané nádoby a drahé výrobní zdroje. Plýtvat s nimi v globální konkurenci už nejde, hrozí vyloučení z dodavatelského řetězce a tím pádem bankrot.

## **4 Při výběru software**

Při výběru je možné se rychle ztratit v záplavě možností, plynoucích z toho, že přesně nevíme, co vlastně potřebujeme. Při úvahách o efektivním plánování výroby APS (Advanced planning and scheduling) musíme hledět spíš než na možnosti software – na to, co přesně od svého počítačového plánování vlastně potřebujeme. Teprve potom hledáme odpovídajícího IT partnera.

### **MRP nebo MRP-I (Material Resources Planning)**

Tato metoda svým výrobním plánováním dělí materiálové požadavky výrobního řetězce mnohem důsledněji, než kupříkladu excelovské tabulky. Toto plánování navazuje na podnikové logistické toky. Řeší odděleně zásobování, skladování a dopravu. Systém se řídí zákaznickými požadavky a pracuje na principu vyrovnávání bilance požadavků s jejich uspokojováním. Systém MRP-I dokáže ve standardní situaci za pomoci dispečerů udržet pouze skladové zásoby v mezích. Při neplánovaných odběrech ze skladu se většinou řídí termínovými prioritami. Dodací termíny v MRP-I vycházejí jako souslednost dodacích dob, jednotlivých materiálů a zpracovacích časů, v technologických postupech.

Objednané materiály zůstávají ležet ve skladu dle toho, jak rychle se dají koupit na trhu. Speciální šarže vyžadují vysoké zásoby. Materiálové položky se řídí výškou svých potřeb.

### **MRP II - Manufacturing (Material and Capacity) Resources Planning**

Koncept MRP-II je rozšířením předchozího. Navíc obsahuje problematiku plánování a využívání kapacit. Předchozí koncepce byla založena na předpokladu, že výrobní kapacity jsou neomezené. MRP II je iterační postup, kde se zadávají materiálové i kapacitní požadavky, včetně počátečních, nebo koncových termínů výroby.

Systém MRP-II od počátečního termínu dopředu, nebo od koncového termínu dozadu - rozplánuje výrobu dle zadaných požadavků. Dokáže upozornit na nereálný záměr, pokud je výsledný termín neuskutečnitelný. Například konečný termín výroby, vychází s reálnými časy dodání materiálu a reálnými kapacitami, týden před dnešním dnem. Potom upozorní, že je třeba plán změnit. Alternativami mohou být posuny termínů, nebo pokud je to v dodavatelském řetězci neakceptovatelné, zvýšit kapacity. Potom následuje další iterace. Pokrok v možnostech výrobního plánování je podmíněn

výkonností výpočetní techniky. Ta je dnes na úrovních, jež dříve neexistovaly a možnosti se dál rychle rozvíjí.

## **ERP - Enterprise Resource Planning**

Pojem ERP přímo nesouvisí jen s plánovacími metodami výroby, ale je spíš synonymem pro celou integrovanou skupinu informačních systémů, určených pro řízení celého podniku. Tyto systémy jsou už dnes schopny plánovat kromě již uvedených materiálových požadavků, termínů a kapacit – také spotřebu finančních zdrojů ve výrobě. Protože pro realizaci i výborně sestaveného výrobního plánu potřebujeme odpovídající finance na nákup materiálu, energií a vyplacení mezd. ERP je schopen znázornit alternativy takového financování, kupříkladu různé varianty půjčení peněz a jejich splácení.

Vlastní softwarové produkty pro moderní podporu plánování a řízení výroby v dodavatelském řetězci, lze zhruba dělit do dvou následujících kategorií:

- **Velké ERP systémy** s integrovaným pokročilým plánováním i rozvrhováním výroby. Mezi zástupce podobných ERP systémů lze uvést například Baan, LOGIS Enterprise Solution, SAP, Oracle atd. Tyto systémy mají svoji základní funkcionalitu vybudovanou na dříve uvedených principech ERP. Ve svých nejnovějších verzích ale již dokáží integrovat dříve uvedené specializované IT výrobní systémy třídy APS.
- **BaanSCS (Supply Chain Solutions)** je produkt třídy APS se dvěma základními moduly Planner a Scheduler, které poskytují obvyklou APS podporu - synchronizované plánování, maximální využití úzkých míst, jejichž výsledkem je reálný plán a schopnost dostát svým závazkům. BaanSCS může spolupracovat i s jinými ERP systémy než je Baan. Společnost LOGIS integruje svůj bázev ERP systém LOGIS ES s produktem TradeMatrix od společnosti i2 Technologies. TradeMatrix by se dal ovšem charakterizovat spíše jako SCM (Supply Chain Management) řešení. Společnost SAP vyniká produktem APO - Advanced Planner & Optimizer, který má významně přispět při průniku do segmentu velkých strojírenských podniků, kde SAP zatím neslavil takové úspěchy. APO je robustní, komplexní a vysoce parametrizovatelný produkt, rozšířený o kolaborativní prognózy, optimalizace na základě závislostí a genetické algoritmy.
- **Samostatné APS systémy** - tyto specializované systémy se zaměřují pouze na problematiku pokročilého plánování a rozvrhování výroby. V některých případech jsou rovněž rozšířeny o funkcionalitu SCM (SCM - Supply Chain Management). Pracují samostatně, ale téměř všechny mají možnost importovat výstupy z klasických ERP systémů, které nemají vlastní APS řešení. Mezi nejznámější patří: OPT Solution Suite od firmy STG, přímo využívající metodologii TOC (Theory of Constraints). Firma STG byla převzata firmou Manugistics Group, Inc. - což potvrzuje propojení produktů typu EPO (Enterprise Profit Optimization), SCM a APS. S-Plan od firmy Greycon, který se propojil se SAP APO, což je ten samý příklad tržní spolupráce mezi dodavateli zdánlivě konkurenčních řešení.

Ve výrobním plánování a řízení výroby je jedinou jistotou to, že bude dál docházet k neustálým změnám původních předpokladů. Příčiny těchto změn pramení z rostoucích IT možností, i z turbulentně se rozvíjející světové ekonomiky. Pokrok v technologiích zkracuje vzdálenosti k potenciálním odbytištím. V současnosti dodavatelské řetězce skutečně dodávají kamkoliv a konkurence je celosvětová.

## 5 Příležitosti na trhu vznikají a zanikají rychleji než dřív

Moderní software pro podporu plánování a řízení výroby musí produktivně podporovat řízení změn. Pro podporu plánování a řízení výroby musí kromě koordinace interních zdrojů podporovat i koordinaci zdrojů externích [2]. Kupříkladu dodavatel má přístup do podnikové oblasti našeho skladového hospodářství a tak může udržovat naše skladové zásoby na dohodnuté úrovni. Moderní výrobní software musí umožnit podporu součinnosti dodávek od více dodavatelů a další.

Moderní software pro podporu plánování a řízení výroby by měl podporovat spolupráci s dalšími specializovanými systémy (SCM: Supply Chain management, CRM: Customer Relationship Management - Řízení vztahů se zákazníky – databázovou technologií podporovaný proces shromažďování, zpracování a využití informací o zákaznících, EPO – elektronická podání a kontrola, datové sklady, internetová tržiště a tak dál).

Plánování ve výrobním podniku musí nutně začínat přijetím objednávky a končit až po vyhodnocení zakázky. Byla expedována kvalitně a včas?

**Přímé řízení výroby – MES** (Manufacturing Execution Systems), neboli Výrobní informační systémy - jsou takové systémy, které tvoří vazbu mezi podnikovými informačními systémy (např. typu ERP) a systémy pro automatizaci výroby (technologických procesů).

Během celé historie vývoje těchto systémů bylo definováno několik hlavních aktivit, které tyto systémy zabezpečují. Několik vybraných:

**Správa výrobních zdrojů** - zabezpečuje přidělování a sledování zdrojů i kapacit, nezbytných pro výrobní procesy. Zdroji bývají osoby, materiál, zařízení, nástroje, energie atd. Tyto informace jsou založeny na aktuálních stavech a budoucích rezervacích. Zajišťuje informaci o dostupnosti zdroje pro přiřazené úkoly a požadované kvalifikaci (školení).

**Správa výrobních postupů** - obsahuje evidenci, správu alternativ a informace o výměně kmenových dat s okolními systémy. Obsahuje výrobní pravidla, týkající se finálních výrobků, kusovníky materiálů, výrobní zdroje a podobně. Všechny tyto informace mají sloužit definici finálního produktu. Správa výrobních postupů může být součástí PLM (Product Lifecycle Managementu).

**Detailní plánování výroby** - plánování výroby je základem úspěšné výroby i významnou součástí výrobních informačních systémů. K plánování výroby

existuje tolik přístupů, kolik je výrobních podniků. Výsledkem plánování výroby je pořadí, ve kterém se budou na výrobních zdrojích zpracovávat jednotlivé výrobní příkazy. Toto pořadí je vytvářeno s důrazem na eliminaci všech druhů plýtvání (zbytečného seřizování strojů, spotřeby energie, prostojů atd.).

**Dispečerské řízení** - je souhrnem aktivit řídících tok výroby, je přiřazováním práce jednotlivým úsekům, zařízením i osobám. Je zajišťováním jen nezbytného množství surovin a energie, sledováním aktuálního stavu výroby. Je operativním řešením výpadků a tak podobně. Finální rozsah podnikového dispečerského řízení je závislý na rozsahu flexibility dodavatelského řetězce, i flexibilitou, zajišťovanou podnikovým detailním plánováním.

**Řízení výroby** – zabezpečuje aktivity, jež řídí dokumenty specifikovanou výrobu. Řízení výroby zabezpečené řídicím informačním systémem zajišťuje kontrolu spotřeby jednotlivých zdrojů a informuje okolní systémy o aktuálním stavu výroby. Řízení výroby v MES systémech je velmi důležité vzhledem k propojení s ERP systémy a případným online zpřístupněním informací o rozpracované výrobě do dodavatelského řetězce.

**Sběr dat** - zajišťuje sběr a archivaci procesních i výrobních dat, stavů zařízení a podobně. Sběr výrobních dat může být v různém typu výroby jiný. Od velmi jednoduchých kusových výrob (kde stačí sběr jen základních informací např. výrobní cyklus stroje), až po rozsáhlé automatizované výroby, ve kterých je zapotřebí sběr tisíců hodnot každou minutu.

**Sledování výrobků a jejich rodokmenu** - je souhrnem aktivit, zabezpečujících poskytování informací o zdrojích (osoby, stroje, ...) - aktuálně užitých pro výrobu finálního produktu, spotřebu materiálu, výrobu meziprojektu a podobně. To je velmi důležité jak z legislativních požadavků, z důvodu auditů, případně řešení reklamací.

**Výkonnostní analýzy** - analýzy klíčových výkonnostních ukazatelů (KPI). Ty se užívají k vyhodnocování úspěchu (pohyblivé složky mezd). Obecně jsou pro každý podnik důležité jiné ukazatele KPI, stanovené vrcholovým managementem, nebo spíše vlastníky. Odvíjejí se od stanovené strategie změn k lepšímu. Asi nejznámějšími ukazateli z oblasti výroby je OEE (Celková efektivita zařízení), obrátka zásob, nebo třeba rentabilita tržeb.

## 6 Diskuze

Je otázkou, zda v praxi českých podniků výrobní plánování především naráží na nešvar chronických problémů s dodavateli. Ti sice mají za povinnost včas dodat jednotlivým výrobním článkům potřebný materiál, ale není na ně vždy spolehnutí. Situace se potom řeší zbytečně velkými předstihy objednávek, které vedou k vysokým nárokům při sestavování cash flow.

Stále zřetelněji potřebujeme, aby výrobní plánování dovedlo rychle najít alternativní průběh výroby, který bude vyhovovat odběratelům a přitom bude ziskový.

Dílčí selhání nemůže zbořit výrobní plán celého řetězce. Proto by měl výrobní plánovač být schopen, jen letmým pohledem na obrazovku, určit momentální produktivitu výrobních procesů. Samozřejmě, za předpokladu neustále aktualizovaných vstupních údajů. Jen tak je možné uhlídat reálný vývoj výroby a být pánem situace.

Výrobní plánování dodavatelských řetězců nekončí denním, či týdenním horizontem. Potřebujeme znát střednědobé i dlouhodobé výhledy. Teprve díky nim lze, s nezbytným předstihem, informovat partnery dodavatelského řetězce v napjatých obdobích konjunktury, kdy je třeba znát převis objednávek značně předem. S problematikou výrobních kapacit souvisí přesčas a najímání agenturních zaměstnanců na exponovaná období. I to je třeba zajistit se značným předstihem. Dopředu potřebujeme také znát přetížené kapacity jednotlivých pracovišť, abychom mohli lépe rozhodnout o přijetí oprávněných přesčasů, expresních dodávek materiálu a varovat články řetězce. Pro zákaznický orientované výrobní firmy je klíčové nevyrábět nic na sklad, ale jen na zakázku.

Pravděpodobnou nevýhodou MRP-II jsou zdlouhavé procesy postupných změn výrobních plánů, při každé změně vstupních požadavků. Je proto třeba nezbytné iterace v určitém okamžiku zastavit a s nimi svázané problémy řešit operativně. Právě odtud pramení literární rozlišování hrubého výrobního plánu a jemného. Hrubý plán je stanovován na základě MRP-II a jemný následně vzniká ručně. Třeba s pomocí výrobní plánovací tabule a Ganttova diagramu.

## **7 Závěr**

Bez podrobné znalosti skutečného průběhu výroby i jejích okamžitých stavů, není možné stvořit objektivní výrobní plán pro dodavatelský řetězec. Ten musí vycházet z reálného stavu rozpracovanosti a z plnění flexibilních výrobních úkolů. Musí rozvrhovat skutečné výrobní požadavky řetězce, včetně zajištění potřebných výrobních zdrojů. Ani dřív, ani později. Převis požadavků na zdroj má tendenci automaticky a rychle produkovat zásoby a naopak převis poptávky nad kapacitami produkuje ještě nákladnější nedodělky [3].

Propojené výrobní plánování s dodavatelským řetězcem se především zabývá zpětnou sledovatelností výroby (Traceability). To se daří za pomoci technologií, které přesouvají komunikaci uživatelů od pracovních PC stanic do míst, kde informace vznikají. Maximálně využívají mobilní čtečky čárových kódů, průmyslové terminály a podobně. Zpětná vazba do plánu výroby tak může probíhat v reálném čase.

Tak lze dosáhnout potřebnou dynamiku plánovacího procesu výroby pro dodavatelský řetězec.

### **Použitá literatura**

- [1] Sussams, J., *Industrial logistics*. Gower Press., London, 1971, 170 s. ISBN 7161 0019 3.

- [2] Rushton, A., *The handbook of logistics and distribution management*. Kogan Page Limited., London, 2009, 612 s. ISBN 978 0 7494 4669 7.
- [3] Dilworth, J., *Operations management*. McGraw-Hill, Inc., New York, 1992, 723s. ISBN 0-07-016988-8.

# Ergonomická optimalizace montážní haly

Martin Kába <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika  
[kaba@kpj.zcu.cz](mailto:kaba@kpj.zcu.cz)

**Anotace:** Tento článek je zaměřen na ergonomickou analýzu pracovišť společně s jejich následnými racionalizačními úpravami. Dále je článek zaměřen na optimalizaci prostorového uspořádání celé montážní haly. Bylo provedeno několik variantních návrhů možného řešení současné situace. Vybrané ergonomické a racionalizační metody byly použity pro zmapování současného stavu montážní haly s následnými návrhy na změny. Tvorba nového layoutu montážní haly respektuje všeobecná ergonomická pravidla za účelem snížení svalové zátěže pracovníků.

## 1 Úvod

V posledních letech široce narůstá význam problematiky v oblasti ergonomie a tím pádem vhodné ergonomické uspořádání pracovišť, správný režim práce a odpočinku, minimalizace zátěže a celá řada dalších různých opatření již nejsou něčím navíc, ale naopak se stávají jakousi nutností pro zaměstnavatele, aby byl schopen si zaměstnance udržet. To však vede ke zdravotnímu prospěchu zaměstnanců, zvýšení produktivity práce a zvýšení pracovní pohody.

Hlavním cílem prezentovaného řešení je vytvoření nového prostorového uspořádání montážní haly. Za tímto účelem bylo nutné provést výpočet plánovaných výrobních kapacit tak, aby bylo např. určeno, kolik montážních linek musí být k dispozici při maximálním požadovaném výkonu.

Dále bylo nutné provést ergonomickou analýzu pracovišť ve vybraných krocích výrobního procesu, na základě kterých se rozhodlo co a jakým způsobem by se mělo změnit. Byly využity moderní ergonomické metody – RULA a analýza dosahových zón.

Z důvodu rozsáhlosti studie se tento článek v ergonomické části omezuje pouze na rozbor třech pracovišť. V části prostorového uspořádání se jedná také o zkrácené řešení, kde je článek zaměřen přímo na finální variantu.

## **2 Metodika**

Při mapování současného stavu a pro řešení problémových situací byly využity standardní metody a techniky, které jsou popsány níže.

### **2.1 Tecnomatix Jack**

Jednotlivá pracoviště byla vytvořena v softwaru Tecnomatix Jack. V Jackovi lze vytvořit postavu muže i ženy s libovolnými rozměry a proporcemi. Lze manipulovat s jednotlivými segmenty, které jsou spojeny pomocí kloubů. Software využívá inverzní kinematiku a při pohybování s jedním segmentem automaticky určí polohu ostatních segmentů. Pro ulehčení namodelování pracovní polohy lze vybrat z knihovny jednu z 30 základních poloh. Jednou z nejpodstatnějších funkcí Tecnomatix Jack je tvorba analýz. Po zadání požadovaných parametrů dojde k automatickému vyhodnocení dané pracovní polohy. V tomto softwaru je mimo jiné možné provádět výše zmíněné analýzy RULA [2] a NIOSH [4] na pracovnících různé výšky a ověřovat tak všechny možné scénáře. Velice prospěšná je i analýza dosahových zón.

### **2.2 RULA**

Metoda RULA (Rapid Upper Limb Assessment) byla vytvořena na univerzitě v Nottinghamu v roce 1993. Tato metoda patří do skupiny metod sloužících pro hodnocení ergonomických rizik při pracovním postoji a manipulaci s břemeny. Metoda je celosvětově známa a uznávána a používá se především pro hodnocení poškození horních končetin vznikajících v souvislosti s pracovní činností. Výsledkem analýzy je vypočítané bodové ohodnocení, které indikuje rizikovost procesu. V rámci této metody se hodnotí polohy horních končetin (nadloktí, předloktí, zápěstí), krku, trupu a nohou. Každé této části těla je přiřazeno určité bodové hodnocení, které vychází z absolutní polohy hodnocené úhlovými rozsahy jednotlivých tělesných partií a již poukazuje na celkovou rizikovost. [1]

### **2.3 Analýza dosahových zón**

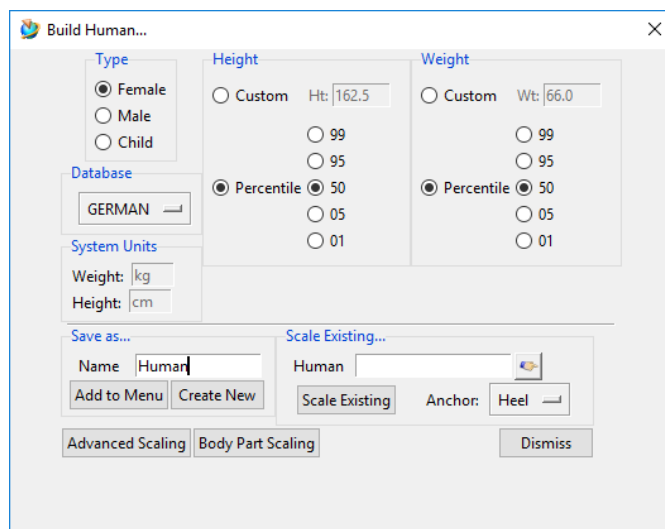
Slouží např. pro určení přesných pozic jednotlivých KLT boxů s komponenty. Díky této analýze je možné vyhodnotit, zdali jsou všechny potřebné komponenty, nástroje a přístroje v odpovídající vzdálenosti od pracovníka. Je zapotřebí detailně znát konkrétní hodnocený pracovní proces, aby měl hodnotitel přehled o frekvenci pohybů do daných dosahových oblastí.

### **2.4 Prostorové upořádání**

Zhodnocení stávajícího stavu prostorového uspořádání výrobního systému ve formě analýzy a 2D zobrazených hmotných toků ve výrobním systému. Dle výsledků analýzy se následně bude hledat optimální návrh prostorového uspořádání, který povede k minimalizaci a narovnání hmotných toků a tím k optimální manipulaci a pohybu ve výrobním systému.

### 3 Analýza současného stavu

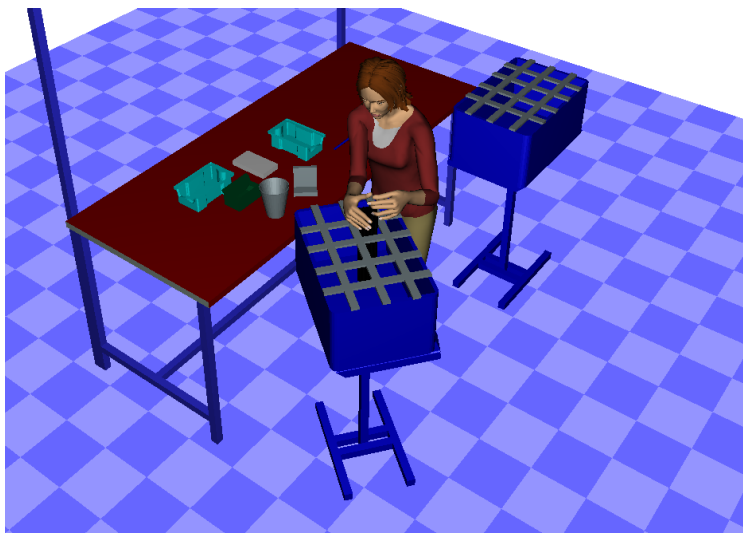
Jako první bylo provedeno zhodnocení pracovní polohy pro pracovnice na pracovištích montážní haly. Pro analyzování těchto situací byla využita metoda RULA a v této metodě byl použit model člověka odpovídající průměrné postavě dle německé databáze (Žena, 162,5 cm, 66 kg).



Obrázek 1 – Vytvoření modelu člověka

#### RULA analýza současného stavu – pracoviště MLS1

Na následujícím obrázku je znázorněna pracovní poloha pracovnice při odkládání hůlek do KLT boxu.



Obrázek 2 – Pracoviště MLS1

Na obrázku je vidět přirozený postoj s rovnými zády a mírně ohnutým krkem. Obě ruce jsou před tělem zhruba ve výšce loktů. Celá operace lepení a odkládání probíhá častěji než 4x za minutu. Není vynakládáno žádné extrémní využití svalů a sil. Tyto skutečnosti jsou zohledněny ve vstupních datech analýzy (Obrázek 3). [2]

**Rapid Upper Limb Assessment (RULA)**

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title:  Job Number:   
 Location:  Analyst:   
 Comments:  Date:

**Body Group A Posture Rating**

Upper arm:	3
Lower arm:	3
Wrist:	2
Wrist Twist:	1
<b>Total:</b>	<b>4</b>

Muscle Use: Normal, no extreme use  
 Force/Load: < 2 kg intermittent load  
 Arms: Not supported

**Body Group B Posture Rating**

Neck:	3
Trunk:	1
<b>Total:</b>	<b>3</b>

Muscle Use: Normal, no extreme use  
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

**Legs and Feet Rating**

Standing, weight even. Room for weight changes.

**Grand Score: 3**

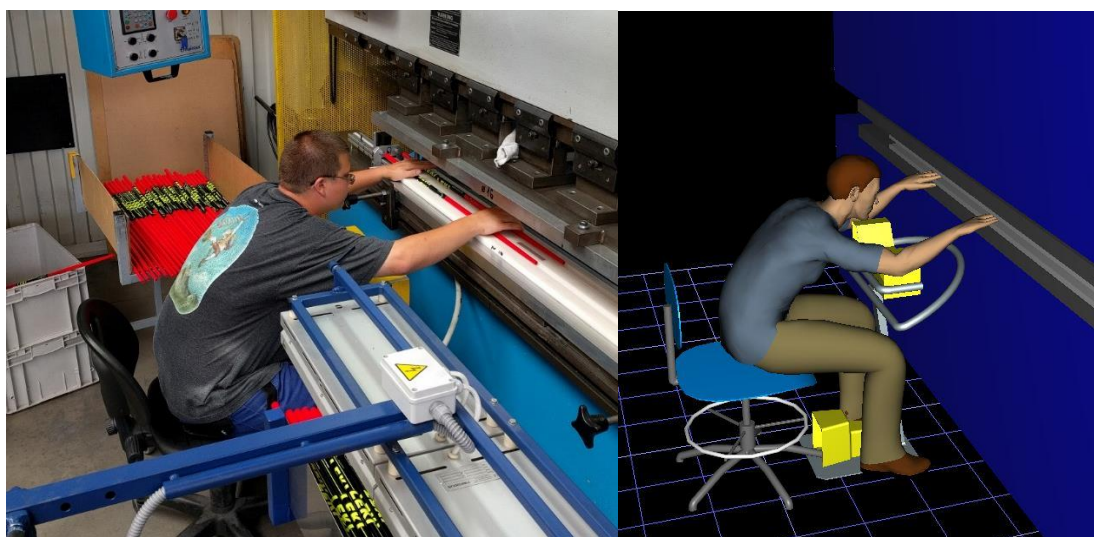
Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Obrázek 3 – Výsledné parametry metody RULA - pracoviště MLS1

Obrázek výše znázorňuje výsledky provedené analýzy. Jasně je zde vidět, a pozitivními hodnotami je reprezentována, vhodná poloha všech částí těla. Celkové skóre rizika dosahuje hodnoty 3 bodů (2. kategorie). Tato pracovní poloha je podmíněně vhodná.

### RULA analýza současného stavu – lisování oválných hůlek

Na následujícím obrázku je znázorněna pozice při lisování oválných hůlek v hale hrotovna.



Obrázek 4 – Reálný stav na pracovišti lisování oválných hůlek – původní stav

Na obou obrázcích výše je vidět nízký sed s hlubokým předklonem a oběma pažemi zvednutými na úroveň ramen. Tato nepřirozená poloha je způsobená zejména nahnutím pracovníka přes ovládací panel lisu. Montáž probíhá častěji než 4x za minutu. Není vynakládáno žádné extrémní využití svalů a sil. Tyto skutečnosti jsou zohledněny ve vstupních datech analýzy (Obrázek 5). [6]

**Rapid Upper Limb Assessment (RULA)**

Task Entry | Reports | **Analysis Summary**

Job Title: Lis na oválné hůlky Job Number:   
 Location:   
 Analyst: Kalvas   
 Comments:   
 Date: 15.10.2017

**Body Group A Posture Rating**

Upper arm: 3   
 Lower arm: 3   
 Wrist: 2   
 Wrist Twist: 2   
 Total: 5

**Body Group B Posture Rating**

Neck: 4   
 Trunk: 3   
 Total: 7

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute   
 Force/Load: < 2 kg intermittent load   
 Arms: Not supported

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute   
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

**Legs and Feet Rating**

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

**Grand Score: 7**   
 Action: Investigation and changes are required immediately.

Update Analysis

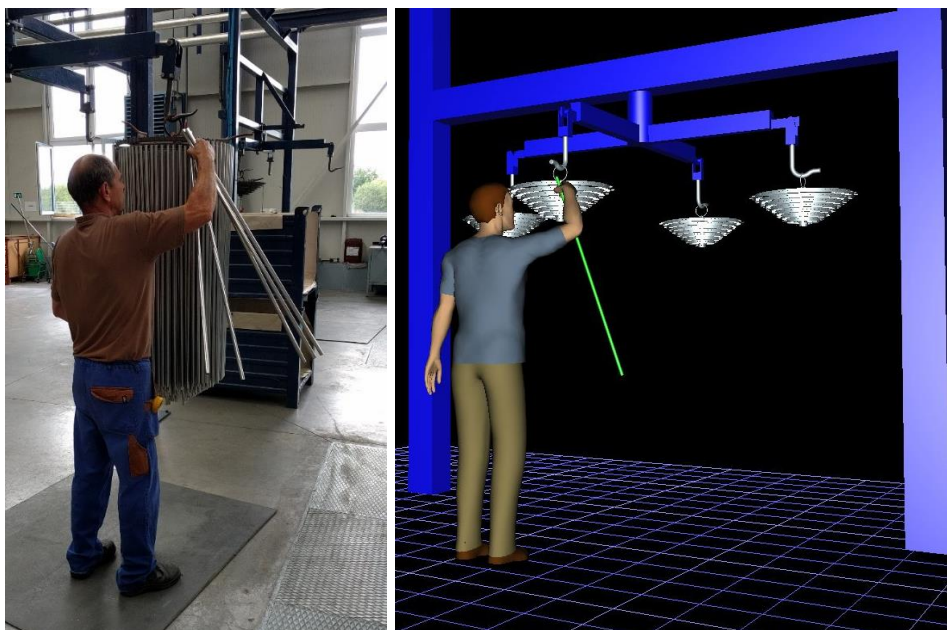
Usage Dismiss

Obrázek 5 – Výsledné parametry metody RULA - pracoviště lisování oválných hůlek - původní stav

Obrázek výše znázorňuje výsledky provedené analýzy. Jasně je zde vidět, a vysokými hodnotami je reprezentována, nevhodná poloha horní i spodní části paží, krku i trupu. Jak již bylo zmíněno výše, takto vysoká čísla jsou způsobena zejména velice nepřirozenou pracovní polohou v kombinaci s častou opakovaností polohy. Celkové skóre rizika dosahuje hodnoty 7 bodů (4. kategorie), což je nejvyšší možné skóre. Pracovní poloha je zcela nevhodná.

### RULA analýza současného stavu – věšení hůlek na kruhový věšák

Na následujících obrázcích je znázorněna pracovní poloha při věšení hůlek na kruhový věšák v hale konfigurace 1. Věšák je zavěšen na háku o délce 280 mm. Vzdálenost horního patra od země je 180 cm.



Obrázek 6 – Reálný stav na pracovišti věšení hůlek – původní stav

Na obrázku je vidět přirozený postoj s rovnými zády a mírně zahnutým krkem. Pravá ruka, která věší hůlku na věšák, je mírně nad úrovní očí. Ověšení jednoho věšáku hůlkami trvá řádově 10 minut, přičemž počet navěšených hůlek na jednom věšáku se pohybuje okolo 400 kusů. Poloha se tedy opakuje častěji než 4x za minutu, ale tato práce není prováděna po celou směnu. Není vynakládáno žádné extrémní využití svalů a sil. Tyto skutečnosti jsou zohledněny ve vstupních datech analýzy (Obrázek 7).

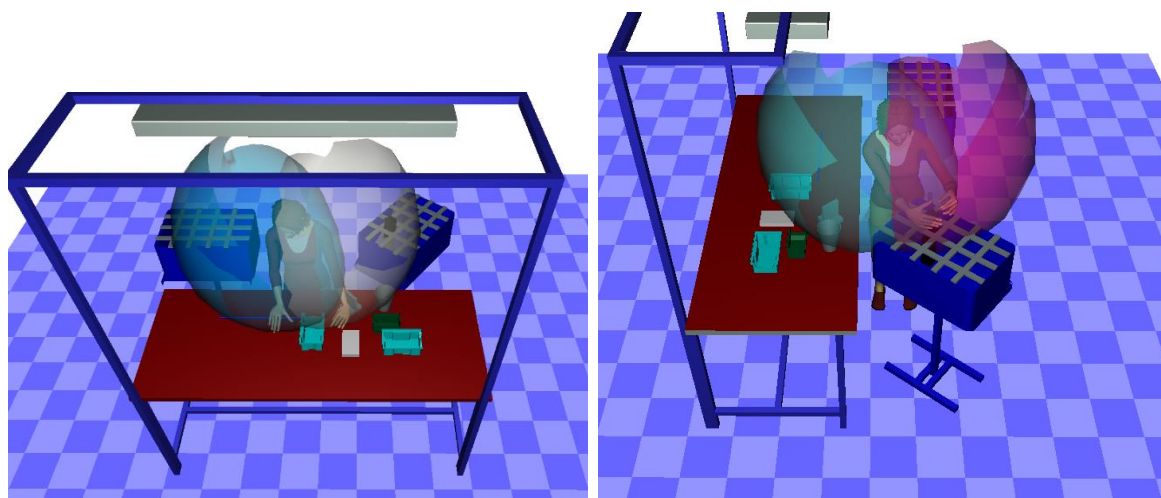
Task Entry		Reports		Analysis Summary	
Job Title:		Job Number:			
Location:		Analyst:			
Comments:		Date:			
<b>Body Group A Posture Rating</b>					
Upper arm:	4				
Lower arm:	2				
Wrist:	3				
Wrist Twist:	1				
Total:	4				
<b>Body Group B Posture Rating</b>					
Neck:	2				
Trunk:	1				
Total:	2				
Muscle Use: Normal, no extreme use		Muscle Use: Normal, no extreme use			
Force/Load: < 2 kg intermittent load		Force/Load: < 2 kg intermittent load			
Arms: Not supported					
<b>Legs and Feet Rating</b>					
Standing, weight even. Room for weight changes.					
<b>Grand Score: 3</b>					
Action: Further investigation needed. Changes may be required.					
Update Analysis					

Obrázek 7 – Výsledné parametry metody RULA - Pracoviště věšení hůlek na kruhový věšák – původní stav

Obrázek výše znázorňuje výsledky provedené analýzy. Relativně nízkými hodnotami rizika je reprezentována, vhodná poloha všech částí těla, kromě horní části paže. Celkové skóre rizika dosahuje hodnoty 3 bodů (2. kategorie). Tato pracovní poloha je podmíněně vhodná.

### **Analýza dosahových vzdáleností – pracoviště MLS1**

Na hodnocených pracovištích byla provedena analýza dosahových vzdáleností, ke zjištění správného uspořádání pracovišť. Byla zvolena komfortní zóna dosahu, vycházející z minimálního pohybu horní části paže a ramene a statického držení těla.



*Obrázek 8 – Analýza dosahových vzdáleností - MLS1*

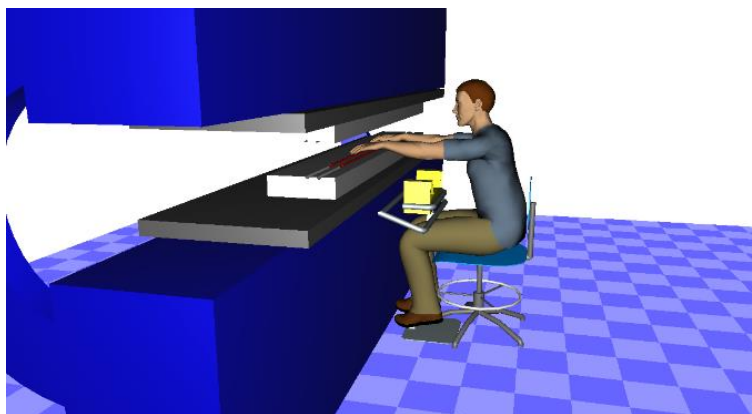
Z předcházejících snímků je patrné, že má pracovnice při daném pracovním úkonu všechny potřebné předměty v přijatelné blízkosti uvnitř komfortní zóny, tak aby se nemusela nepříjemně natahovat nebo uklánět. Z toho lze usuzovat, že při vykonávání této práce budou pracovnice namáhány minimálně.

## **4 Analýza navrhovaného stavu**

Další oblastí studie bylo již samotné řešení pracovišť z hlediska ergonomie. Z tohoto důvodu byly na pracovištích provedeny návrhy na zlepšení současného stavu. Po návrzích na zlepšení současného stavu byla potvrzena vhodnost navrhovaných úprav pracovišť formou RULA analýz navrhovaného stavu.

### **RULA analýza současného stavu – lisování oválných hůlek**

Na následujícím obrázku je znázorněna pozice při lisování oválných hůlek v hale hrotovna. Byla změněna velikost a tvar obruče kolem ovládacího panelu, což umožnilo posunout židli blíže k lisu a tím i pracovníka, který se nemusí tolik naklánět při zasouvání hůlek do lisu. [1]



Obrázek 9 – Pracoviště lisování oválných hůlek - navrhovaný stav

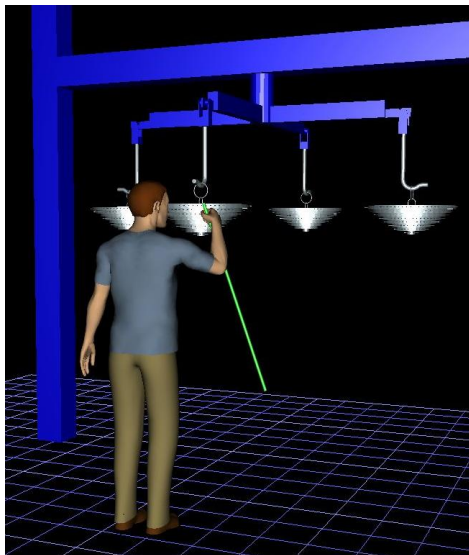
 A screenshot of the 'Rapid Upper Limb Assessment (RULA)' software window. The window has three tabs: 'Task Entry', 'Reports', and 'Analysis Summary'. The 'Analysis Summary' tab is active. It contains several input fields for 'Job Title', 'Location', 'Comments', 'Job Number', 'Analyst', and 'Date'. Below these are two sections for posture ratings: 'Body Group A Posture Rating' and 'Body Group B Posture Rating'. 'Body Group A' includes ratings for Upper arm (4), Lower arm (3), Wrist (2), Wrist Twist (2), and a Total of 6. 'Body Group B' includes ratings for Neck (1), Trunk (2), and a Total of 3. Below the ratings are boxes for 'Muscle Use' (Action repeated more than 4 times per minute), 'Force/Load' (< 2 kg intermittent load), and 'Arms' (Not supported). A 'Legs and Feet Rating' section indicates 'Seated, Legs and feet well supported. Weight even.' At the bottom, a red box displays the 'Grand Score: 5' and the text 'Action: Investigation and changes are required soon.' There are buttons for 'Update Analysis', 'Usage', and 'Dismiss'.

Obrázek 10 – Výsledné parametry metody RULA - Pracoviště lisování oválných hůlek – navrhovaný stav

Obrázek výše znázorňuje výsledky provedené analýzy. Celkové skóre rizika stále není ani ve 2. kategorii, nicméně došlo ke zlepšení alespoň na 5 (3. kategorie). Zejména riziko v oblasti krku se snížilo ze 4 na 1, což je velký posun. Vysoké hodnoty rizikovosti jsou dány zejména opakováním dané pracovní polohy. Kdyby se jednalo o činnost, která by nebyla prováděna 4x za minutu tak by došlo ke zlepšení na úroveň 2.

## RULA analýza současného stavu – věšení hůlek na kruhový věšák

Na následujícím obrázku je znázorněna pracovní poloha při věšení hůlek na kruhový věšák v hale konifikace 1. Věšák byl prodloužen o 150 mm, jeho délka byla tedy navržena na 430 mm. Vzdálenost horního patra od země se tím snížila na 165 cm.



Obrázek 11 – Pracoviště věšení hůlek na kruhový věšák – navrhovaný stav 165cm

Na obrázku je vidět podobná pracovní pozice jako v případě původního stavu, nicméně je již na první pohled patrné, že se horní patro věšáku posunulo pod úroveň očí a pravá ruka již není v rameni zdvižená tak vysoko, jako v případě původního stavu. Všechny ostatní vstupní parametry zůstaly nezměněné. [2]

Task Entry	Reports	Analysis Summary
<div>Job Title: <input type="text"/></div> <div>Location: <input type="text"/></div> <div>Comments: <input type="text"/></div> <div>Job Number: <input type="text"/></div> <div>Analyst: <input type="text"/></div> <div>Date: <input type="text"/></div>		
<b>Body Group A Posture Rating</b>		
Upper arm: 3		
Lower arm: 3		
Wrist: 2		
Wrist Twist: 1		
Total: 4		
<b>Body Group B Posture Rating</b>		
Neck: 2		
Trunk: 1		
Total: 2		
<b>Muscle Use:</b> Normal, no extreme use		
<b>Force/Load:</b> < 2 kg intermittent load		
<b>Arms:</b> Not supported		
<b>Legs and Feet Rating</b>		
Standing, weight even. Room for weight changes.		
<b>Grand Score: 3</b>		
Action: Further investigation needed. Changes may be required.		
<input type="button" value="Update Analysis"/>		

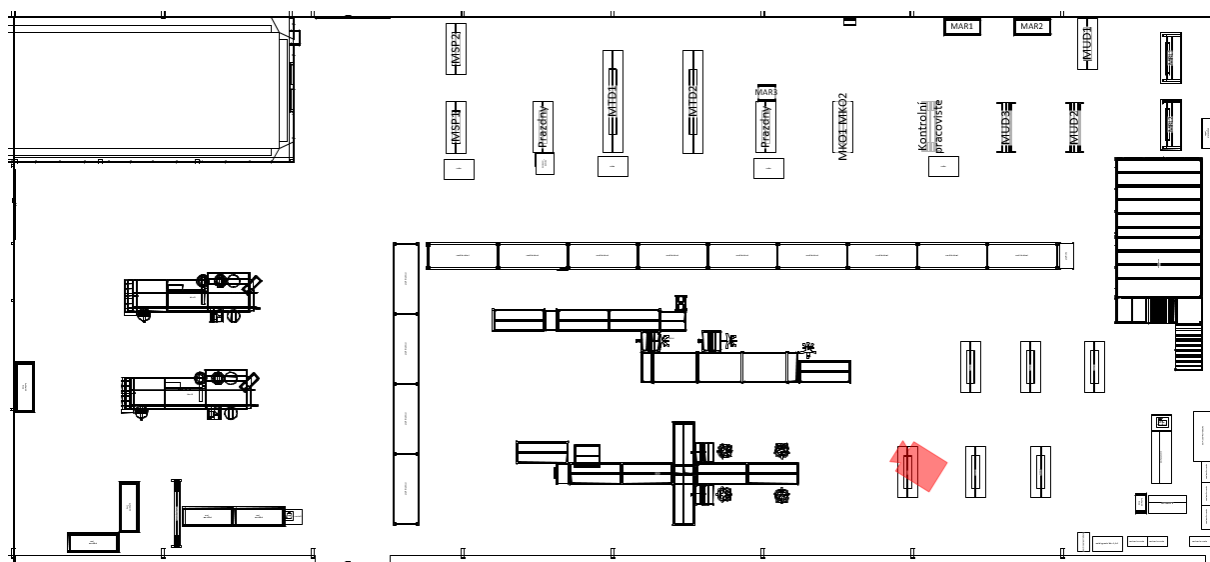
Obrázek 12 – Výsledné parametry metody RULA - Pracoviště věšení hůlek na kruhový věšák – navrhovaný stav 165cm

Obrázek výše znázorňuje výsledky provedené analýzy. Celkové skóre zůstalo nezměněné na hodnotě 3, nicméně se touto jednoduchou úpravou podařilo snížit zátěž horní části paže ze 4 na 3 body rizikovosti. Zatížení zápěstí se taktéž snížilo na a to z 3 bodů na 2.

## 5 Prostorové uspořádání

Před začátkem řešení bylo nezbytně nutné seznámit se, se zkoumaným výrobním systémem. Na první schůzce jsme se seznámili s rozložením pracovišť montáže, dále s konkrétními pracovišti a také s materiálovým tokem.

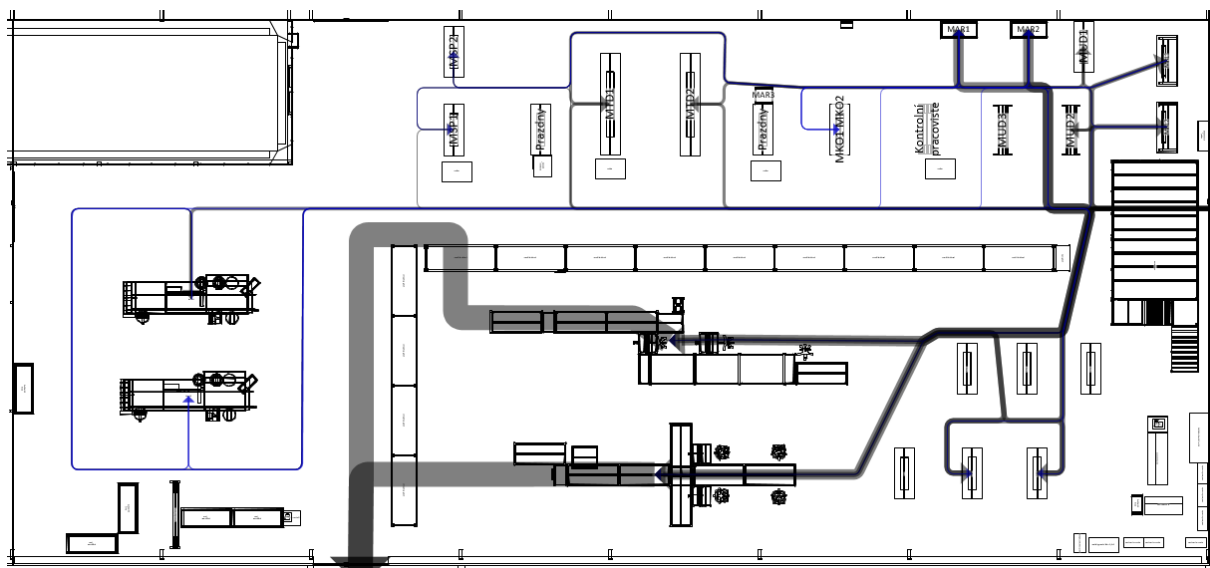
Po seznámení se s výrobním systémem, jsme navázali dalším krokem, a to konkrétně zaměřením pozic jednotlivých pracovišť. Na základě pozic pracovišť jsme zpracovali stávající layout. Současný stav se stal výchozím bodem pro návrh jednotlivých variant.



Obrázek 13 – Současný stav

### 5.1 Materiálové toky

Po vytvoření současného stavu layoutu, byly do programu VisTable přidány materiálové toky. Materiálové toky byly sestaveny podle technologických postupů a objemů roční produkce, které nám byly poskytnuty. Materiálové toky byly postaveny na základě hlavních artiklů. Materiálové toky byly vytvořeny tak, že každý artikl má svoji procesní mapu. Celkový pohled na halu se zobrazením materiálových toků je na obrázku níže (Obrázek 14). Hodnota materiálového toku (přepravní vzdálenost) činí cca 336 km/rok.

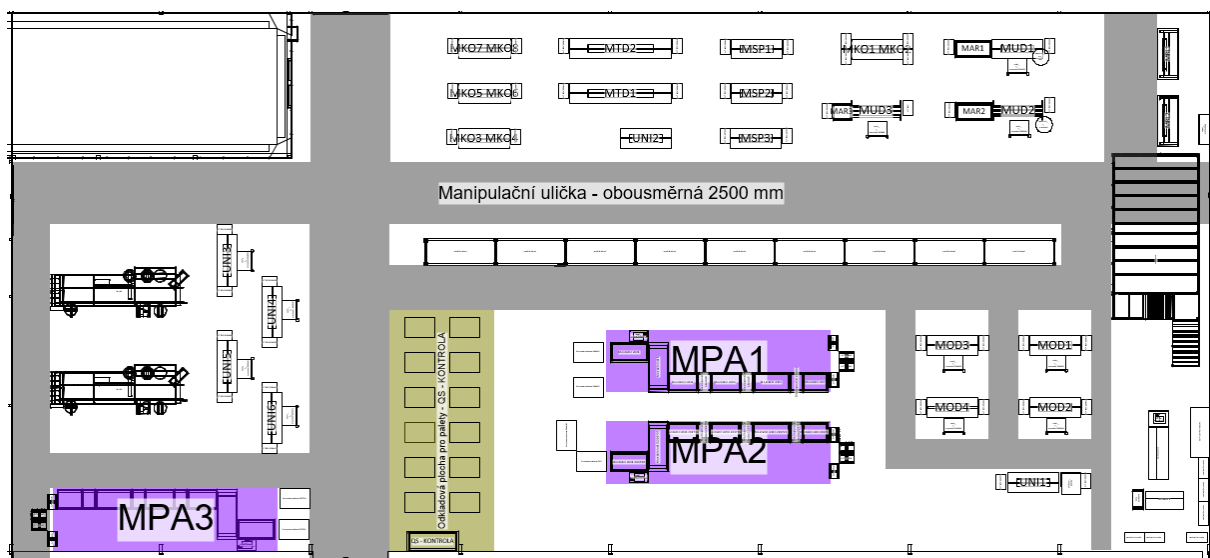


Obrázek 14 – Současný stav – vizualizace materiálového toku

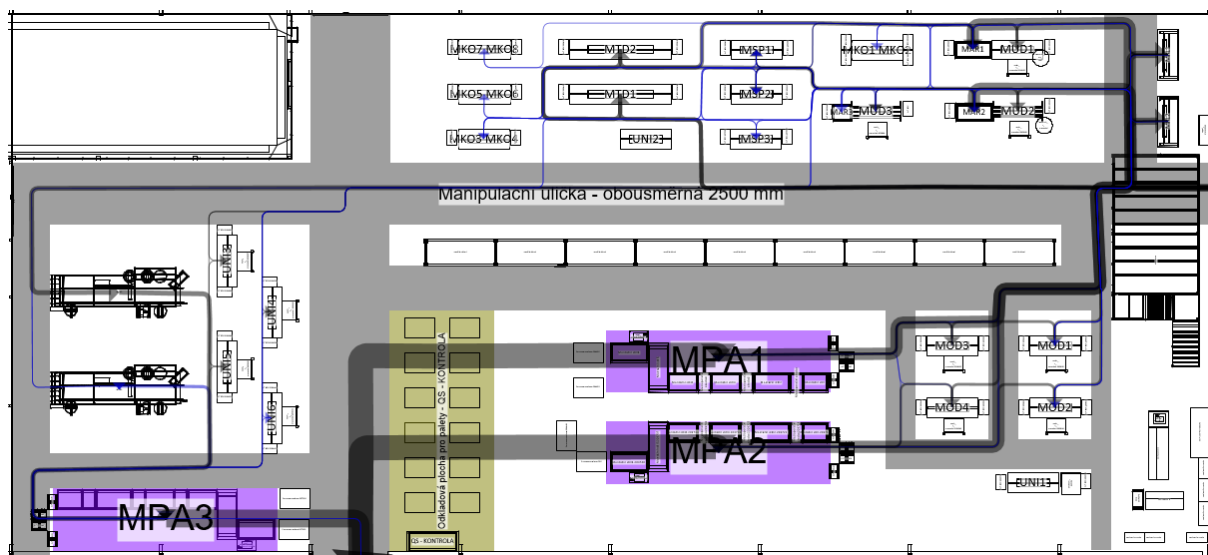
### 5.1.1 Finální varianta

Tato varianta vychází ze současného prostorového uspořádání. Kde se v horní části layoutu (Obrázek 15) nachází montážní stoly, uložené podélně. Finální varianta zachovává středový regál, dvě montážní linky vedle sebe (MPA1, MPA2) a automaty. Odstraněn byl příčný regál. Vzniklé místo je obsazeno výstupní kontrolou. Na hale se nachází více stolů, z důvodu navýšení výrobních kapacit. [3]

Jednotlivé varianty byly mezi sebou porovnávány na základě přepravních tras, proto jsme do layoutu zahrnuli materiálové toky, které jsou zobrazeny na obrázku pod layoutem finální varianty. Hodnota materiálového toku, je zde přívětivější než v současném stavu. Díky tomuto uspořádání jsme schopni uspořít cca 11% na přepravních trasách, což představuje zkrácení o 35,2 metru. Níže pod obrázky je zobrazena 3D vizualizace finální varianty.



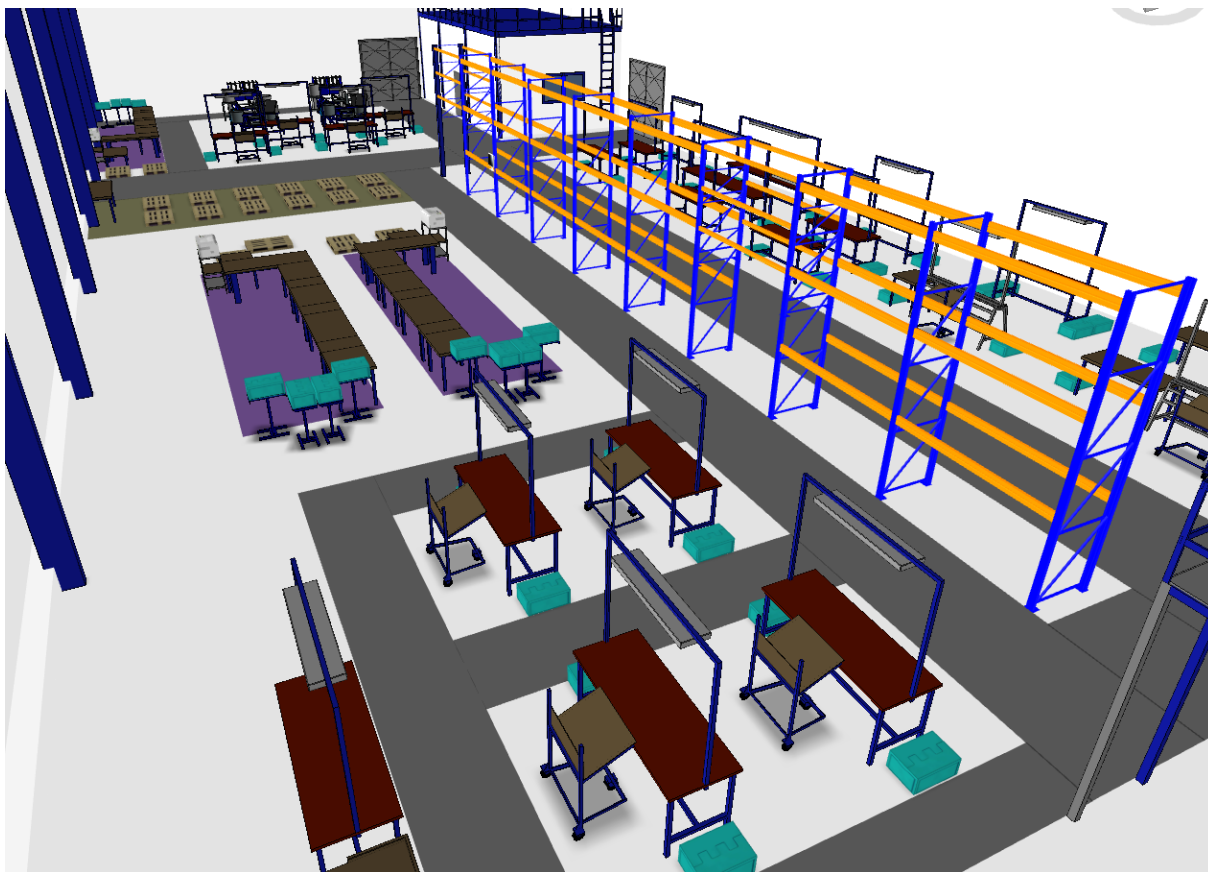
Obrázek 15 – Finální varianta - layout



Obrázek 16 – Finální varianta – materiálové toky



Obrázek 17 – 3D vizualizace



Obrázek 18 – 3D vizualizace

## 6 Závěrečné vyhodnocení

V rámci této studie byly analyzovány ovlivňující faktory působící na zdraví, bezpečnost a výkonnost pracovníků. Hlavním cílem bylo provedení ergonomické studie pracoviště lisování hrotů a špiček lyžařských a běžkařských holí. Za tímto účelem byly vytvořeny 3D modely zkoumané situace.

Touto metodou byly nejprve zkoumány pracovní polohy současné situace a následně pak i pracovní polohy na pracovištích s navrhovanými zlepšeními. Všechny tyto analýzy byly provedeny pro průměrně vysokou pracovníci 162,5 cm. Z výsledků navrhovaného způsobu práce se potvrdila vhodnost úprav pracovišť tak, aby bylo dosaženo lepších hodnot ve všech zkoumaných parametrech. [5]

### 6.1 Shrnutí výsledků ergonomické části

Na pracovišti **věšení hůlek** dopadla analýza současného stavu celkově přijatelně. Celkové skóre rizika je 3 (2. kategorie). Nicméně analýza odhalila, že oblast předloktí je přetěžována více než ostatní. Je to dáno především tím, že pracovník zvedá ruku s hůlkou na úroveň ramene. Celkově je tedy toto pracoviště z hlediska ergonomie vyhovující a nepotřebuje žádné výraznější úpravy.

Na pracovišti **lisování oválných hůlek** byly zjištěny rizikové oblasti hlavně v oblasti krku a trupu. Je to dáno zejména tím, že se pracovník předklání při vkládání hůlek do lisu. Celkové skóre rizika je 7 (4. kategorie). Po návrhu se celkové skóre rizika snížilo na hodnotu 5 (3. kategorie), přičemž se hodnota u krku snížila ze 4 na 1, ale u předloktí se zvýšila na úroveň 4. Tato skutečnost je způsobena častým opakováním úkonu za minutu.

*Tabulka 1 – Shrnutí ergonomických analýz RULA*

Pracoviště	Původní stav	Navrhovaný stav
Pracoviště MLS1	3	-
Pracoviště věšení hůlek	3	3
Pracoviště lisování oválných hůlek	7	5

Zároveň s analýzou RULA byla provedena na pracovišti MLS1 i analýza dosahových zón. Byla vybrána komfortní zóna dosahu, která počítá se statickým držením těla a minimálním pohybem horní části paže. U zkoumaného pracoviště se potvrdilo, že pracovnice bude mít vše, co k práci potřebuje, uvnitř této komfortní zóny.

## 6.2 Shrnutí výsledků z oblasti layoutu

Určení finální varianty, je dané hodnotou přepravních vzdáleností, které jsme dostali z materiálových toků z programu VisTable. V níže uvedené tabulce (Tabulka 2) je zobrazeno porovnání současného stavu a finální varianty layoutu. Díky porovnání jednotlivých navrhovaných materiálových toků jsme zjistili výhodnost jednotlivých variant. Finální varianta se jeví jako nejlepší díky úspoře přepravní vzdálenosti, kde jsme uspořili 11% procent. Protože v praxi nedokážeme zaručit stejný tok materiálu, jaký je nastavený v programu, a lze tedy předpokládat, že pracovníci budou přesouvat materiál jinou uličkou, čímž hodnoty mohou zkrátit či prodloužit. [4]

*Tabulka 2 – Porovnání variant*

Varianta	Přepravní vzdálenost [m]	Úspora [%]
Současný stav	336129	0%
Finální varianta	291686	-11%

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] Bureš, M., *ŽIVDIG : Tvorba a optimalizace pracoviště*. ZČU-KPV, e-book, Plzeň, 2013. ISBN 978-80-87539-32-3.
- [2] Stanton N., Hedge A., Brookhuis K., Salas E., Hendrick H. *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. CRC Press, USA, 2005. ISBN 0-415-28700-6.
- [3] KRÁL M. *Ergonomie její využití v technické praxi II*. Alexandr Vávra - VAVA, Ostrava, 1998. ISBN 80-86168-04-2.
- [4] ČSN EN 1005-2+A1 : 2009 - *Bezpečnost strojních zařízení - Fyzická výkonnost člověka - Část 2: Ruční obsluha strojního zařízení a jeho součástí*.
- [5] Slamková, E., Dulina, L., Tabaková, M. *Ergonómia v priemysle*. GEORG, Žilina, 2010, 261 s. ISBN 978-80- 89401-09-3.
- [6] Marek, J., Skřehot, P. *Základy aplikované ergonomie*. VÚBP, v.v.i., Praha 2009. ISBN 978-80-86973-58-6.

# Návrh pracoviště montáže zásuvky s ohledem na ergonomii práce

Martin Kyncl <sup>1</sup>, Tomáš Kellner <sup>2</sup>, Jiří Kyncl <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav řízení a ekonomiky podniku  
Karlovo náměstí 13, 121 35, Praha 2, Česká republika

[martin.kyncl@fs.cvut.cz](mailto:martin.kyncl@fs.cvut.cz)

<sup>2</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie  
Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

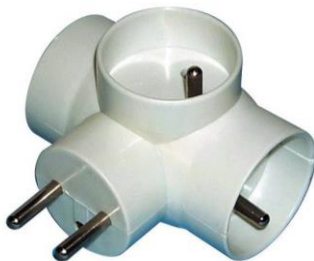
[tomas.kellner@fs.cvut.cz](mailto:tomas.kellner@fs.cvut.cz)

[jiri.kyncl@fs.cvut.cz](mailto:jiri.kyncl@fs.cvut.cz)

**Anotace:** Hlavním cílem tohoto článku je návrh pracoviště montáže pro rozbočovací zásuvky. V první části článku je popsána provedená analýza montáže a demontáže zásuvky. Na základě provedené analýzy byl zpracován pracovní postup montáže. S ohledem na sériovost výroby byly vytvořeny 4 různé návrhy montážního pracoviště pro kusovou, malosériovou, sériovou a sériovou výrobu se zapojením kooperativního robota. Pro první dvě varianty byla provedena simulace ergonomických podmínek montážního procesu pomocí softwaru Siemens Tecnomatix Jack 8.4. Navržená pracoviště byla posouzena s ohledem na přijatelné a podmíněčně přijatelné pracovní polohy zaměstnance. Výsledkem práce je technicko-ekonomické porovnání pracovišť založené na vyhodnocené ergonomičnosti pracoviště s důrazem na zvýšení produktivity práce.

## 1 Analýza předmětu montáže

Hlavním cílem tohoto článku je návrh pracoviště montáže pro rozbočovací zásuvky. V první části byla provedena analýza montáže a demontáže rozbočovací zásuvky. Předmětem montáže byla rozbočovací zásuvka. Jedná se o klasickou běžně dostupnou rozbočovací zásuvku, která umožňuje rozdělit napájecí síť a zapojit najednou až tři spotřebiče (viz Obrázek 1).



Obrázek 1 – Rozbočovací zásuvka EMOS E2010

Prvním krokem bylo provedení rozboru – demontáže rozbočovací zásuvky. Rozdělení na komponenty, které byly změřeny, a pro každou část byl vytvořen 3D model.

Z 3D modelu byl poté vytvořen výkres rozbočovací zásuvky. Pro větší přehlednost jsou na přiloženém výkrese vyznačeny pouze hlavní rozměry zásuvky.


Na základě rozboru zásuvky byl stanoven kusovník, který je doplněn o grafické náhledy všech komponent zásuvky. Každá z komponent je označena vhodným písmenem dle materiálu a pořadovým číslem.

## 2 Návrh procesu montáže

Základním požadavkem na pracoviště byla jeho flexibilita a ergonomie pracovních poloh zaměstnance. Flexibilita je zásadní, protože se předpokládá častá změna předmětu montáže a variabilita obsluhy montáže. Důležitým parametrem rozmístění pracoviště byly ergonomické rizikové parametry polohy pracovníka při montáži. Celkem byly vypracovány čtyři různé varianty montážního pracoviště.

### 2.1 Simulace ergonomických podmínek

Pro simulaci a vizualizaci byl využit simulační software Tecnomatix Jack 8.4. V tomto programu bylo vypracováno dispoziční řešení pro všechny zmíněné varianty montážního pracoviště. Dále byly vytvořeny dva různé fyziologické modely postav operátorů (viz Obrázek 2). Abychom se zaměřili na široké spektrum lidí, první postavou byla malá žena a druhou postavou vysoký muž. Velikost lidí byla nastavena dle dostupné databáze NHANES, která je součástí databáze programu.

Postava	Žena	Muž
		
Výška	149,7 cm	188,2 cm
Váha	50,2 kg	125,1 kg

*Obrázek 2 – Parametry vytvořených postav*

V SW byla provedena simulace ruční a sériové montáže, pro které byly vyhodnoceny přijatelné, podmíněně přijatelné a nepřijatelné polohy pracovníka z hlediska ergonomie práce. Vyhodnocovány byly polohy trupu, hlavy (krku), horních končetin, zápěstí, loktů, kolen a chodidel při práci. Ergonomické polohy byly vyhodnocovány podle nařízení vlády č.361/2007 Sb.

pomocí modulu NV361, ve kterém lze vyhodnocovat všechny uvedené parametry.

## 2.2 Ruční montáž pro kusovou výrobu

Hlavním kritériem návrhu pracoviště pro ruční kusovou montáž byla variabilita vybavení. Z důvodu časté změny výrobního sortimentu. Předpokladem je montáž pouze několika set kusů zásuvek. Klade se důraz na univerzálnost použitého vybavení, aby bylo možné jeho využití při jiné montáži nebo jiných činnostech v podniku.

Navržené vybavení pro toto pracoviště je výškově nastavitelný stůl, ergonomická výškově nastavitelná židle a na obou stranách umístěné palety. Na levé paletě jsou umístěny komponenty potřebné pro montáž zásuvky a pravá paleta je určena pro skládání smontovaných zásuvek

### 2.2.1 Simulace pracoviště ruční montáže pro kusovou výrobu

Výsledky provedené simulace pracoviště ukázaly několik nedokonalostí pracoviště. Měděné vodiče a šrouby částečně přesahují dosahové vzdálenosti pracovníka, to může při dlouhodobějším horizontu vést až ke zdravotním potížím. Dále bylo odhaleno několik nepříjemných poloh hlavy a krku. Konkrétně příliš velká rotace hlavy při odběru plastových dílů z přepravky a nepříjemný předklon hlavy při vkládání vodičů do plastového krytu. Nejčastěji se do kritické polohy při ruční montáži dostává zápěstí při vkládání dílů do plastového krytu a utahování šroubů (rotace zápěstí viz Obrázek 3).



Obrázek 3 – Ukázka nepříjemné polohy zápěstí

### 2.2.2 Hodnocení pracoviště pro kusovou výrobu

Na pracovišti ruční kusové montáže se pracovník často dostává do nepříjemné polohy. Pracoviště není vhodné pro dlouhodobější použití. Vypočítaná doba montáže je podle simulace 100 sekund. Odebírání volně položených neorientovaných měděných vodičů by mohlo dobu montáže ještě navýšit. Výhodou je nízká pořizovací cena pracoviště, která činí 25 850 Kč a univerzálnost, která zajistí možnost dalšího využití pro jinou kusovou montáž. Pracoviště je vhodné pro montáž menšího počtu zásuvek do 100 kusů.

## 2.3 Ruční montáž pro malosériovou výrobu

Ve variantě ruční montáže pro malosériovou výrobu se zaměstnanec zabývá pouze montáží zásuvky. Zásobování a sběr přepravek zajišťuje jiný pověřený pracovník. Při tvorbě byla znovu hlavním požadavkem univerzálnost pracoviště a lepší ergonomie pracovních poloh při montáži.

Základním navrženým vybavením pracoviště (viz Obrázek 4) je ergonomická židle a výškově nastavitelný stůl. K zajištění větší přehlednosti byla pro každou z komponent použita jedna přepravka. Součástí pracoviště je také elektrický šroubovák, který eliminuje rotaci zápěstí a speciálně vyrobený přípravek pro držení rozbočovací zásuvky.



Obrázek 4 – Rozmístění pracoviště malosériové výroby

### 2.3.1 Ergonomie pracoviště malosériové výroby

Měděné kontakty jsou umístěny do drážek v přepravekách, aby nedocházelo k jejich vzájemnému zamotání a poškození. Tento způsob redukuje výslednou dobu montáže, protože usnadní odběr komponent a odpadne potřeba orientace kontaktů do správné polohy.

Přepravky jsou podepřené tak, aby byly naklopené směrem k pracovníkovi. Novým rozmístěním a naklopením přepravek jsou všechny přepravky v dosahové vzdálenosti pracovníka. Přípravek je umístěn v ideální pozici pro časté pohyby při práci.

Z hlediska pracovní polohy na tomto pracovišti není nutné při odběru komponent z krajních přepravek vytáčet hlavu (viz Obrázek 5) do nepříjemné polohy. Použitím speciálního přípravku pro držení plastového krytu, může zaměstnanec pro práci využít obě ruce, a eliminují se nepříjemné polohy zápěstí. Přípravek zredukoval nepřírozené polohy při velkém předklonění hlavy (resp. krku). Stejně tak použitím elektrického šroubováku dochází ke snížení namáhání v oblasti zápěstí. Do nepříjemné polohy se zaměstnanec nově dostává při uchopení elektrické vrtačky. Řešením je snížení výšky

konstrukce, na které je vrtačka upevněna. Nepříjemná poloha pro zápěstí nastává také při odebírání šroubů z levé části přepravky.



Obrázek 5 – Příjemná poloha hlavy a krku

### 2.3.2 Hodnocení pracoviště malosériové výroby

Na pracovišti malosériové výroby se pracovník dostává do nepřírozené pracovní polohy pouze ojediněle. Většina nepříjemných poloh byla eliminována novým rozmístěním, naklopením přepravek a použitím přípravku.

Doba montáže zásuvky vypočtená na základě simulace je 55 sekund. Pořizovací cena montážního pracoviště je 58 500 Kč. Pracoviště je vhodné pro montáž do 5000 kusů zásuvek.

## 2.4 Montáž pro sériovou výrobu

Montážní pracoviště pro sériovou výrobu bylo navrženo až pro šest operátorů. Pracoviště vychází z ručního pracoviště pro malosériovou výrobu. Hlavní inovací pracoviště je pásový dopravník, po kterém jsou přepravovány jednotlivé komponenty. Navržená vybavení pro toto pracoviště (viz Obrázek 6) jsou ergonomické židle, elektrické (příp. pneumatické) vrtačky pro utahování šroubů a podnožníky pro zaměstnance menšího vzrůstu. Nelze využít výškově nastavitelný stůl, proto byl použit nastavitelný podnožník.



Obrázek 6 – Rozmístění pracoviště sériové montáže

### 2.4.1 Ergonomie pracoviště sériové výroby

Na základě složitosti simulace a podobnosti rozmístění pracoviště s předchozí variantou nebyla provedena simulace ergonomie pracovních poloh. Varianta vychází z pracoviště malosériové výroby, a proto předpokládáme podobné výsledky pracovních poloh zaměstnance. Vhodná poloha při sezení pro menší pracovníky je zajištěna výškově nastavitelnou židlí a podnožníkem.

Přepravky s komponenty jsou téměř celé v dosahové vzdálenosti pro pracovníka. Přípravek je umístěn v ideální pozici pro časté pohyby.

### 2.4.2 Hodnocení pracoviště sériové výroby

Na základě předpokladu podobnosti s variantou malosériové výroby nebyla provedena simulace montážního procesu.

Výhodou sériové montáže je větší přehlednost a možnost umístění vrtačky do vhodnější polohy. Nevýhodou je doba prodloužení montáže. Použitím krokového dopravníku je nutné zavedení taktování linky podle nejdéle trvající operace (5,4 s). Tím se zvýší celkový čas montáže na 64,8 sekundy. Pořizovací cena celého pracoviště se pohybuje kolem 1 400 000 Kč. (viz Tabulka 1).

*Tabulka 1 – Pořizovací náklady pracoviště sériové montáže*

<b>Položka</b>	<b>Orientační cena [Kč]</b>
Konstrukce montážního pracoviště	1 000 000
Válečkový dopravník	200 000
Dřevěné desky s drážkami pro kontakty, přepravky	4 200
6 x výškově nastavitelná židle, podnožník, přípravek a šroubovák	168 000
<b>Celkem</b>	<b>1 372 200</b>

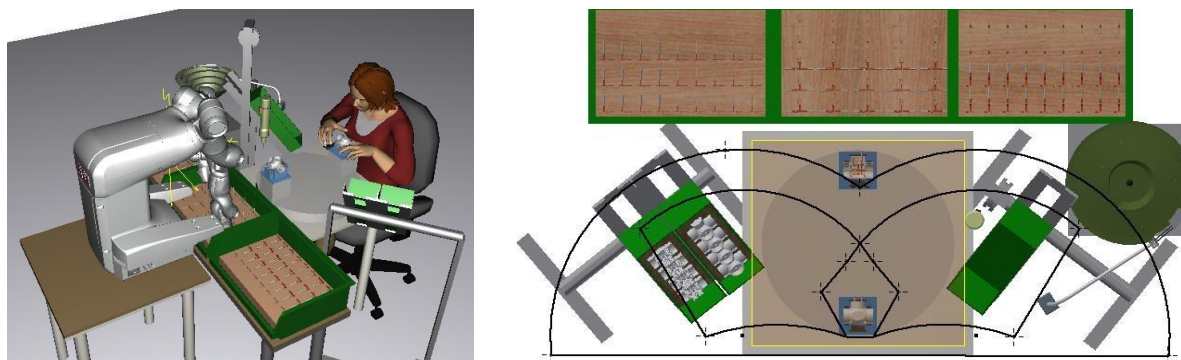
## 2.5 Kooperativní montážní pracoviště pro sériovou výrobu

Poslední variantou je kooperativní pracoviště pro sériovou výrobu. Pro urychlení montáže a zlepšení ergonomie byl zapojen kooperativní robot. Návrh vycházel z ručního pracoviště pro malosériovou výrobu.

Navrženým vybavením pracoviště (viz Obrázek 7) je rotační stůl s dvěma přípravky na držení plastových krytů. Základním prvkem tohoto montážního pracoviště je využití robota YuMi, který umísťuje měděné vodiče do spodního plastového krytu.

Montáž začíná pracovník, který vkládá plastový kryt do přípravku. Poté se otočí rotační stůl směrem k robotovi. Robot umísťuje měděné kontakty a stůl

se otáčí zpět k operátorovi. Operátor přikládá vrchní díl, zásuvku otáčí, pomocí šroubů smontuje a ukládá mezi hotové výrobky.



Obrázek 7 – Kooperativní pracoviště sériové montáže

### 2.5.1 Ergonomie kooperativního pracoviště

Na základě podobnosti s pracovištěm malosériové výroby, nebyla provedena simulace ergonomie pracovních poloh. Předpokládáme stejné výsledky pracovních poloh jako u pracoviště, ze kterého jsme vycházeli. Přepravky jsou sklopené, orientované směrem k pracovníkovi a jsou umístěny v jeho ideální dosahové vzdálenosti. (viz Obrázek 7).

### 2.5.2 Hodnocení kooperativního pracoviště

Tato varianta vychází z pracoviště pro malosériovou montáž. Navíc je využit vibrační podavač šroubů pro eliminaci rotace zápěstí. Část montáže je provedena robotem, který vkládá měděné kontakty do spodního plastového krytu. Robot tím výrazně redukuje zrakovou zátěž pracovníka.



Čas montáže jednoho kusu je 40 s a pořizovací cena kooperativního pracoviště se pohybuje kolem 1 250 000 Kč (viz Tabulka 2).

Tabulka 2 – Pořizovací náklady kooperativního pracoviště

Položka	Orientační cena [Kč]
Robot Yumi od ABB Group	1 000 000
Otočný stůl	100 000
Vibrační podavač šroubů	100 000
Konstrukce na přepravky	10 000
Ostatní vybavení	35 800
<b>Celkem</b>	<b>1 245 800</b>

### 3 Technicko-ekonomická vyhodnocení

Na základě výsledků provedených simulací bylo zpracováno porovnání ergonomických poloh (viz Obrázek 9) pracovníka pro ruční kusovou a ruční malosériovou montáž. Ergonomie pracoviště pro malosériovou výrobu je z hlediska pracovních poloh výrazně lepší než ergonomie pracoviště pro kusovou montáž. Při kusové montáži se dělník často dostává do nepříjemné polohy. Doba montáže zásuvky na pracovišti ruční malosériové výroby je téměř dvakrát nižší. Jediné pořizovací náklady vyznívají lépe pro kusovou montáž.

Kusová výroba	Malosériová výroba
	
<p>Wrist: Left: Right:</p> <p>Flexion: 24.8 -25.3</p> <p>Deviation: 16.2 -29.5</p> <p>Pron/Sup: 0.3 44.4</p>	<p>Wrist: Left: Right:</p> <p>Flexion: 8.7 -5.4</p> <p>Deviation: -8.0 -27.1</p> <p>Pron/Sup: 11.0 32.1</p>
Zde musí operátor jednou rukou držet plastový kryt a druhou rukou vkládat měděný vodič. Proto se nachází zápěstí často v nepříjemné poloze.	Díky přípravku může operátor při vkládání měděného kontaktu využívat obě ruce (plastový kryt drží přípravek), tím nedochází k tak velkému namáhání zápěstí.

Obrázek 9 – Porovnání kusové a malosériové montáže

Pracoviště s mechanizovanou sériovou montáží je přehlednější a je navrženo až pro 6 osob najednou. Kvůli taktování dopravníku však dochází k prodloužení montáže jednoho kusu. Nevýhodou je výrazně vyšší cena pracoviště.

U kooperativního pracoviště dochází k omezení zbylých nepříjemných poloh vlivem lepšího umístění elektrického šroubováku a použitím vibračního podavače šroubů. Robot omezuje zřetelnou zátěž pracovníka a zkracuje dobu montáže jedné zásuvky. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena robota. Ovšem YuMi je velice flexibilní a lze ho později snadno využít pro jiné aplikace.

### 4 Závěr

Na základě analýzy byly provedeny návrhy montážních pracovišť pro kusovou a malosériovou výrobu. Pro všechny pracoviště byly zpracovány montážní postupy a popis vybavení pracoviště. V software Siemens Tecnomatix Jack 8.4 byly vytvořeny simulace a posouzení přijatelných a nepřijatelných poloh operátora při práci. Pro všechna pracoviště byla odhadnuta pořizovací cena.

V závěrečné části byly porovnány pracoviště kusové a malosériové montáže z hlediska ergonomie pracovní polohy.

### **Použitá literatura**

- [1] Zelenka, A., Král, M. *Projektování výrobních systémů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-010-1302-2.
- [2] Chundela, L. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3.
- [3] Malý, S., Král, M., Hanáková, E. *ABC ergonomie*. Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-027-0.
- [4] Budík, J., Halexá, V. *Ergonomie ve strojírenství*. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1984.
- [5] Petrů, J., Čep, R. *Základy montáže: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.
- [6] Dušák, K. *Technologie montáže: základy*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-708-3906-6.

# Moderní metody plánování nákladů při vývoji produktu

Jan Lhota <sup>1</sup>

<sup>1</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav řízení a ekonomiky podniku  
Karlovo náměstí 13, 121 35, Praha 2, Česká republika  
[jan.lhota@fs.cvut.cz](mailto:jan.lhota@fs.cvut.cz)

**Abstrakt:** Moderní metody pro řízení nákladů již prošly značným rozvojem od počátku šedesátých let dvacátého století až dodnes, nicméně stále je zde možnost eliminace slabých stránek zmiňovaných metod, a to především z důvodu nástupu nových trendů digitalizace. Tyto jsou v současné době na vzestupu nejen v oblasti automobilového průmyslu a elektroniky. V současnosti a v následujících letech bude nutné zajišťovat mnoho dalších nových pozic a oblastí, které Průmysl 4.0 a ostatní digitální oblasti budou pokrývat, a to nejen z důvodu zlepšení produktivity, flexibility, kvality a rychlosti v oblastech výroby, vývoje či výzkumu, ale v rámci produkce jako celku. Výzkum a vývoj jsou oblasti, které jsou klíčové pro navýšení přidané hodnoty daného produktu, tudíž je důležité těmto věnovat maximální pozornost.

## 1 Úvod

Obecně každé podnikání je soustavná činnost provozovaná podnikatelem za účelem dosažení zisku. Z důvodu optimálního a ustáleného procesu dosahování zisku musí podniky v první řadě znát své plánované náklady a co nejefektivněji je alokovat, pro jejich optimální využití. Tímto se dostáváme k jádru plánování cílových nákladů jako takových, což je proces, který by podniky neměly podceňovat, a to především kvůli dosažení nejvyššího možného zisku.

Plánování cílových nákladů produktu je definováno základními hranicemi, jimiž jsou na jedné straně aspekty technického charakteru jako je například specifikace výrobku a na straně druhé aspekty organizační, při kterých musíme plánovat a řídit veškeré procesy i činnosti, které jsou nezbytné pro úspěšné dodržení plánovaných nákladů.

Mezi moderní metody pro modelování cílových nákladů výrobku dnes radíme dvě metody, které jsou schopny efektivně využít náklady v jejich optimální výši. Mezi tyto patří:

- 1) Target Costing (TC) – kalkulace cílových nákladů
- 2) Life-Cycle Costing (LCC) – kalkulace životního cyklu

Modelování cílových nákladů produktu je pro podniky, nejen v současné době, jednou z priorit, a to z důvodu včasného zjištění nákladů výrobku. Následně využití těchto naplánovaných nákladů pro plnění či zjištění možných odchylek při plnění nákladového plánu. Každý podnik má své vlastní know-

how a vlastní interní postupy při rozvrhování nákladů produktu, nicméně ani jedna z metod modelování cílových nákladů produktu není v současné době schopna efektivně plánovat a následně alokovat náklady produktů v jeho ranné fázi, tedy v případě vývojového charakteru. Takovéto náklady jsou, dle dostupné literatury, přiřazovány na produkty pomocí určitého režijního rozpočtu, který se následně v daném období čerpá. Dle dostupných informací z praxe jsou takovéto náklady řešeny obdobně, tedy pomocí vytvoření určitého „budgetu“, který je pouze předpokladem rozsahu prací nebo v lepším případě pomocí vytvoření plánu, který by měl pokrýt rozsah nezbytných prací pro dokončení vývoje či prototypové výroby. Nicméně zkušenosti nebo porovnání projektů při plánování takovýchto nákladových operacích s hodnotami skutečnými bývá často mylné. Důvodů je mnoho, např. v každém projektu, ať si je více či méně podobný, současné postupy neumožňují tyto změny kvantitativně postihnout, a tedy přesně stanovit možné odchylky, které mohou u daného projektu nastat, či plán vytváří osoba, která tento druh projektu dříve neřídila. Další z důvodů, které znatelně ovlivňují výši nákladů, je především skutečnost, že každý ze zákazníků je subjektivní, a tedy i přístup k řešení projektu či požadované specifické výstupy a postupy plnění prací se mohou velmi významně lišit. Dohled nad rozsahem prací vývojového charakteru je důležitý, jelikož rozsah prací v těchto fázích bývá zhruba okolo 35 % celkových nákladů daného produktu. „Strategické náklady mohou v některých odvětvích (jako je automobilový průmysl) dosahovat až 40 % cílových nákladů. Významným omezením TC je skutečnost, že pracuje s budoucími odhadovanými náklady a předpokládanými objemy produkce“ [1]. Z těchto důvodů je nutné těmto fázím věnovat větší důraz při plánování a alokaci těchto nákladů. Využití strategického manažerského účetnictví v současné době může tedy velmi znatelně ovlivnit celkové náklady produktů, a to právě pomocí soustředění pozornosti na eliminaci možných vedlejších efektů těchto metod (TC a LCC) již v prvotních fázích produktů.

Přestože tyto metody strategického nákladového řízení mají za sebou již znatelný vývoj, a to od počátku 20. století, kdy se tyto základní principy uvedených metod uplatňovaly například v Baťových závodech, zaměření na předvýrobní etapy nezaznamenalo znatelný rozvoj v oblasti přesného alokování výzkumných a vývojových nákladů, i přestože mají podniky v předvýrobních etapách větší možnosti ovlivňovat celkové budoucí náklady těchto produktů. Tento trend je pravděpodobně zapříčiněn velmi obtížnou alokací těchto nákladů na jednotlivé činnosti a procesy [2].

## **1.1 Cíle příspěvku**

Cílem tohoto příspěvku bylo poukázat na současný systém plánování vývojových projektů, jako na systém, který by měl být efektivním a kvantitativním manažerským nástrojem. Z důvodu současné digitalizace podnikového řízení by takovýto nástroj projektového řízení mohl najít své využití v těchto podnicích.

## 1.2 Východiska

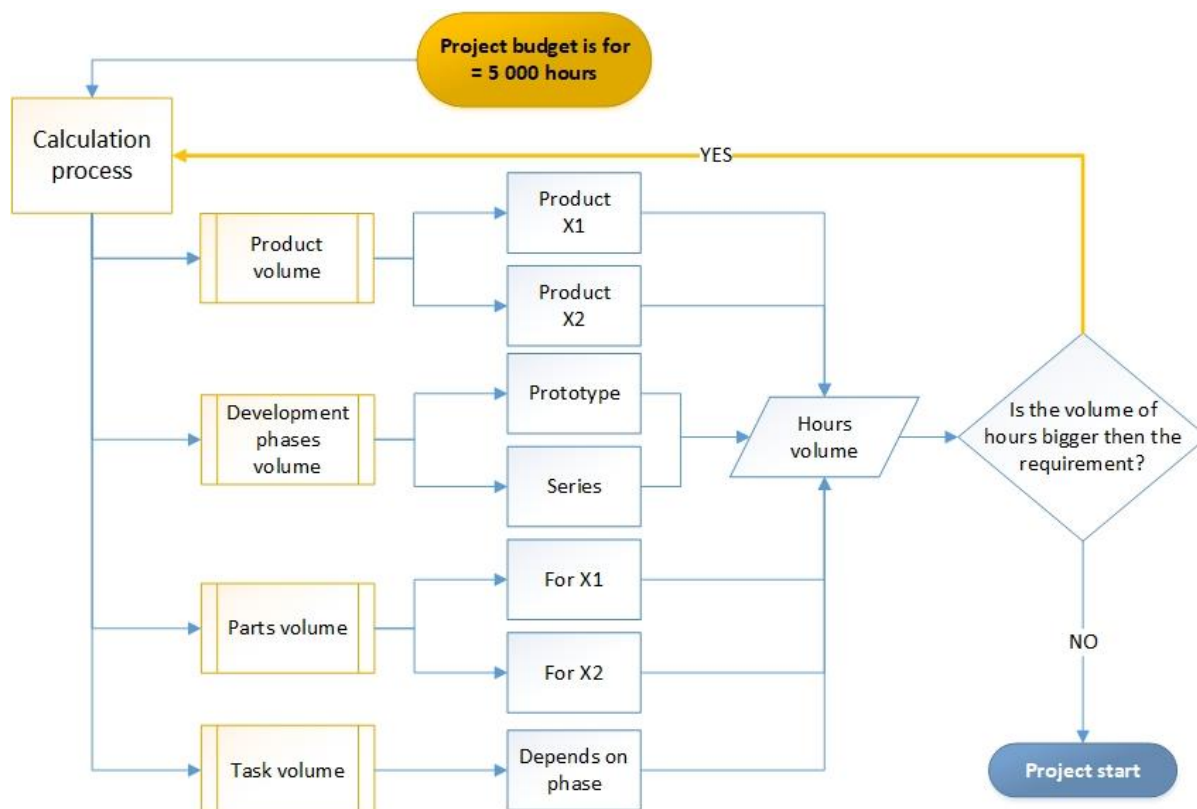
Základními teoretickými východisky pro řešení jsou principy TC, LCC a současné metody projektového managementu.

## 2 Metodika

Trend outsourcingu engineeringových projektů mimo výrobní společnosti je v dnešní době značný, a to nejen v případě malých a středních podniků, které nejsou schopny dlouhodobě udržovat efektivní vytížení konstruktérů a rozsah engineeringových projektů. Současná situace na trhu, která z důvodu globalizace a digitalizace, umožňuje každým dnem navyšovat konkurenční prostředí, díky komunikaci a transferu velkého objemu dat na velké vzdálenosti, vytváří tlak na současné engineeringové podniky, které jsou schopny uspokojovat potřeby výrobních podniků na outsourcing možných vývojových projektů. Tento tlak lze v současné době v rámci vývojových podniků řešit dle mého názoru pomocí dvou možností, první alternativou je navýšení přidané hodnoty a druhou jsou inovace.

Klasické kalkulační metody se zaměřují na vnitropodnikovou efektivitu a účinnost, což je v současné době nedostačující. Základem klasických metod je produkce výrobků a poskytování služeb, nicméně dnes se projevuje intenzivní potřeba orientace na trh a zákazníka, což vyžaduje radikální změnu orientace kalkulačních metod. Nelze tedy již vycházet pouze z vnitropodnikových nákladů vznikajících v důsledku výrobního procesu. Je nutné se soustředit na náklady, které připouští trh a z tohoto důvodu je potřeba i v oblasti engineeringového prostředí, začít se soustředit na možnosti navýšení hodnoty plánovaných výzkumných či vývojových projektů. Podobně jako je tomu u klasického postupu TC, není možné začínat s plánováním nákladů či tvorbou kalkulace zpětnovazebným procesem, tedy přiřazením nákladů na jednotlivé činnosti a procesy, a tímto získat náklady projektu.

Možnosti zákazníka, tedy i případné možnosti plánovaného projektu, je nutno zjistit při plánování a analýze dané poptávky. Tento proces začíná analýzou poptávky, tedy věcnou dekompozicí na funkční prvky.



Obrázek 1 - Aktuální stav plánování vývojových projektů. (Vlastní zpracování)

Navrhovaný postup rozkladu funkčních prvků a skupin je složen z více dílčích kroků, které je nutné definovat a vytvořit celkovou dekompozici pro jasné vysvětlení celého kvantitativního procesu plánování. Základem nově navrhovaného procesu je kvantitativní hodnocení jednotlivých kroků a také se vychází z možností daného zákazníka.

Například to může být rozpočet pěti tisíc hodin, které vycházejí z přepočtu rozpočtu a hodinové nákladové sazby na náklady po odečtení marže projektu pro podnik. V uvedeném příkladu jde o dva produkty, které z důvodu rozdílné náročnosti mají také přiřazené rozdílné množství hodin, které je následně dále dle technické náročnosti alokováno. V dalších krocích patrná alokace hodin dle jednotlivých vývojových fází (Prototyp / Serie) či ve výsledku do jednotlivých kroků, také dle jejich technické náročnosti, která je pomocí kvantitativního hodnocení a pomocí určité váhy složitosti či komplexnosti alokována. Tento proces alokace je ve výsledku komplexního charakteru, čímž je myšlena alokace na vybrané fáze a etapy, kde tento rozpad je rozvrstven až do jednotlivých dílů a veškerých činností, které je nutné dokončit pro vytvoření kvalitního funkčního produktu, který zákazník požaduje. Klíčovým faktorem pro zajištění udržitelného rozvoje projektů v podniku je jejich výstupní kvalita, která je v dnešní době nerovnoměrná nejen v důsledku rozdílnosti těchto projektů, ale také z důvodu nemožnosti jejich porovnání. V důsledku procesu analyzování projektového řízení bylo zjištěno, že projekty vykazují určité faktory, které se na výslednou kvalitu projektu velmi významně podílejí, ale doposud nikdo tyto neanalyzoval a dále

nedefinoval jejich možné parametry. Faktory, které ovlivňují výstupní charakteristiky projektů je mnoho, ale jejich důležitost a možnost ovlivnění jak negativního, tak pozitivního charakteru je nutné dále zkoumat.

Současný stav plánování vývojových projektů je popsán na (obrázku 1), na tomto procesu plánování jsou základní postupy podobné, nicméně kvantitativní hodnocení, ovlivnění plánu a výsledku projektu pomocí měřitelných faktorů zatím nebyl předmětem zkoumání.

V případě, že tyto faktory bude možné kvantitativně hodnotit, mohly bychom následně tyto použít pro relevantní plánování projektů, tedy i pro možnost ohodnocení rizika odchylky projektu od jeho plánu.

Základní navržený proces plánování projektů má také zpětnovazební kontrolní prvek, který by měl ve výsledku přinést možnost navržení projektu ve třech základních režimech. Tyto režimy budou vytvářet možnost porovnání daných režimů mezi sebou, a tedy možnost vytváření pozitivních, negativních a standartních variant projektu. Tímto bude možné porovnat nejen projekt jako celek, ale také jednotlivé fáze či etapy, které se v daném projektu uskutečňují. Tento proces bude možné využít nejenom pro analyzování možné přidané hodnoty pro zákazníka v daném fázi či etapě, ale i v dané činnosti. Celkově tedy bude možné analyzovat přínosy pro podnikatele pomocí nalezení možných úsporných kroků v rámci realizace projektu či v rámci eliminace kritických míst, ale také tyto bude možné implementovat do dalších podobných projektů, čímž by měla vzniknout v daném podniku informační základna pro projektový management. Informace typu možných úsporných opatření v oblasti projektového plánování, navýšení přidané hodnoty pro zákazníka v důsledku zajištění kvalitního produktu pro zákazníka či eliminace kritických či slabých oblastí je v dnešní době důležitá a z důvodu nástupu digitalizace bude vytvořen ještě větší tlak na tuto oblast projektového plánování a následně řízení výzkumných či vývojových projektů.

Celý proces alokace nákladů, v tomto případě hodin na vývoj produktu či jeho prototypovou výrobu, je podobný základnímu postupu již v běžné praxi používaného. Nicméně stěžejním prvkem, který vytváří kvantitativní hodnocení celého procesu, je využití jednotlivých vah, pomocí kterých je projektový manažer schopen efektivněji a přehledněji alokovat požadované hodiny a následně i ohodnocené faktory na jednotlivé činnosti a procesy.

### **3 Diskuze**

Moderní nástroj, který byl popsán v tomto článku, by mohl také napomoci nejen pro plánování a následný management vývojových projektů, ale také projektovému řízení jako celku. Vytváření určité informační databáze pro podnik je také jedním z prvků celého systému, díky němuž by se projektové řízení mohlo stát více transparentní nejen pro samotné manažery, ale pro celé vedení podniku. Jedním z přínosů je propojení datových vstupů a informačních výstupů uvedeného manažerského nástroje, a tedy možnosti analyzování projektového řízení v čase a napříč firmou z pohledu finanční či

jiné úspěšnosti. Dalším z přínosů by mohla být možnost porovnání vstupních a výstupních dílčích parametrů, a tedy možné rychlé detailní prozkoumání projektu v čase.

## 4 Závěr

Moderní metody řízení nákladů jsou velice důležité pro současný trh, a to nejen z důvodu nastavení požadovaného produktu ještě před započítáním celého procesu vývoje, výroby, prodeje, provozu až po konečnou likvidaci, ale také z důvodu přesného naplánování celého produktu včetně plánu nákladů, jeho sledování a plnění zmiňovaného plánu. Pouze v případě jasně nastaveného produktu jsme schopni již před započítáním celého procesu plánování projektu relevantně uvážit, zda je produkt schopen dosáhnout všech svých cílů. Jasná dekompozice a definování systému či znalost vstupů, nejen finančních, ale též informačních, energetických či technických, jsou nezbytné pro možné odhalení a eliminaci negativních faktorů ovlivňujících hodnototvorné a nákladotvorné ukazatele v rámci procesů moderních metod řízení nákladů. Pomocí efektivního plánování a následně i řízení konstrukčních prací jsme tedy schopni nejen vytvářet možné úspory pro daného výrobce produktu, ale také vytvářet funkce s přidanou hodnotou pro cílového zákazníka. Současný navrhovaný proces je zaměřen na systematizaci a možné procesování či kvantifikaci projektového plánování, která je nutná pro možnosti nejen jasného reálného plnění těchto projektů, ale také pro jejich možné zpětné porovnání po ukončení, a tedy možnosti udržitelného rozvoje know-how plánovaných projektů v podniku.

## Poděkování

Tato práce je podporována za pomoci SGS – FS – ČVUT, číslo. SGS17/178/OHK2/3T/12

## Použitá literatura

- [1] Popesko, B. Papadaki, Š. *Moderní metody řízení nákladů: 2., aktualizované a rozšířené vydání*. Praha: Grada Publishing a.s., 2016. ISBN 978-80-271-9050-8.
- [2] Hradecký, M., Lanča, J., Šiška, L. *Manažerské účetnictví*. Praha.: Grada Publishing a.s., 2008. ISBN 978-80-247-2471-3.
- [3] Patrick, F., Keun-Hyo, Y., Il-Woon, K. *Japanese Target Costing | Japanese Yen | Profit (Accounting)* [online]. [vid. 2017-10-28]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/doc/72028666/Japanese-Target-Costing>
- [4] Emblemsvåg, J. *Life-Cycle Costing: Using Activity-Based Costing and Monte Carlo Methods to Manage Future Costs and Risks*. Wiley, 2003. ISBN 978-0-471-46919-3.

- [5] Cost Management: A Strategic Emphasis [online]. 2015 [vid. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.mheducation.com/highered/product/cost-management-strategic-emphasis-blocher-stout/M0077733770.html>
- [6] Schmidt, W. P. Life Cycle costing as part of design for environment environmental business cases. In: *The International Journal of Life Cycle*, 2003, vol. 8, no. 3, pp.167. ISSN 0948-3349. doi:10.1007/BF02978464

# Management znalostí z pohledu systému řízení kvality v automobilovém průmyslu

Miroslav Němec <sup>1</sup>

Yanfeng Czechia Automotive Interior Systems s.r.o.  
Průmyslová 954, 391 11 Planá nad Lužnicí, Česká republika  
[miroslav.nemec@yfai.com](mailto:miroslav.nemec@yfai.com)

**Anotace:** Příspěvek je věnován problematice znalostního managementu v organizacích činných zejména v automobilovém průmyslu. Téma znalostního managementu je již nedílnou součástí aktuálních revizí norem pro systémy řízení kvality a pro certifikované organizace působící nejen v oblasti automotive je tato problematika závazná. V úvodu je krátce zmíněn historický vývoj znalostního managementu v průmyslových podnicích. Navazuje pojednání o procesním přístupu k problematice řízení znalostí a o návaznostech na rozhodovací procesy organizace. Závěr je věnován aktuálním trendům znalostního managementu a důležitosti jeho efektivní implementace v organizaci.

## 1 Požadavky na znalostní management z pohledu normy IATF 16949:2016

Nová revize standardu systému managementu kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016 [1] je úzce navázána na normu ISO 9001:2016 Systémy managementu kvality – požadavky [2]. Tato norma v aktuální revizi ve článku 7.1.6 Znalosti organizace předepisuje, že „Organizace musí určovat znalosti, které jsou potřebné pro fungování jejích procesů a pro dosahování shody produktů a služeb. Tyto znalosti musí být udržovány a v potřebném rozsahu musí být k dispozici.“ Organizace s certifikovanými systémy managementu kvality musí tyto požadavky plnit a musí být schopny toto plnění prokazovat při auditech.

## 2 Historie řízení znalostí v průmyslových organizacích

Nejedná se o úplnou novinku, neboť velké tuzemské podniky tuto problematiku řešily již před rokem 1989. V průmyslových podnicích existovaly podnikové knihovny, které byly vybaveny odbornými publikacemi a časopisy. Vybraní zaměstnanci zpracovávali rešerše témat a veškeré informace byly uchovávány a organizovány pomocí papírových kartoték. Tyto informace byly sice přístupné všem zaměstnancům podniku, avšak vyhledávání v kartotékách bylo složité a časově náročné. Zajištění provozu podnikové knihovny vázalo i potřebné personální zdroje.

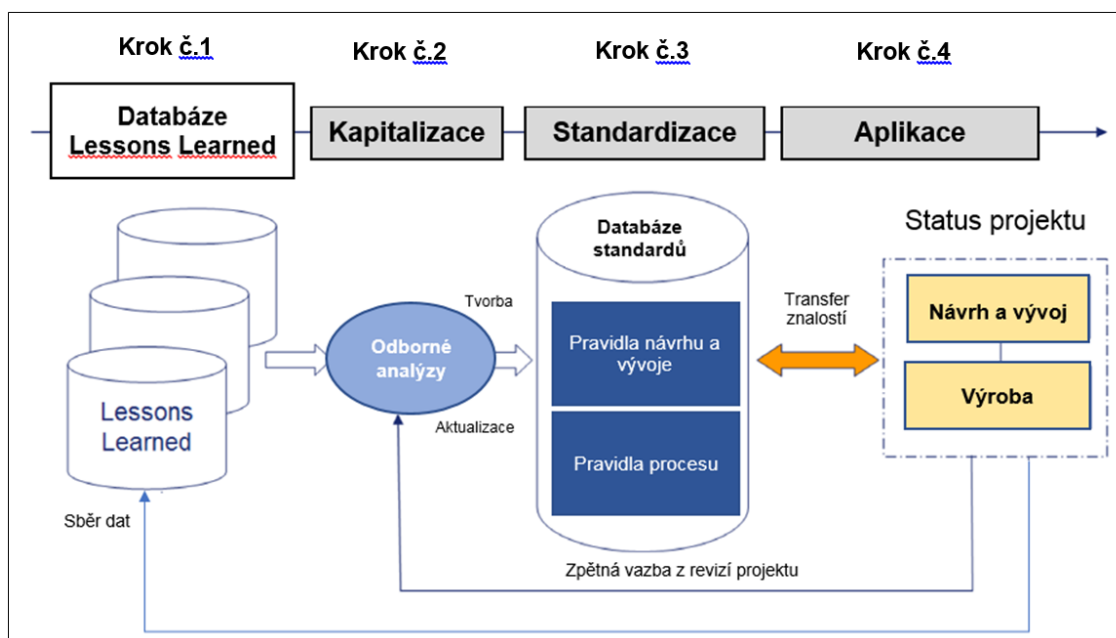
Devadesátá léta přinesla s rozvojem výpočetní techniky také rozvoj databázových systémů (např. DBASE, FOXBASE atd.). Rychle se zozvívající

produkty databázových systémů začaly poskytovat nástroje pro rychlejší práci s velkým množstvím dat. Bohužel počítačová gramotnost se rozvíjela pomaleji a práce s výpočetní technikou byla doménou spíše mladších, technicky vzdělaných zaměstnanců. Starší a zkušenější pracovníci si hledali cestu k efektivnímu využívání výpočetní techniky jen těžko.

V důsledku rozvoje stále výkonnějších osobních počítačů a nástupu internetu narůstalo množství zpracovávaných informací geometrickou řadou a postupně vznikaly specializované nástroje pro vyhledávání a sdílení (Google, Facebook, Instagram, Twitter atd.). Také ostatní softwarové produkty doznávaly změn směrem k lepšímu uživatelskému komfortu. Vznikly tak další pokročilejší databázové systémy (Microsoft Access, SQL, Oracle atd.).

### 3 Znalostní management a procesní řízení v organizaci

Řízení znalostí je jedním z procesů organizace, které je potřeba definovat, popsat a stanovit odpovědnosti. Znalosti představují souhrn zkušeností vytvořených a vlastněných danou organizací, mající pro organizaci hodnotu a na které může být v budoucnu odkazováno. Tyto znalosti a informace musí být chráněny. Jedná se zpravidla o systém řízení, školící podklady, IT aplikace, Lessons Learned, Best Practice, Seznamy specialistů, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), výkresová dokumentace atd. Každý vlastník procesu definuje znalosti potřebné k realizaci procesu a odpovědnosti za jejich uchovávání.



Obrázek 1 – Schéma procesu řízení znalostí v organizaci

Proces řízení znalostí lze rozdělit do čtyř základních kroků:

1. **Sběr dat (informace / znalosti)** – na základě již realizovaných projektů jsou shromažďována data například ve formě Lessons Learned Sheet.
2. **Kapitalizace získaných znalostí** – zaregistrování informace do databáze, analýza a rozhodnutí ohledně nutnosti vytvoření nového nebo aktualizace stávajícího standardu.
3. **Standardizace** – vytvoření a validace nového nebo aktualizace stávajícího standardu včetně řízení a pravidelných revizí.
4. **Aplikace** – implementace standardů v rámci nového projektu, vytvoření kontrolních checklistů, posouzení rizik oproti standardu atd.

V rámci organizace je vždy nutno definovat způsob řízení každé znalosti, tj. jak znalost vytvořit, jmenovat schvalovatele znalosti (např. prostřednictvím multifunkčního týmu), kde znalost vydat a sdílet, jak zajistit bezpečnost znalosti, revize aktuálnosti atd. Za tímto účelem je vhodné vytvořit seznam znalostí, který by měl ke každé znalosti obsahovat alespoň níže uvedené údaje:

- Oblast aplikace znalosti
- Název znalosti
- Účel znalosti
- Jméno tvůrce znalosti
- Jméno schvalovatele znalosti
- Kategorie znalosti
- Úložiště a místo sdílení
- Frekvence revizí
- Status znalosti (aktivní / neaktivní)

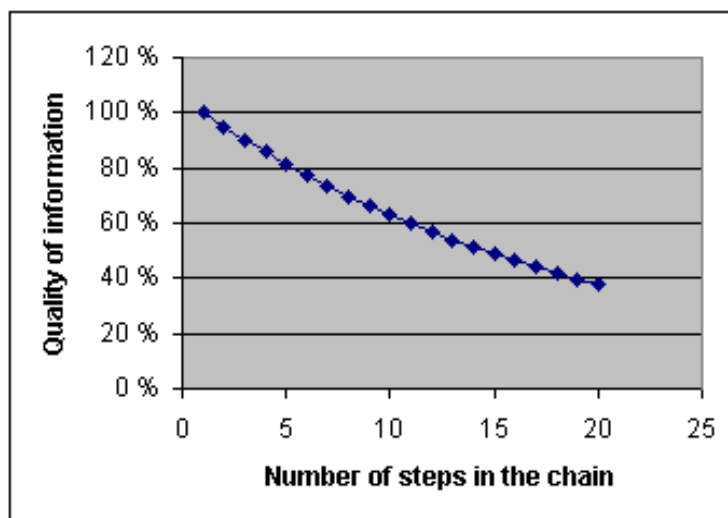
Dle oboru působnosti a zaměření organizace je možno výše uvedené položky změnit nebo upravit dle potřeby organizace.

## 4 Znalostní management a rozhodovací proces

Znalosti se stávají jedním ze strategických zdrojů organizací, který může významně ovlivnit rozhodovací proces a růst jejich výkonnosti. Výsledkem je znalostní management jako relativně nová disciplína.

Podle Hanse O. Melberga [3], ekonoma působícího na University of Oslo, musí v každé organizaci informace projít několika články řetězu, než dorazí do příslušného rozhodovacího místa. Při každém průchodu článkem je informace mírně ovlivněna jedním či druhým směrem a výsledná znalost je tedy odchýlena od původní „pravdy“. Hans O. Melberg [3] studoval závislost

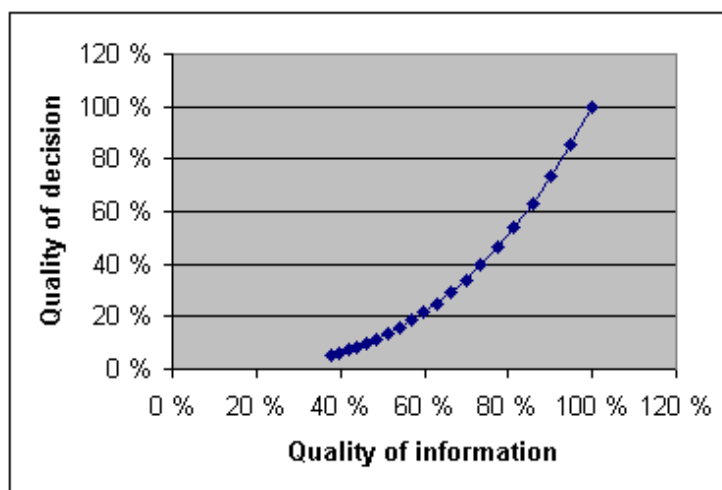
mezi počtem kroků řetězu a kvalitou předávané informace a výsledek vyjádřil grafem uvedeným na obrázku 2.



Obrázek 2 – Závislost kvality informace na počtu článků informačního řetězu [3]

Jak je vidět, jedná se o mírně nelineární závislost v tom smyslu, že se zvyšujícím se počtem článků se hodnota informace snižuje. Z toho vyplývá, že přístup k potřebné informaci musí být co možná nejjednodušší a rychlý.

Hans O.Melberg [3] dále studoval závislost mezi kvalitou informace a kvalitou rozhodnutí na základě této znalosti učiněné. Zjistil, že kvalita rozhodnutí je téměř přímo úměrná kvalitě znalosti. Výsledkem je grafická závislost uvedená na obrázku 3.



Obrázek 3 – Závislost kvality rozhodnutí na kvalitě informace [3]

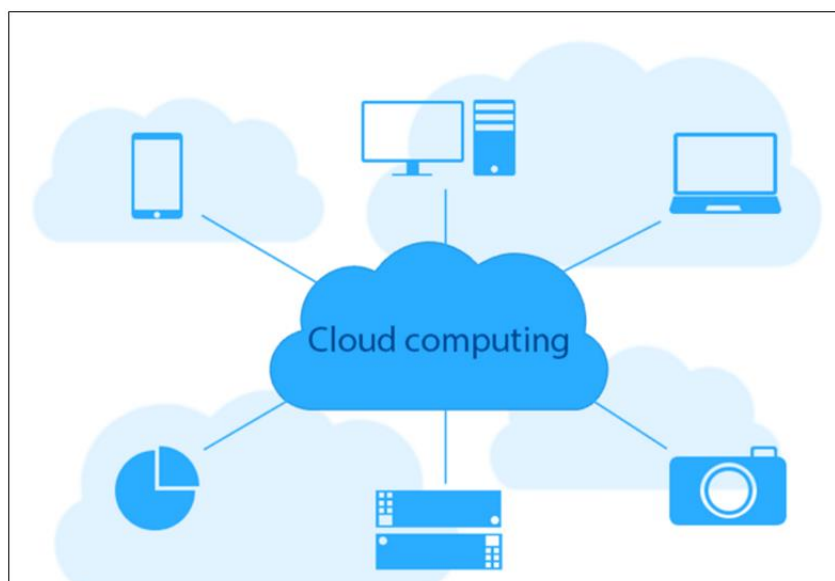
Z výše uvedeného vyplývá, že rychlý a „bezbariérový“ přístup ke kvalitním a ověřeným informacím a znalostem je jedním ze základních předpokladů pro zodpovědné rozhodování.

## 5 Trendy a přístupy ve znalostním managementu

V níže uvedeném bych rád zmínil příklady moderních přístupů ke znalostnímu managementu v průmyslových organizacích působících v automobilovém průmyslu. Jedná se zejména o využívání technologií na bázi „Cloud computing“, vytváření specializovaných pozic orientovaných na znalostní management a zřizování webových profesních skupin v rámci organizace.

### 5.1 Cloud computing

Kromě již delší dobu existujících intranetových databází začínají v současné době organizace využívat rozvíjející se technologie „Cloud computing“.



Obrázek 4 – Schéma Cloud computing [4]

Výhody „cloudu“ jsou následující:

- **Flexibilita:** organizace je schopna se velice rychle rozrůstat a propojovat tisíce zařízení [4].
- **Náklady:** značná redukce IT nákladů a eliminace potřeb technického personálu za účelem údržby serverů a lokální infrastruktury [4].
- **Zálohování dat:** většina poskytovatelů cloudu má vysokou dostupnost a Service-level agreement (úroveň servisu) až 99.999% [4].

### 5.2 Knowledge administrator

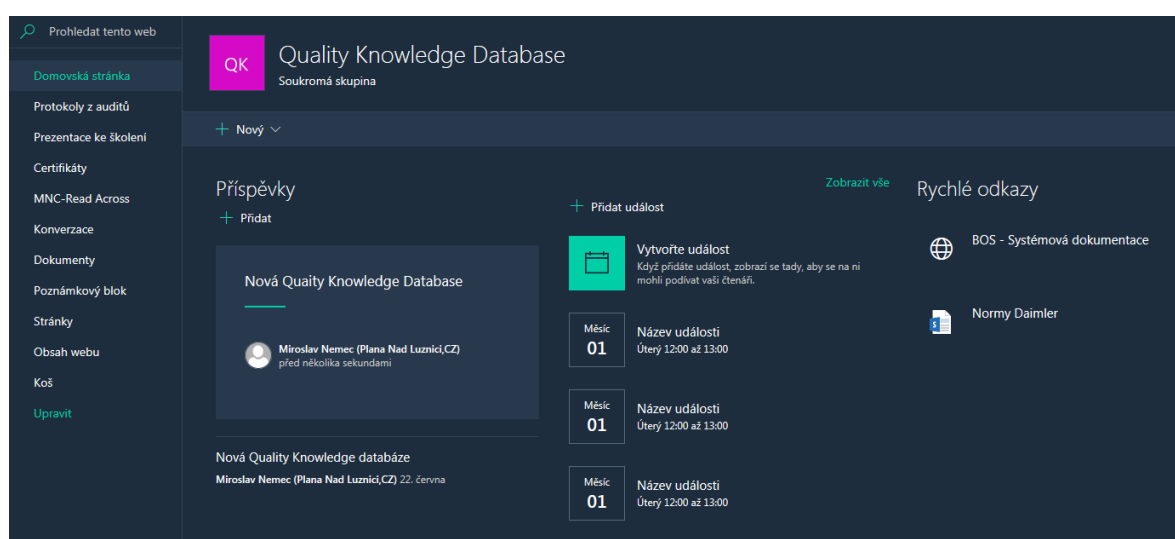
Některé společnosti působící v automobilovém průmyslu přistupují ke zřizování pozic typu „Knowledge administrator“. Náplní práce tohoto specialisty je správa informačních databází organizace, informování o změnách, získávání nových znalostí a informací. Knowledge administrator musí mít dokonalý přehled o úrovni znalostí organizace a to až na úroveň technických detailů a konkrétních procesů organizace. Není neobvyklé, že má

ve svém portfoliu také správu a aministraci FMEA (Failure Mode and Effect Ananlysis), která představuje nejvyšší know-how organizace, neboť obsahuje souhrn informací o chybových módech výrobních procesů organizace a ohodnocení jejich rizik. FMEA proto patří k nejvíce střeženým technickým informacím organizace, není esterně distribuována, ale je pouze k nahlédnutí.

Úkolem Knowledge administratora je sledování aktuálních oborových trendů. Nedílnou součástí jeho pracovní náplně je tedy časté cestování za účelem účasti na konferencích, veletrzích, odborných workshopech a dalších akcích. Takto získané informace a znalosti následně implementuje v rámci příslušných procesů organizace ve spolupráci s vlastníky procesů.

### 5.3 Webové profesní skupiny

Stále větší oblibu si získává zřizování profesních skupin na intranetu v rámci organizace. Tyto skupiny jsou vytvářeny s využitím platform „My Drive“, „Google Drive“, „One Drive“ a pod.). Zřízení webové profesní skupiny není složité a vytvoření jednoduchého webového rozhraní zabere řádově desítky minut. Příklad jednoduchého webového rozhraní profesní skupiny oddělení kvality (Quality Knowledge Database) je uveden na obrázku č.3 níže.



Obrázek 5 – Příklad webového rozhraní profesní skupiny kvality [5]

Výhody takto vytvořené profesní skupiny jsou následující:

- Sdílení odborných informací v rámci definované skupiny uživatelů (např. protokoly z auditů, certifikáty, školící podklady, užitečné odkazy na standardy, normy atd.)
- Sdílení informací o nadcházejících, důležitých událostech týkající se dané skupiny.
- Možnost přidělování přístupových práv v několika úrovních (např. uživatel, adminitrator, host atd.)

- Možnost rozesílání skupinových e-mailových zpráv všem členům skupiny.
- Možnost výměny informací a příspěvků v rámci skupiny pomocí sdílených příspěvků.
- Jednoduchá obsluha webového rozhraní bez nutnosti asistence specialistů IT.

## 6 Efektivní využití znalostního managementu

Přestože IT-technologie podporující znalostní management dosáhly již značného rozvoje, existují v organizacích v oblasti znalostního managementu stále značné rezervy. Nedůsledná práce s existujícími informacemi a znalostmi má za následek časté narušování chodu výroby, opakující se zákaznické reklamace nebo recidivu problémů při náběhu nových projektů. Všechny tyto důsledky představují vícenáklady, které nese organizace. Jako příklad nedůsledného zacházení s informacemi lze uvést Lessons Learned Sheet, který je jedním z výstupů ze zpracované zákaznické reklamace. Tento dokument bývá následně uložen do znalostní databáze dané organizace, ale tím obvykle jeho využití bohužel končí. Vzhledem k neinformovanosti ostatních kolegů (např. v jiných odděleních nebo sesterských závodech organizace), zůstane tato informace dále nevyužita a reklamovaná vada se dříve nebo později opakuje.

Termíny uvádění nových produktů na trh se zejména v oblasti automotive neustále zkracují a je tedy nanejvýš vhodné, aby organizace působící v tomto oboru věnovaly tématu znalostního managementu zvýšenou pozornost a alokovaly potřebné zdroje zejména na proškolení personálu v této dynamicky se rozvíjející oblasti. Je to podmínka nutná, nikoliv však postačující k tomu, aby organizace udržela vlastní konkurenceschopnost i v rychle pulzujícím tržním prostředí.

Za účelem efektivní implementace a využití znalostního managementu lze doporučit normu „ISO 16 354:2013 Guidelines for knowledge libraries and object libraries“ [6], která definuje například základy struktury a obsahu znalostních knihoven a popisuje jejich použití. Popisuje způsoby použití jednotlivých knihoven a jejich vzájemných vazeb nejen v různých oborech, ale i v průběhu celého životního cyklu produktu tj. od návrhu a vývoje, přes výrobu až po servisní činnosti.

## Použitá literatura

- [1] Miller, A., Bureš, M., Kurkin, O., Pešl, J. *Projektování výrobní základny - praktická část*. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2013. ISBN 978-80-87539-30-9.
- [2] Mezinárodní pracovní skupina pro automobilový průmysl, IATF 16949:2016 *Norma pro systém managementu kvality v automobilovém průmyslu*, 2016, ČSJ, ISBN 978-80-02-02699-0.
- [3] Hnátek, J., Hrudka, O., Hykš, O., Jedlička, M., Staněk, M. *Komentované vydání normy ČSN EN ISO 9001:2016*. 2016, ČSJ. ISBN 978-80-02-02642-6.
- [4] Melberg, H., O. *What is the value of information in a centralized structure if people behave like "yes-men?"*. [online] <http://www.geocities.ws/hmelberg/papers/010824.html>
- [5] Spoiala, C. *Cloud offering: Comparison between IaaS, PaaS, SaaS, BaaS* [online] <https://assist-software.net/blog/cloud-offering-comparison-between-iaas-paas-saas-baas>
- [6] Yanfeng Automotive Interiors, company intranet [online] <https://myyfa.sharepoint.com/sites/QualityKnowledgeDatabase>
- [7] Technical Committee ISO/TC 59, ISO 16 354:2013 *Guidelines for knowledge libraries and object libraries*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2014.

# Přesun výroby za účelem snižování výrobních nákladů

Konstantin Novikov <sup>1</sup>, Jana Kleinová <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika  
[novikov@kp.v.zcu.cz](mailto:novikov@kp.v.zcu.cz)  
[kleinova@kp.v.zcu.cz](mailto:kleinova@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** Tento článek se zabývá konkurenceschopností průmyslových podniků. Vychází z konceptu čtvrté průmyslové revoluce, která zásadně mění trendy v oblasti výroby. Jeho cílem je hodnocení nákladovosti výroby v automatizovaných výrobních systémech. Především posouzení vlivu osobních nákladů na vlastní náklady výroby. Výpočet je proveden na bázi úplných nákladů. Součástí článku je případová studie, jež demonstruje rozdíl osobních nákladů dvou identických výrobních jednotek nacházejících se v odlišných zemích. Výsledkem by mělo být potvrzení nebo vyvrácení teorie, že změny v osobních nákladech u automatizovaných výrob (stejná úroveň automatizace) nemají příliš velký vliv na celkové výrobní náklady.

## 1 Úvod

Vlivem zvyšující se konkurence na trzích se veškeré průmyslové podniky musí zabývat otázkou snižování nákladů. O úspěchu a neúspěchu společnosti již nerozhoduje pouze cena a kvalita výrobků, ale i náklady. Pokud jsme schopni dosahovat stejné kvality výroby s nižšími náklady na jednotku produkce než naše konkurence, předpokládáme tak možnost vyšších zisků a lepší postavení společnosti v tržním prostředí.

Společnosti zabývající se exportem zboží do zahraničí jsou do velké míry závislé na monetární politice státu, v němž se výroba nachází. Ta totiž ovlivňuje výši dosaženého zisku a tím i konkurenceschopnost podniku. Často se tak můžeme setkat se stěhováním různých výrob do zemí, které mají nižší nákladové zatížení. Příkladem mohou být nižší průměrné mzdy, nižší náklady na prostory a energie. Důvodem může být také výhodnější daňová politika státu. S řešením přichází koncept Industry 4.0, který má do značné míry omezit politické, ekonomické a sociální vlivy na hospodárnost výroby.

### 1.1 Trendy ve výrobní sféře

Čtvrtá průmyslová revoluce s sebou přináší digitalizaci a automatizaci výroby. Vznik takzvaných chytrých továren je logickým krokem k tomu, aby výrobní závody nacházející se ve vyspělých zemích udržely konkurenceschopnost a nemusely svou výrobu stěhovat do zemí rozvojových.

Odborná literatura zabývající se problematikou Industry 4.0 předpokládá postupné vytlačení dělnických profesí. Ty budou nahrazeny automatickými systémy, jež potřebují pouze částečnou obsluhu. Počet pracovníků přímo se podílejících na výrobním procesu významně poklesne, a tím dojde i ke snížení nákladů na přímé mzdy ve výrobě. Výrobní jednotky tak budou čítat pouze několik podpůrných pracovníků, což podle dostupných zdrojů povede k tomu, že naroste podíl strojních nákladů, ale zároveň se zvýší efektivita výroby. Důsledkem toho dojde k omezení osobních nákladů a minimalizaci jejich podílu ve výrobních nákladech produktu. Na druhé straně, může dojít k určitému zvýšení pracovníků v předvýrobních etapách.

## 1.2 Rozhodující náklady

Pro interpretaci závěrů této práce a potvrzení či vyvrácení hypotézy jsou nejdůležitější osobní náklady, jejichž vlivem na náklady výroby se budeme dále zabývat. Do těchto nákladů zahrnujeme nejen přímé mzdy, ale i náklady na mzdy režijní. Redukce počtu dělnických pracovníků ve výrobě výrazně snižuje přímé mzdy a tedy i osobní náklady. Otázkou však stále zůstává, zda nižší počet výrobních pracovníků sníží vliv osobních nákladů natolik, aby jejich vliv na finální produkt byl tak malý, že by přesun výroby do země s levnější pracovní silou nebyl hospodárný. Je nutné zmínit, že oblastí zájmu studie je výroba neopakovaná či s nižší opakovaností, jelikož podíl osobních nákladů vysoce opakované výroby by se mohl značně odchylovat.

## 2 Metodika

Aby bylo možné kalkulaci nákladů provést, musí být známa pracnost jednotlivých výrobků. Tu lze zjistit měřením spotřeby práce. Pro komplexní porozumění výrobnímu úseku se však nejdříve definují materiálové toky a probíhá analýza veškerých pracovišť. Pomocí normování práce a zjištění veškerých ročních výrobních nákladů je později možné stanovit náklady jakéhokoliv typu produktu, který se v daném úseku vyrábí.

Pro stanovení vlastních nákladů výroby je použita kalkulace na bázi úplných nákladů. Cílem je zachycení všech nákladů, které během výroby vznikly, nezabývá se náklady v nevýrobní sféře podniku, které považuje za neovlivnitelné změnami ve výrobě, i když mohou ovlivnit úplné vlastní náklady na produkt. Metodika výpočtu vychází z literatury [1], kde je vztah pro výpočet vlastních nákladů výroby popsán vztahem:

$$VNV = PMA + PMz + RMA + SN + NN + N_{netech} \quad (1)$$

VNV ... vlastní náklady výroby	[Kč]
PMA... přímý materiál	[Kč]
PMz ... přímé mzdy	[Kč]
RMA ... náklady na režijní materiál	[Kč]
SN ... strojní náklady	[Kč]
NN ...náklady na nástroje	[Kč]
N <sub>netech</sub> ...náklady na netechnologické operace	[Kč]

Kalkulační jednicí je v tomto případě považován produkt, jemuž byl definován výkon potřebný pro zhotovení. Spotřeba materiálu na výrobu kalkulační jednice se nazývá přímý materiál a stanovuje se pomocí kusovníku na základě norem spotřeby materiálu. Přímý materiál se vlivem stěhování výroby nezmění a lze s ním pracovat jako s konstantou. Rozdíl mezi vlastními náklady výroby a přímým materiálem se označí jako náklady zpracovací.

$$ZN = VNV - PMa \quad (2)$$

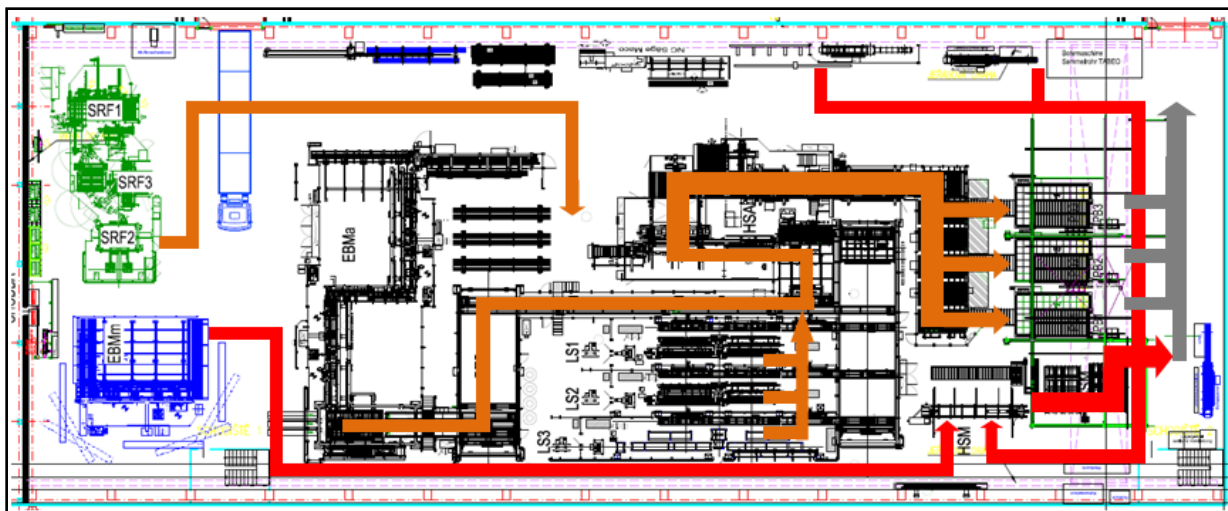
Po rozepsání nákladů na technologické a netechnologické operace se zpracovací náklady zjistí následovně:

$$ZN = \underbrace{PMz + RMa + SN + NN}_{\text{Technologické náklady}} + \underbrace{Nman + Nprost. + Nkont}_{\text{Netechnologické náklady}} \quad (3)$$

$ZN$	...zpracovací náklady na výrobní úkol	[Kč]
$N_{tech.}$	... technologické náklady	[Kč]
$N_{netech.}$	... netechnologické náklady	[Kč]
$N_{man.}$	...náklady na manipulaci	[Kč]
$N_{prost.}$	...náklady na (volné) prostory	[Kč]
$N_{kont.}$	...náklady na kontrolu	[Kč]

### 3 Diskuze

Tato část práce je věnována případové studii, která se zabývá porovnáním nákladů výroby původní výrobní jednotky ve Švýcarsku (dále jen Company CH) a nové výrobní jednotky v České republice (dále jen Company CZ). Výrobní jednotky jsou identické, slouží pro výrobu topných těles a strojní zařízení ještě nejsou účetně odepsána. Nejdříve byly porovnány zpracovací náklady výrobních jednotek. Následuje porovnání ročních technologických nákladů obou výrobních jednotek, v nichž není zahrnuta manipulace, společné prostory a opravy. Pro demonstraci vlivu změny nákladů po přestěhování výroby budou provedeny kalkulace zpracovacích nákladů a vlastních nákladů výroby vybraných představitelů. Veškeré finanční údaje jsou uvedeny v peněžních jednotkách (PJ), které jsou přepočteny pomocí klíče. Poměrově však budou hodnoty odpovídat skutečnosti.

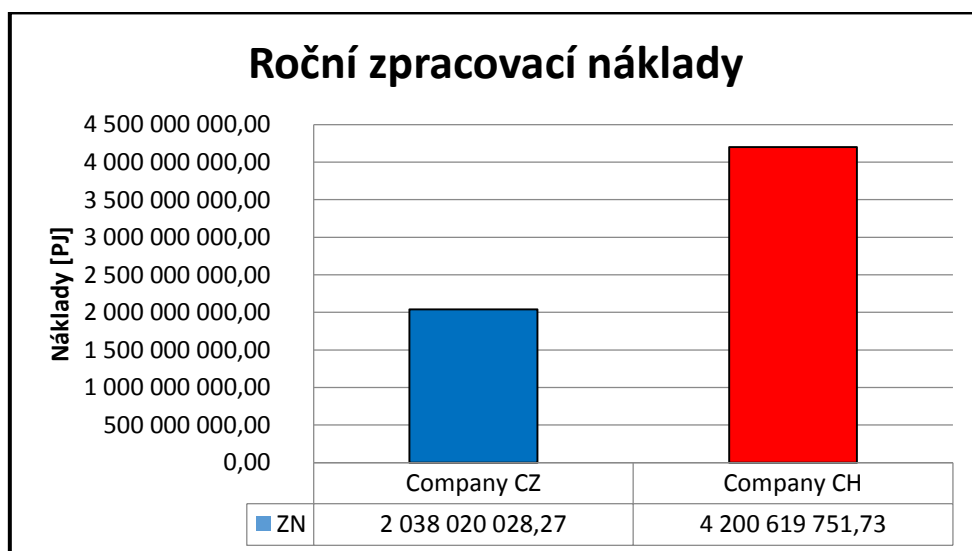


Obrázek 1 – Materiálový tok [2]

Na obrázku č. 1 je nastíněn materiálový tok zasazený do layoutu haly. Materiálový tok se po přestěhování výroby nezměnil. Hnědou barvou je znázorněn tok produktu. Červená barva představuje tok pomocného materiálu. Šedá barva představuje konečnou manipulaci a odvoz z výrobního úseku.

### 3.1 Roční náklady výrobních jednotek

Jako jedno z měřítek hodnocení nákladovosti vybraných jednotek lze použít porovnání ročních zpracovacích nákladů. Tyto náklady vychází z vlastních nákladů výroby, ale neobsahují náklady na přímý materiál. Předpokladem totiž je, že dodavatel přímého materiálu se nezmění a tyto náklady budou pro obě výrobní jednotky stejné.



Obrázek 2 – Zpracovací náklady

Z grafu č. 2 je možné odvodit, že společnost Company CH má roční zpracovací náklady vyšší než společnost Company CZ, a to o 2 162 599 723 PJ, což je o více než 100% nákladnější. Největší vliv na změnu zpracovacích nákladů mají technologické náklady. Aby bylo možné odhalit, z čeho vyplývají největší rozdíly ve zpracovacích nákladech, musí se porovnat i roční náklady technologické, které jsou spolu s náklady netechnologickými součástí zpracovacích nákladů.

Tabulka 1 – Technologické náklady

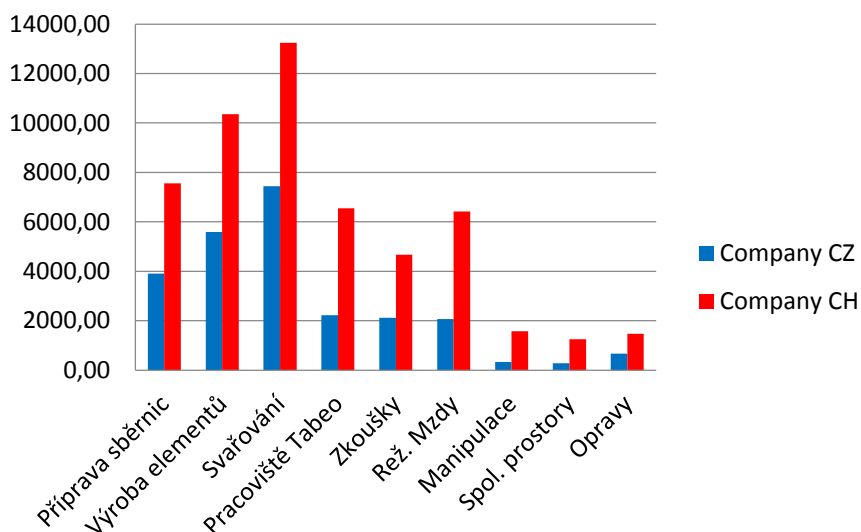
Technologické náklady [PJ]- Company CH		Technologické náklady [PJ]- Company CZ	
PMz	1 319 299 369,42	PMz	320 104 001,00
Rma	221 667 300,00	Rma	221 667 300,00
Stroje	859 013 535,24	Stroje	859 013 535,24
NN	49 259 400,00	NN	49 259 400,00
Energie	207 246 917,50	Energie	104 338 103,29
Prostory	913 809 159,02	Prostory	228 452 289,76
Opravy	126 065 175,00	Opravy	126 065 175,00
RMz	293 177 637,65	RMz	84 237 895,00
SUMA	3 989 538 493,83	SUMA	1 993 137 699,29

V tabulkách č. 1 lze vidět, že největší odchylky v technologických nákladech obou jednotek tvoří přímé a režijní mzdy. Rozdíl ročních přímých mezd je 999 195 368 PJ. Dalším významným faktorem jsou náklady na prostory, které jsou ve společnosti Company CH o 685 356 870 PJ vyšší než v Company CZ. Rozdíly jsou i v nákladech na energie, kde má Company CZ o 102 908 814 PJ méně.

### 3.2 Náklady produktů

Přestože jsou známy odchylky ročních zpracovacích nákladů obou výrobních jednotek, je ještě podstatné zjistit, jaký vliv mají tyto náklady na konkrétní kusy. Je proto vybrán nejběžněji vyráběný zástupce produktů. Zpracovací náklady jsou představitelům přiřazovány postupnou kalkulací. Ta přesně kopíruje materiálový tok produktu přes nákladová místa. Nákladová místa jsou vyjádřena hodinovou sazbou těchto míst a vybraný procházející produkt má určenou pracnost pro jednotlivá nákladová místa.

## ZN Product

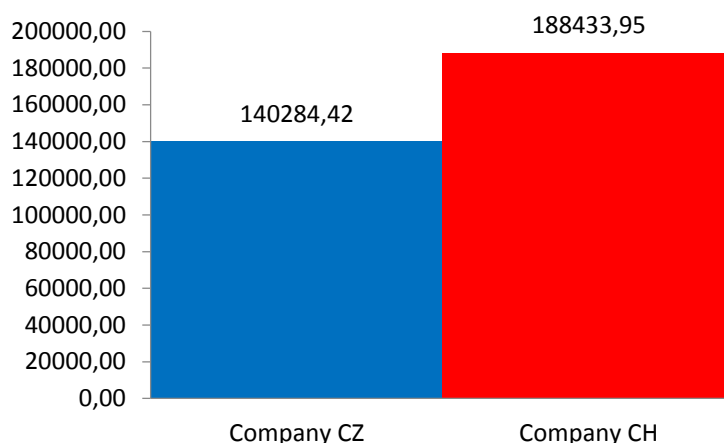


*Obrázek 3 – Zpracovací náklady produktu*

Zpracovací náklady tohoto výrobku vychází 24 635 PJ v Company CZ a 53 077 PJ ve společnosti Company CH. Veškeré druhy nákladů jsou vyšší u švýcarské společnosti, a to především vlivem osobních nákladů, které se promítly do nákladových míst přes hodinovou sazbu.

Pro stanovení ceny výrobků se využívá vlastních nákladů výroby jako základu výpočtu, k němuž se později přičítají správní a odbytové režie, zisk a popř. rabat. Aby bylo možné porovnat vlastní náklady výroby průměrných kusů, musí se zjistit náklady na přímé materiály. Přímý materiál spolu se zpracovacími náklady tvoří vlastní náklady výroby.

## VNV Product

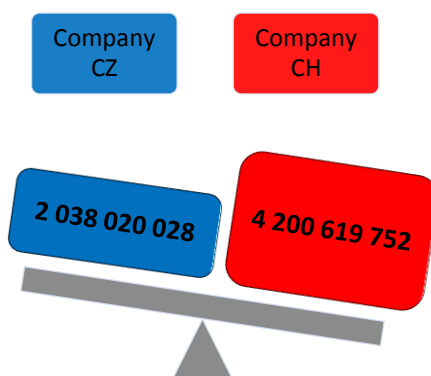


*Obrázek 4 – Vlastní náklady výroby*

Vlastní náklady výroby společnosti Company CH jsou vyšší o 48 149,53 PJ, což je o 34% více než u Company CZ. Ačkoli nejsou ve výpočtu zahrnuty správní ani odbytové režie, lze předpokládat, že pokud se konečná cena výrobků po přestěhování výroby nezměnila, tak došlo ke zvýšení zisku.

## 4 Závěr

Cílem tohoto článku bylo potvrzení či vyvrácení hypotézy, že osobní náklady nemají významný vliv na výši výrobních nákladů v automatizovaných výrobních systémech. Pro výpočet byla použita kalkulace na bázi úplných nákladů. Stanovení a porovnání zpracovacích nákladů umožnilo posoudit, jak velký vliv představují osobní náklady na výši vlastních nákladů výroby, respektive zpracovacích nákladů. Dopóčtení vlastních nákladů výroby jen potvrdilo, že přímé a režijní mzdy tvoří významnou složku nákladů.



Obrázek 5 – Roční zpracovací náklady

Obrázek č. 5 ukazuje, že roční zpracovací náklady v Company CH jsou přibližně dvojnásobné oproti Company CZ. Výsledek případové studie tedy vyvrací předpoklady o nepříliš velkém významu osobních nákladů. Tato studie také demonstuje, jak výrazný dopad na konkurenceschopnost má levnější pracovní síla. I když je nutné si uvědomit, že se zvyšující se automatizací dojde k posunu od osobních nákladů k nákladům strojním. Pak bude vhodné se zabývat i porovnáním z hlediska nárůstu strojních nákladů a poklesu nákladů osobních.

Zajímavé by však bylo porovnat výsledky této studie s podílem osobních nákladů u výroby hromadné a zjistit, zda i při větším počtu vyráběných produktů zůstává podíl mezd na nákladech nezanedbatelnou položkou.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] Šrajer, V. *The arrangement of the production system with regard to the technological-design of a product*. Disertační práce (Ph.D.), Plzeň, 2014, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [2] Novikov, K. *Cost evaluation of heating elements production*. Diploma thesis (Ing.), Plzeň, 2017, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [3] Dhillon, B. S. *Life Cycle Costing for Engineers*. CRC Press, 2010. ISBN 978-1-4398-1688-2.
- [4] Ofert, K. *Kostenrechnung*. Kiehl, 2006. ISBN 3-470-51-102-0.
- [5] Šrajer, V., Kleinová, J. Effective manufacturing layout as a condition of economy of production. In: *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of The 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity"*. Vienna, Austria, 2011, p. 525-526. ISBN 978-3-901509-83-4.
- [6] David B. G., Douglas, M. L., James R. S., Lisa M. E. *Fundamentals of logistics management*. 2. vyd., Brno, CP Books, 2005. ISBN 80-251-0504-0.
- [7] Ehrlenspiel, K., Kiewert, A., Lindemann, U. *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren*. Springer, 2007. ISBN 978-3-540-74222-7.
- [8] Ustundag, A. *Industry 4.0 – Managing The Digital Transformation*. Springer, 2017. ISBN 978-3-319-57869-9.

# Porovnání účinnosti virtuálních a konvenčních montážních návodek

Jiří Polcar <sup>1</sup>, Pavel Kopeček <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika

[jpolcar@kpv.zcu.cz](mailto:jpolcar@kpv.zcu.cz)

[kopecek@kpv.zcu.cz](mailto:kopecek@kpv.zcu.cz)

**Anotace:** Virtuální montážní návodka je chápána jako montážní návodka obecně zobrazovaná na počítači, která nahrazuje konvenční montážní návodku v papírovém provedení. Příspěvek se zabývá porovnáním jejich účinnosti na referenčním montážním postupu umyvadlového sifonu. Čtyři skupiny studentů vykonávaly tento montážní postup a měly k dispozici návodky ve formě videa, 3D animace, 3D animace doplněné in-situ projekcí s případným doplněním speciálního ovladače nahrazujícího klávesnici. Pátá skupina používala konvenční papírovou návodku.

## 1 Úvod

Článek navazuje na předchozí publikaci [1], která se zabývala obecněji možnostmi nasazení rozšířené reality (Augmented Reality, AR) v manuálech určených k provádění servisních nebo montážních úkonů. Tradičně jsou návodky v papírové formě k dispozici na montážních pracovištích, nicméně toto řešení přináší nevýhody v tom, že tento druh manuálů je náchylný k poškození a ztrátě, navíc je problematická jejich aktualizace a nesou nevýhodou i v tom, že je potřeba vyhledat správný dokument pro danou operaci. Zároveň jazyková výbava některých agenturních pracovníků není příliš valná a je omezením, pokud obsahují příliš mnoho textu na úkor schémat.

Hlavním autorem této publikace byla navržena metodika pro snadnou tvorbu montážních manuálů sestávajících z elementárních pohybů posunu, rotace a škálování. Metodika byla doplněna o možnost animování složitějších úkonů bez nutnosti znalosti tvorby animací pomocí běžných metod, jakými je třeba definování *keyframes* v 3D grafických editorech (jako je Blender nebo 3DS MAX). V současné chvíli metodika podporuje i animaci ohybu objektů, které je možné rozdělit na klouby a segmenty (jako je například potrubí, kabeláž, páska apod.). Tato metodika byla implementována v Unity3D. Tento framework s pracovním názvem VAM (Virtual Assembly Manual) je zároveň jakýmsi uzlovým bodem pro kompatibilitu při nasazování moderních zařízení pro virtuální a rozšířenou realitu, kterými se tyto manuály dále mohou obohacovat. Podobně jako [2] je návodka ve VAM složena z kroků a animačních elementů, které nesou vzorec pohybu a odkaz na animovaný 3D

objekt. Na trhu existují i hotová řešení, ne všechna jsou však určena k nasazení ve výrobě, nepodporují potřebné druhy animací nebo moderní technologie, jako je například právě AR. Příkladem jsou Thingworx [3], SwipeGuide [4] nebo in-situ laserová projekce Extend3D [5]. Animované návodky ve formě videosekvencí je možné vytvářet i v CADových systémech, ale vyžadují jejich poměrně pokročilé znalosti.

Důležitou otázkou však zůstává to, jaké jsou přínosy nasazení těchto návodů. Jejich tvorba je poněkud nákladnější, než tvorba jejich papírových protějšků. Na druhou stranu se jeví jako výhodné z hlediska rychlosti zaučení nových pracovníků. Společným jmenovatelem je dobré praxe „vzít do ruky a umět“. Je tedy nutné, aby byly intuitivní a snadno se ovládaly, jak uvádí mimo jiné [6]. Při vysoké míře jejich fluktuace zaměstnanců, která je v současnosti v českém i evropském průmyslu značná, se při nasazení efektivnějších návodů mohou snížit personální náklady a zvýšit pracovní efektivita. Byla proto provedena experimentální studie mezi pěti skupinami, která odpovídá na otázku, jaký je rozdíl mezi učícími křivkami při použití různých druhů virtuálních manuálů.

Zatímco účinky pokročilých návodů jsou v případě sestavování stavebnic, jako je LEGO, prokázány jako velmi pozitivní (většinou cca o třetinu rychlejší časy sestavení, dle např. [7], [8] nebo [9]), studií zabývajících se produkty je podstatně méně. Rozdíl přitom může být markantní, neboť tyto stavebnice mají omezený počet stupňů volnosti spojení jednotlivých dílů (polohy i natočení dílů jsou diskrétní). Nicméně například Markus Funk prokazuje, že in-situ projekce (tj. projekce na pozici reálného objektu) je vhodná pro zaučování a že celkově jsou animované návodky vhodné pro kognitivně znevýhodněné pracovníky, kteří jsou díky nim schopni vykonávat složitější a delší operace [10].

## 2 Metodika

V první řadě proběhla volba referenčního výrobku, který byl předmětem montáže v experimentální studii. Byl zvolen standardní umyvadlový sifon. Důvody byla jeho dostupnost ve velkém množství, zároveň se jedná výhradně o díly, které jsou montovány pomocí dvou druhů elementárních pohybů (posunutí a rotace) a také fakt, že je velká pravděpodobnost, že účastníci experimentu jeho montážní postup neznají. Následně došlo k sestavení referenčního montážního pracoviště skládajícího se ze stolu a boxů, které obsahovaly díly pro sestavení sifonu. Toto pracoviště lze vidět na dále na obrázku 1.

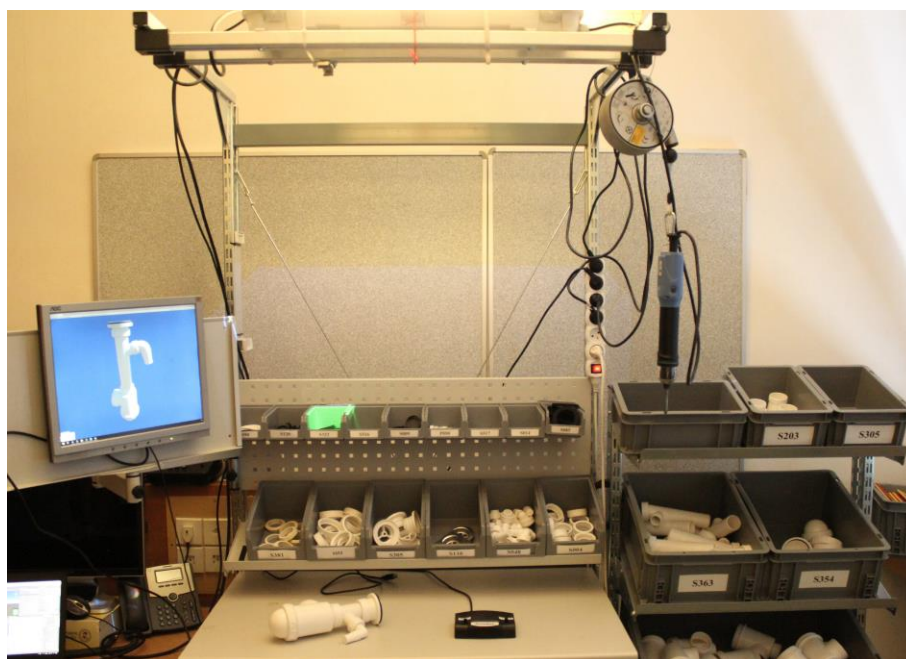
Experimentální studie byly prováděny diplomanty pod vedením autora a jednotlivé výsledky jejich měření jsou uvedeny v jejich diplomových pracích [11], [12] a [13]. Studie se zúčastnili studenti předmětu průmyslové inženýrství (KVP/PI). Ti byli seznámeni s úkolem a následně smontovali několikrát sifon v řadě ihned za sebou. V roce 2016 byly testovány skupiny s 3D animovaným manuálem oproti papírovému a proběhly 4 iterace montáže. V roce 2017

potom proběhla druhá část experimentální studie. Zbylé druhy návodů byly testovány v 6 iteracích z důvodu, že 4 z předchozího roku nebyly dostatečné k tomu, aby učící křivky začaly konvergovat.

Studenti byli rozděleni do 5 skupin dle typu návodky:

- Papír – byla použita konvenční papírová návodka v běžné podobě, jakou je možné nalézt ve výrobních firmách
- Video – byla použita návodka ve formě sestřihané videosekvence, implementované pomocí Power Pointové prezentace
- 3D – byla použita návodka ve formě animovaného 3D monitoru viděného na monitoru, vytvořena byla ve VAM
- 3DI (3D + In Situ) – jako předchozí, doplněné o podsvícení boxu s dílem ze shora svítícího projektoru
- 3DIO (3D + In Situ + Ovladač) – jako předchozí, doplněné o ovladač nahrazující počítačovou myš sloužící k přepínání kroků; tato konfigurace je vidět na obrázku 1.

Výsledky měření jsou uvedeny v další kapitole.

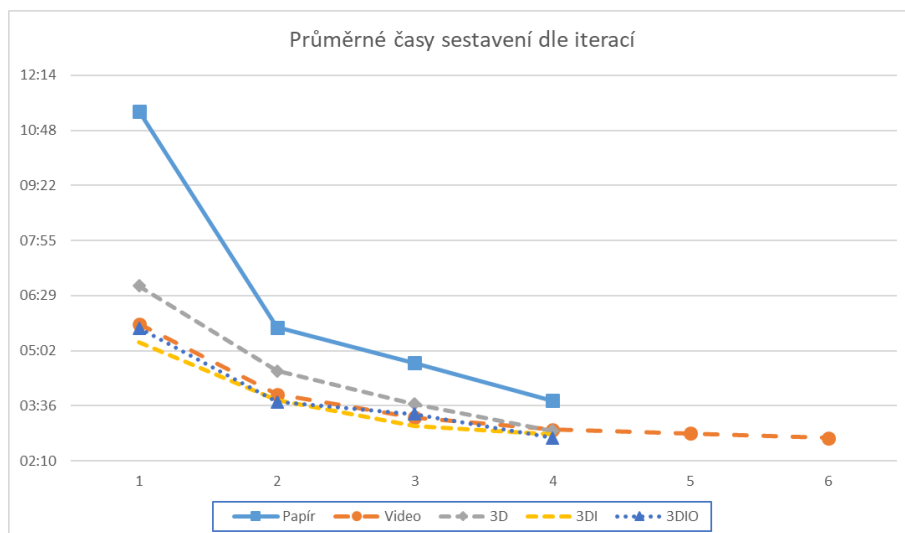


Obrázek 1 – Ukázka pracoviště v konfiguraci pro skupinu 3DIO

### 3 Analýza výsledků

Vzhledem k počtu měření a tomu, že tato měření nesledují náhodné rozdělení, byl pro ověření významnosti výsledků zvolen Kruskal-Wallisův test. Vstupem do testu byly naměřené časy v jednotlivých iteracích a součet časů přes všechny iterace. Při  $\alpha=0,5$  byly p-hodnoty testu dle iterací následující:  $3,551 \cdot 10^{-5}$ ;  $7,789 \cdot 10^{-3}$ ; 0,227; 0,232; 0,101; 0,273 a pro součet  $6,06 \cdot 10^{-4}$ . Pouze pro první dvě iterace a součet přes iterace je tedy výsledek Kruskal-

Wallisova testu významný, pro ostatní iterace je z hlediska testu možno tvrdit pouze to, že nezamítáme, že typ návodky má vliv na předpokládanou dobu zaučení. Průměrné časy lze porovnat v grafu na obrázku 2 nebo z tabulky 1. Rozptyly součtu časů prvních 4 iterací jsou v box plot grafu na obrázku 3.

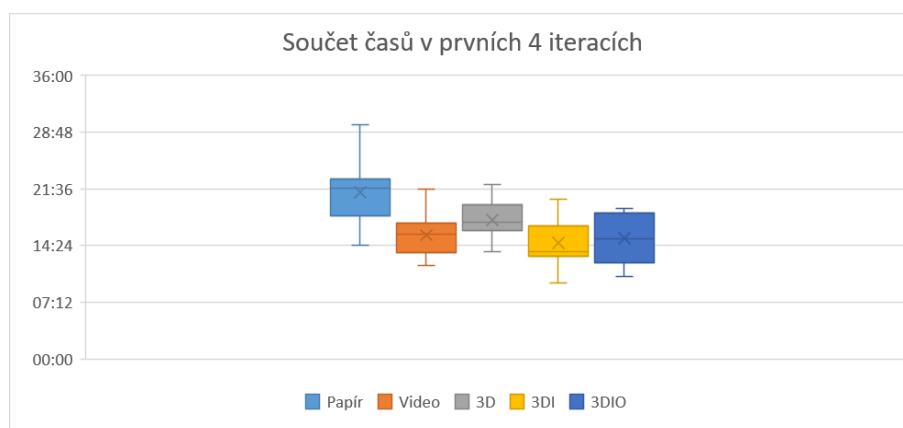


Obrázek 2 – Porovnání průměrných časů jednotlivých iterací dle typu návodky

Tabulka 1 – Průměrné časy složení sifonu dle typu návodky a iterace

skupina / iterace	1	2	3	4	5	6	počet
Papír	11:18	05:39	04:43	03:44	-	-	11
Video	05:45	03:54	03:18	02:59	02:53	02:46	17
3D	06:44	04:31	03:39	02:57	-	-	11
3DI	05:16	03:45	03:05	02:51	02:31	02:27	14
3DIO	05:38	03:42	03:23	02:46	02:24	02:19	7

Nejpodstatnější ve výsledek součtu časů v prvních čtyřech iteracích, neboť ten znamená časovou úsporu při zaučení pracovníků, kteří neznají montážní postup. V průměru je tak postup dle papírové návodky nejdelší takřka o 6 minut oproti ostatním druhům návodek.



Obrázek 3 – Box plot diagram rozptylu součtu časů prvních 4 iterací

## 4 Diskuze

Zcela markantní rozdíl existuje mezi papírovou návodkou a ostatními, nicméně dle statistických testů při daném množství měření nejsou u ostatních typů statisticky významné rozdíly. Významnost rozdílů je nízká pravděpodobně kvůli malému poměru počtu měření a rozdílu změřených hodnot.

Při použití ovladače (3DIO proti 3DI) je pravděpodobné, že při zkoušení na starší nebo méně počítačově gramotné populaci by byly rozdíly větší. Studentům, kteří umí dobře ovládat počítače, ovladač oproti kliknutí myši nebo stisku klávesy na klávesnici příliš nepomůže. V každém případě je ale zavádění speciálních a jednoduchých ovladačů přínosem, neboť při montážních operacích je často důležitá každá sekunda. Předpokladem je, že pořízení takového ovladače je minoritním nákladem oproti tvorbě návodky.

Prozatímni autorova praxe ukazuje, že existují druhy operací, jako je například čalounění, které by byly obtížné animovat a je snazší je filmovat. VAM nicméně umožňuje kombinovat filmovanou návodku s animovanou.

## 5 Závěr

Cílem článku bylo porovnat a diskutovat o účinnosti jednotlivých druhů virtuálních návodů. Tyto návody byly vytvořeny v prostředí VAM (Virtual Assembly Manual), které implementuje autorovu metodiku pro tvorbu takových návodů. Bylo prokázáno, že oproti papírovým návodkám dochází k naprosto markantnímu zrychlení (30%) v součtu času prvních čtyř iterací montáže neznámého výrobku.

Při provedení více náměrů by se pravděpodobně statisticky prokázal kladný vliv in-situ projekce k označení správných boxů a bylo by i zajímavé testovat vliv ovladače na počítačově negramotné populaci.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] J. Polcar a P. Kopeček, „Virtuální montážní návodky“, prezentováno v Průmyslové inženýrství, 2017, roč. 2018.
- [2] C. Knopfle, J. Weidenhausen, L. Chauvigne, a I. Stock, „Template based authoring for AR based service scenarios“, in *IEEE Proceedings. VR 2005. Virtual Reality, 2005.*, 2005, s. 237–240.
- [3] Netinvent Studio, „ThingWorx“. [Online]. Dostupné z: <http://www.aveng.cz/spolecnost/novinky/thingworx>. [Viděno: 17-kvě-2018].
- [4] „SwipeGuide - User guides & work instruction software“. .
- [5] „Laser- und Videoprojektion für die Industrie von EXTEND3D.“ [Online]. Dostupné z: <http://extend3d.com/>. [Viděno: 17-kvě-2018].
- [6] A. Bannat *et al.*, *Towards Optimal Worker Assistance: A Framework for Adaptive Selection and Presentation of Assembly Instructions*. 2008.
- [7] M. Funk, T. Kosch, a A. Schmidt, *Interactive worker assistance: comparing the effects of in-situ projection, head-mounted displays, tablet, and paper instructions*. 2016.
- [8] A. Tang, C. Owen, F. Biocca, a W. Mou, „Comparative Effectiveness of Augmented Reality in Object Assembly“, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2003, s. 73–80.
- [9] J. Blattgerste, B. Streng, P. Renner, T. Pfeiffer, a K. Essig, *Comparing Conventional and Augmented Reality Instructions for Manual Assembly Tasks*. 2017.
- [10] T. Kosch, Y. Abdelrahman, M. Funk, a A. Schmidt, *One size does not fit all: challenges of providing interactive worker assistance in industrial settings*. 2017.
- [11] Š. Anděl, *Realizace a validace virtuálních návodů*, roč. 2018. Plzeň.
- [12] L. Fejfarová, *Využití virtuálních montážních návodů*, roč. 2017. Plzeň.
- [13] J. Šulc, *Porovnání přístupů pro tvorbu virtuálních návodů*, roč. 2018. Plzeň.

# Gravitační efekt mezinárodního obchodu v kontextu logistických nákladů

Miroslav Prajer <sup>1</sup>

<sup>1</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav řízení a ekonomiky podniku  
Karlovo náměstí 13, 121 35, Praha 2, Česká republika  
[miroslav.prajer@email.cz](mailto:miroslav.prajer@email.cz)

**Anotace:** Článek se věnuje problematice vlivu gravitačního efektu mezinárodního obchodu na logistické materiálové toky a jejich dopad do ekonomiky výrobního podniku. V článku jsou shrnuta hlavní kritéria ovlivňující mezinárodní logistiku. Druhá část článku představuje případovou studii, popisující 4 scénáře umístění výrobního podniku v rámci globálního trhu a kvantifikuje ekonomické dopady logistiky produktu, které jednotlivé scénáře vyvolávají.

## 1 Úvod

Gravitační efekt mezinárodního obchodu je koncept založený na podobnosti teorie Newtonovské fyziky popisující gravitaci (přitažlivost), která závisí na velikosti (hmotnosti) předmětů a jejich vzdálenosti. Obdobně je ovlivňována přitažlivost mezinárodního trhu pro výrobce produktů. Přitažlivost trhu je závislá na velikosti a vzdálenosti trhu od místa produkce. Této podobnosti si začali ekonomové všímat v 60. letech 20. století (Tinbergen, Pöyhönen, Linnemanem), kdy se začíná mluvit o takzvaných gravitačních modelech mezinárodního obchodu. Důvodů pro klesající přitažlivost vzdálených tržních segmentů je celá řada. Jako příklad lze uvést rozdílnost tržního prostředí, politické a kulturní bariéry trhu, délka transportu pro produkty mající krátkou časovou expiraci, vysoké nároky produktu na transportní podmínky a další. Pomineme-li vlivy vnějšího prostředí, lze za hlavní důvod klesající přitažlivosti vzdáleného trhu označit vysoké náklady na logistiku.

## 2 Logistika v mezinárodním měřítku

Jako mezinárodní logistiku lze označit tok materiálu, výrobků a zboží mezi státy jednoho či více kontinentů. Oproti vnitrostátní logistice se vyznačuje dlouhými vzdálenostmi (vyjma případů mezinárodních dodávek na krátkou vzdálenost), častým využitím vícero transportní prostředků a různými druhy legislativních omezení a poplatků (mimo transporty v bezcelních uniích). Tyto vlivy zvyšují nároky na komplexnost plánování logistických transportů a komplikují vyhodnocování logistických nákladů.

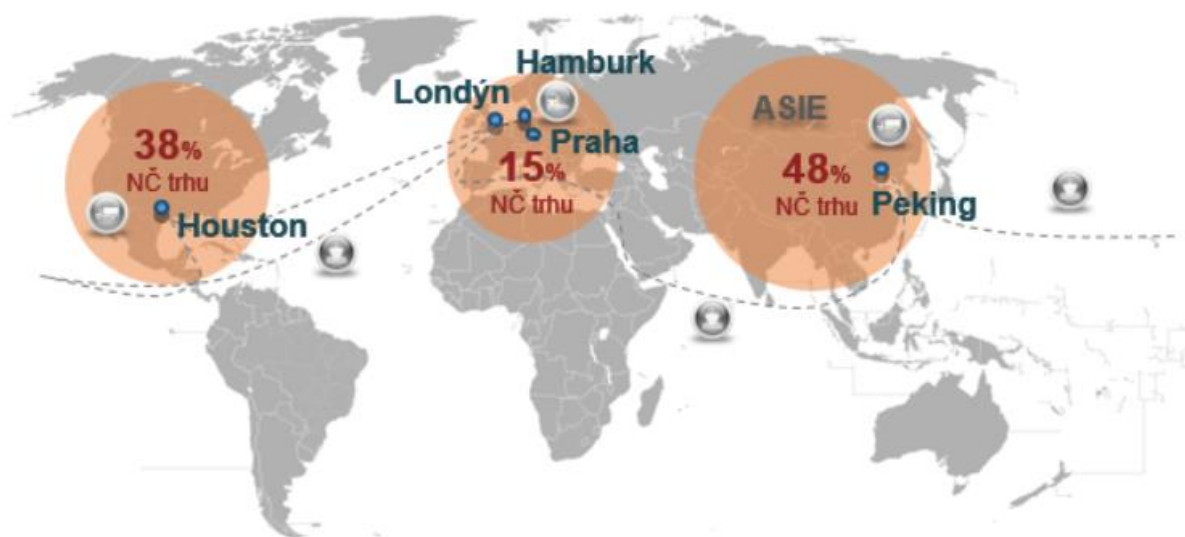
## 2.1 Hlavní kritéria ovlivňující mezinárodní logistiku

Mezi hlavní kritéria, která mají vliv na výši logistických nákladů v rámci mezinárodní transportů lze zařadit následujících 5 položek.

- **Volba transportního prostředku** – volba transportního prostředku (kamion – plachtový návěs/kontejnerové chassis, vlak – vagón/kontejner, loď, letadlo,...) zásadním způsobem ovlivňuje výši nákladů. O transportním konceptu rozhodují především druh produktu a časové nároky na transport.
- **Transportní koncept** – pro dopravce má zásadní význam četnost a pravidelnost transportů. Například lze využít přímých jízd, sběrných služeb, případně zvláštních jízd a tyto jízdy mohou být realizovány v podobě dopravy v kolečku (např. prázdné palety se vracejí), nebo jednosměrné jízdy.
- **Vytížení transportního prostředku** – výsledné logistické náklady jsou také závislé na vytíženosti transportního prostředku. Vytíženost vychází z rozměru přepravovaného produktu, jeho dostupného množství doplňkových dílů. U dílů se špatnou vytížeností transportního prostředku a dílů s malými výrobními objemy je možné zvážit využití konsolidačního centra.
- **Dostupnost transportních tras** – v praxi se ukazuje, že je možné se setkat se situací, kdy kratší trasa může být dražší než trasa dlouhá. Obecně to bývá způsobeno nedostupností poskytovatelů transportních služeb na dané trase, či zvýšenými náklady na návrat transportních prostředků (transportní prostředek se musí vracet prázdný).
- **Koncept balení** – pro transport produktů v mezinárodní přepravě lze využít vícecestných palet (speciální/univerzální) či jednocestného balení (např. karton/dřevo; univerzální/speciální, vícecestné/jednocestné). Využití speciálních vícecestných palet je spojeno s primární investicí do palet a je využitelné pro krátké trasy s vysokými transportními objemy. Univerzální palety jsou často sdíleny více podniky, a proto za jejich využívání se obvykle platí poplatek za pronájem. Opět vhodné především pro kratší trasy s vyššími objemy přepravy. Jednocestné balení se využívá u projektů s velkou vzdáleností, kdy se nevyplácí palety vracet zpět a u projektů s malými transportními objemy.
- **Právní předpisy a politická omezení** – v rámci mezinárodní přepravy se lze setkat s různými předpisy, které se v různých státech liší a které komplikují mezinárodní přepravu. Jako příklad lze uvést celní nařízení, zatížení silnic, rozměry transportních prostředků a další.

### 3 Případová studie

Cílem zde popsané případové studie je porovnání nákladů na logistiku produktu pro čtyři scénáře umístění výrobního podniku produkujícího nanočástice a demonstrace vlivu gravitačního efektu mezinárodního trhu na logistické náklady. Logistika podniku reaguje na rozložení trhu představenému na obrázku 1, kde celková roční produkce podniku je 218 740 kg nanočástic.



Obrázek 1 – Trhy a destinace včetně způsoby dopravy s vyznačenými dopravními cestami hodnocenými ve výpočtech, z důvodu zjednodušení a maximalizace efektu vzdáleného trhu je umístěn trh v Evropě do Velké Británie

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Porovnávané varianty umístění výrobního podniku jsou: Houston, Londýn, Praha, Peking (tabulka 1). Pro transport se využívá kontejner 40'HC PW a jako transportní prostředek se kombinuje kamionová doprava s kontejnerovými chassis a doprava lodí. Výjimku tvoří transport z Prahy do přístavu Hamburk, kde se uvažuje o transportu vlakem. Jednotlivé přístavy jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 – Přístavy, odkud/kam jsou dopravovány kontejnery s nanočásticemi

Město výroby	Stát	Přístav
Houston	USA - Texas	Houston
Londýn	Velká Británie	Londýn
Praha	Česká republika	Hamburk*
Peking	Čína	Tianjin

\* Pro cestu z Čech do přístavu je počítána doprava kontejneru vlakem z Prahy do Hamburku, kde je náklad přeložen na loď.

Transportní koncept je nastaven jako jednocestná přímá jízda. Vytížení kontejneru odpovídá váhovým omezením na transportní trase, tabulka 2. Ceny kamionové přepravy jsou převzaty z přednášky Johna Hineho [1] viz tabulka 2.

*Tabulka 2 – Ceny transportů a obalů; HM – hmotnost/zatížení, CNT – kontejner, IBC – transportní obal*

Stát	Cena transportu [1]	Max HM	Max HM/CNT*	IBC/CNT**	Cena IBC
USA	0,040 \$/tkm	20 000 kg [2]	19 950 kg	19 ks	4 277 Kč [4]
Británie	0,050 \$/tkm	26 000 kg [2]	25 200 kg	24 ks	4 851 Kč [5]
Česko	0,050 \$/tkm	26 600 kg [2]	26 250 kg	25 ks	2 057 Kč [6]
Čína	0,050 \$/tkm	27 000 kg [3]	26 250 kg	25 ks	2 688 Kč [7]

\* uvedená hmotnost odpovídá maximálnímu množství IBC kontejnerů s nanočásticemi splňující právní předpisy daného státu. Při výpočtu je vždy použito v rámci transportu nejnižší možné zatížení na trase.

\*\* počet IBC obalů v CNT je stanoven jednoduchým výpočtem. Nejprve se určí počet IBC obalů naskládáných do CNT podélně, následně příčně. Zvolena je varianta s vyšším počtem IBC obalů uvnitř CNT. Následně se ověří zatížení CNT a ubere se počet IBC obalů dle potřeby.

Ceny lodní přepravy kontejneru odpovídají aktuální nabídce [8] a jsou uvedeny v následující tabulce 3. Nabízené ceny se však mohou značně lišit. Důvodem těchto cenových výkyvů je volba trasy transportu, případně vytížení rejdáře dle destinace. Tak je možné se setkat s velkými rozdíly ceny i v rámci opačných směrů stejné trasy. Příkladem je v tabulce 3 uvedený směr Houston -Tianjin-Houston, kdy ve směru z USA stojí kontejner 881 \$ a z Číny stojí kontejner 1 748 \$.

*Tabulka 3 – Ceny lodních a vlakových transportů ke 12. 11. 2017 Zdroj: [8, 9]*

Výroba	Destinace	Transport CNT lodí
Houston USA	Londýn Británie	1 797 \$
Houston USA	Tianjin Čína	881 \$
Londýn Británie	Houston USA	2 197 \$
Londýn Británie	Tianjin Čína	847 \$

Praha Česko	Hamburk Německo	677 \$
Hamburk Německo	Houston USA	2 182 \$
Hamburk Německo	Londýn Británie	320 \$
Hamburk Německo	Tianjin Čína	832 \$
Tianjin Čína	Houston USA	1 748 \$
Tianjin Čína	Londýn Británie	860 \$

Nanočástice jsou přepravovány v univerzálních IBC kontejnerech s obsahem 1 000 l a nemají specifické požadavky na bezpečnost a dobu transportu. Hmotnost obalu po naplnění je 1 050 kg (hmotnost roztoku nanočástic je 1 000 kg – vodný roztok, hmotnost obalu je 50 kg). Aretace IBC kontejneru proti posunutí není zohledněna (předpokládá se fixace pomocí fixačních prvků).



Obrázek 2 – IBC kontejner 1 000 l

Zdroj: <https://www.obalcentrum.cz>

Použitá transportní osa předpokládá vzdálenost zákazníka na domácím trhu a přístavu od výrobního podniku 100 km, transport vlakem a lodí odpovídá topografickým reáliím a transport od cílového přístavu k zákazníkovi na zahraničním trhu je opět 100 km.

Výpočet logistických nákladů je sestaven dle následujícího klíče:

1. Stanovení počtu expedovaných IBC kontejnerů pro vybranou destinaci potřebných pro přepravu objemu nanočástic dle zvoleného scénáře,
2. Výpočet množství kontejnerů potřebných pro přepravu expedovaných IBC dle hmotnostního omezení daného státu (např. pokud je výroba umístěná v Číně, tak pro lokální trh lze naložit kontejnery na hmotnost 26,25 tuny, kdežto pro americký trh je to pouze 19,95 tuny),
3. Výpočet nákladů na transport (vlak, kamion, loď).

Premisy výpočtu:

- Zpětný tok prázdných obalů IBC není zohledněn a ani není ve výpočtu uvažován odprodej,
- Náklady na zavedení a vyvedení kontejneru nejsou uvažovány (jedná se o poplatek, který se platí při pronájmu kontejneru),

- Lokální transporty (dodavatel-odběratel) a transporty z přístavu (dodavatel-přístav/přístav- odběratel) jsou 100 km,
- Indikativní ceny transportu kontejneru lodí jsou zaokrouhleny na 100 nahoru a vycházejí z aktuální nabídky (12. 11. 2017) transportů kontejnerů mezi vybranými přístavy (<http://worldfreightrates.com/freight>),
- Cla a jiné poplatky nejsou ve výpočtu zohledněny.

$$N_{LOG} = N_{TLC} + N_{TP} + N_{TLD} + N_{TZ} \quad (1)$$

Kde: $N_{LOG}$	Náklady na logistiku [Kč]
$N_{TLC}$	Náklady na lokální transporty k zákazníkům [Kč]
$N_{TP}$	Náklady na transport kontejneru do přístavu [Kč]
$N_{TLD}$	Náklady na transport kontejneru lodí (cena kontejneru) [Kč]
$N_{TZ}$	Náklady na transport kontejneru k zákazníkům [Kč]

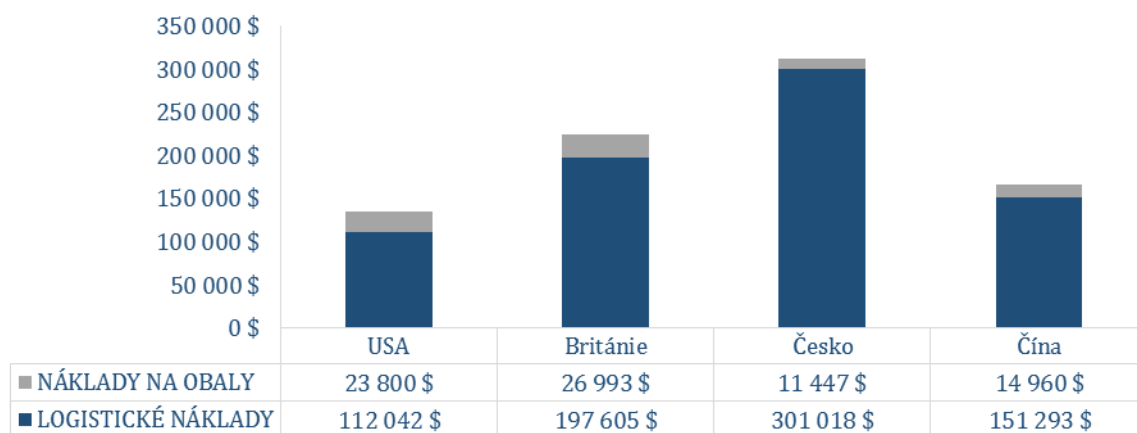
$$N_{TLC} + N_{TP} + N_{TZ} = C_{TKM} \cdot POČ_T \cdot POČ_{KM} \cdot POČ_{JZD} \quad (2)$$

Kde: $N_{TLC}$	Náklady na lokální transporty k zákazníkům [Kč]
$N_{TP}$	Náklady na transport kontejneru do přístavu [Kč]
$N_{TZ}$	Náklady na transport kontejneru k zákazníkům [Kč]
$C_{TKM}$	Cena tunokilometru [Kč/tkm]
$POČ_T$	Počet přepravených tun/jízdu [t]
$POČ_{KM}$	Počet ujetých kilometrů [km]
$POČ_{JZD}$	Počet jízd = počet kontejnerů [-]

$$POČ_{JZD} = \frac{OBJ_P}{ZT_{CNT}} \quad (3)$$

Kde: $POČ_{JZD}$	Počet jízd = počet kontejnerů [-]
$OBJ_P$	Objem, který je třeba přepravit [kg]
$ZT_{CNT}$	Maximální možné zatížení kontejneru [kg]

Výsledky výpočtů jsou zobrazeny na obrázku 3, kde lze vidět náklady na logistiku a ceny obalů potřebných pro transport požadovaného množství nanočástic na cílové trhy.



Obrázek 3 – Náklady na logistiku a obalový materiál

Zdroj: Vlastní zpracování

## 4 Diskuze

Z výsledků (obrázek 3) je zřejmé, že nejnižší celkové náklady na logistiku mají Spojené státy. To ostatně není příliš překvapivé, neboť ve Spojených státech zůstává velká část produkce a na rozdíl od Číny, využívají výhody levnějších kontejnerů. Na druhém místě je Čína, která největší část produkce umísťuje na domácím trhu a též umožňuje i největší zatížení návěsu s kontejnerem, které snižuje celkový počet expedovaných kontejnerů. Zvýšení objemu expedic ve směru Čína – USA, může zcela zásadním způsobem ovlivnit výši logistických nákladů pro čínský scénář a to by znamenalo při spojení možnosti zatížení návěsu s kontejnerem a velikosti domácího trhu významný pokles nákladů na logistiku. Nejvyšší náklady na logistiku nese Česko, což opět potvrzuje očekávání. Způsobuje to absence lokálních odběratelů. Veškerá produkce českého podniku jde na export a musí se transportovat.

Nejnižší hodnota nákladů na obalový materiál je tentokrát v Česku. Je to způsobeno nejnižší cenou IBC obalů. To však nemusí být v praxi reálné, protože pro analýzu byla využita data volně dostupná na internetu. V případě většího odběru by i v jiných státech mohly být náklady na obalový materiál optimalizovány.

## 5 Závěr

Výsledky případové studie potvrzují předpoklad vlivu gravitačního efektu na výši logistických nákladů. U projektů, u kterých je předpoklad významného podílu nákladů na logistiku vůči celkovým nákladům je vhodné zvážit umístění výrobního podniku do blízkosti trhu, který je pro podnik dle objemu nejzásadnější.

## Použitá literatura

- [1] Hine, J., Freight transport research in Africa & Asia [online] 2016, [cit. 17. 11. 2017],  
[http://www.its.leeds.ac.uk/fileadmin/documents/seminars/LEEDS\\_FREIGHT\\_LECTURE\\_John\\_Hine.pptx](http://www.its.leeds.ac.uk/fileadmin/documents/seminars/LEEDS_FREIGHT_LECTURE_John_Hine.pptx)
- [2] Maximální zatížení kontejneru v USA, UK, ČR [online] [cit. 12.11.2017],  
<https://www.icontainers.com>
- [3] Maximální zatížení kontejneru v Číně [online] [cit. 12.11.2017],  
<https://www.mcc.com.sg>
- [4] Cena IBC obalu v USA [online] [cit. 12.11.2019],  
<https://www.thecarycompany.com>
- [5] Cena IBC obalu v UK [online] [cit. 12.11.2019], <https://www.tanks-direct.co.uk>
- [6] Cena IBC obalu v ČR [online] [cit. 12.11.2019], <https://www.tbaplast.cz>
- [7] Cena IBC obalu v Číně [online] [cit. 12.11.2019], <https://www.made-in-china.com>
- [8] Cena transport lodí, [online] [cit. 12.11.2019],  
<http://worldfreightrates.com/freight>
- [9] Cena transport vlakem, [online] [cit. 12. 11. 2017], <https://www.metrans.eu/>

# Ekonomické hodnocení životního cyklu zařízení pro výrobu nanočástic na bázi hydrotermální syntézy

Miroslav Prajer<sup>1</sup>, František Freiberg<sup>1</sup>

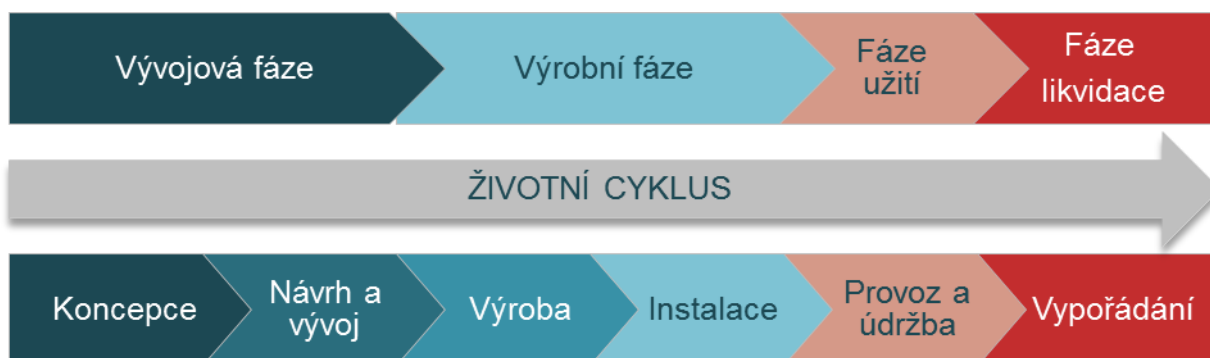
<sup>1</sup> ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav řízení a ekonomiky podniku  
Karlovo náměstí 13, 121 35, Praha 2, Česká republika

[miroslav.prajer@email.cz](mailto:miroslav.prajer@email.cz)  
[frantisek.freiberg@fs.cvut.cz](mailto:frantisek.freiberg@fs.cvut.cz)

**Anotace:** Cílem tohoto článku je představit závěry a výsledky studie analyzující náklady životního cyklu zařízení pro výrobu nanočástic na bázi hydrotermální syntézy. Tato studie navazuje na projekt SHYMAN (Sustainable Hydrothermal Manufacturing of Nanomaterials) podpořený v rámci 7. rámcového programu Evropské komise.

## 1 Úvod

Globalizující se tržní prostředí klade stále vyšší nároky na efektivitu investičních projektů. Požadavek ekonomické efektivity je tím větší, čím roste finanční zátěž a délka životnosti projektu. Oba zmiňované aspekty zvyšují riziko, jež musí investor podstoupit. K řízení rizika investičního projektu je nezbytné provést důkladnou ekonomickou analýzu ještě ve vývojové fázi během etapy stanovení koncepce na projekt, kdy je největší měrou možné ovlivnit náklady na následné fáze životního cyklu (obrázek 1). Jako nástroj pro komplexní hodnocení projektu v návrhové fázi lze využít kalkulaci nákladů životního cyklu (LCC – Life Cycle Costing).



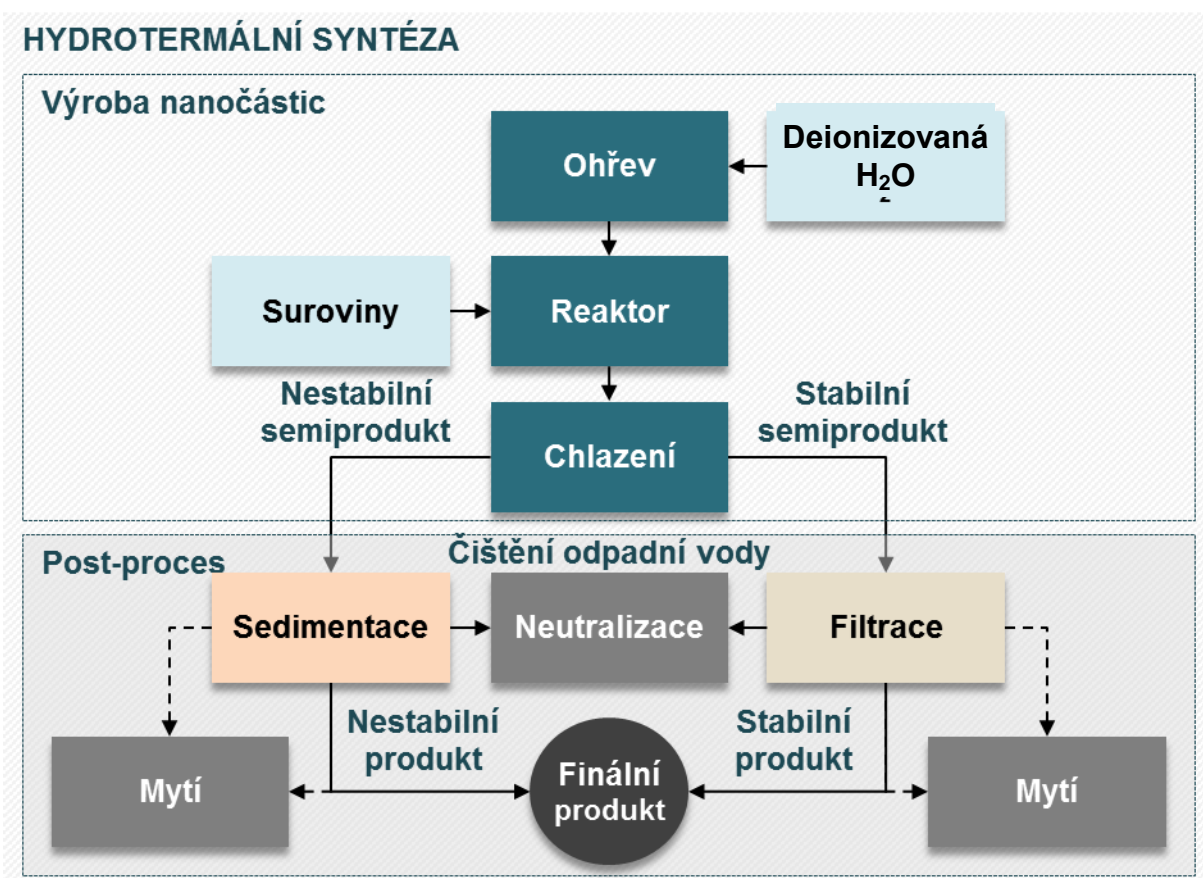
Obrázek 1 – Fáze kalkulace nákladů životního cyklu

Zdroj: Zpracováno dle ČSN EN 60300-3-3

Kalkulace LCC je dynamický a průběžný proces, který umožňuje hodnocení technického stavu investičního projektu od proveditelnosti po likvidaci.

## 2 Technologie výroby nanočástic na bázi SHYMAN

Projekt SHYMAN měl za hlavní cíl rozvoj velkokapacitní výrobní technologie na bázi hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby. Hydrotermální syntéza je fyzikální proces výroby nanočástic, při kterém dochází ke krystalizaci pevných látek ve vodném roztoku. Tento proces výroby probíhá v reaktoru, kde se setkává horký proud vody se studeným roztokem prekursorů a deionizované vody. To vše se děje při teplotách mezi 250 až 400 °C [1] a při tlaku v rozmezí 10 až 300 MPa [2]. Výstupní roztok nanočástic má nízkou koncentraci nanočástic (okolo 2 hmotnostních procent) a dále se zpracovává s cílem zvýšit výslednou koncentraci (více než 8 hmotnostních procent). Semiprodukty vzniklé při syntéze mohou mít dvě formy viz obrázek 2.



Obrázek 2 – Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO<sub>2</sub> metodou hydrotermální syntézy

Zdroj: Vlastní zpracování

Vodný roztok stabilních (nedochází k usazování nanočástic) a nestabilních nanočástic (nanočástice se po určité době začínají usazovat na dně sedimentační nádoby). Pro jednotlivé druhy roztoků nanočástic se využívají různé způsoby zvyšování koncentrace. Stabilní roztoky nanočástic se filtrují pomocí polymerních filtrů, kdy jsou nanočástice zachytávány v pórech filtru a voda prochází dále. U nestabilních disperzí je využito přirozených vlastností částic a ty se nechají usazovat v sedimentačních nádobách. V dolní části

sedimentačních nádob dochází ke zvyšování koncentrace produkt a v horní části nádrže zůstává odpadní voda, která je z nádoby odsávána. Odpadní voda jak z procesu filtrace, tak z procesu sedimentace je neutralizována dle předpisů čističky odpadních vod. Hydrotermální syntéza je technologie schopná produkovat vysoce kvalitní nanočástice oxidů, sulfidů, nitridů a složitějších sloučenin se širokým uplatněním především v medicínských, průmyslových a elektrotechnických aplikacích.

### **3 Metody ekonomického hodnocení**

Postup výpočtu nákladů na životní cyklus byl rozdělen na dvě etapy. První etapa se zaměřila na sumarizaci nákladů spojených s fází užití výrobního zařízení nanočástic. Byl vytvořen full-cost model (FCM), který alokuje náklady na 1 kg nanočástic rozptýlených ve vodě. Druhá etapa rozšiřuje FCM o další etapy životního cyklu. Výsledné náklady jsou hodnoceny pro očekávané scénáře vývoje výrobní produkce a celek je zhodnocen pomocí metody čisté současné hodnoty a vnitřního výnosového procenta.

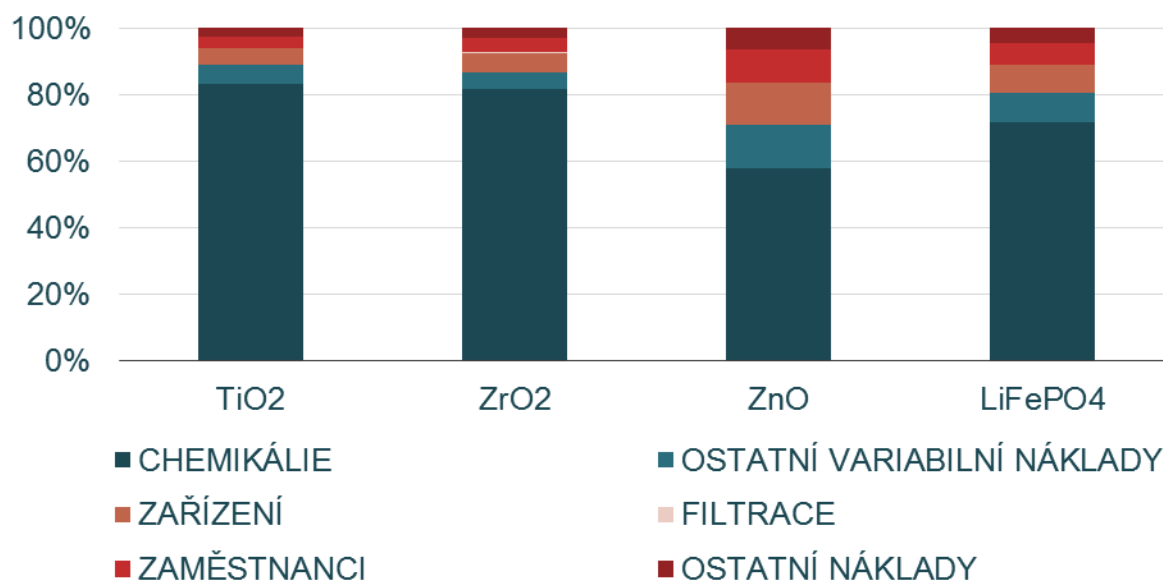
#### **3.1 Základní východiska kalkulací**

Při sestavování kalkulace nákladů životního cyklu byly formulovány základní východiska výpočtů následovně:

- Výrobní podnik je situován do ČR, předpoklad logistického centra Praha, hala je pronajata (pozemek 2 000 m<sup>2</sup>, hala 1 500 m<sup>2</sup>),
- Ceny vybraných vstupů odpovídají českému prostředí (voda, zemní plyn, energie, pronájem, mzdy...),
- Daně a cla odpovídají současným platným právním předpisům v ČR,
- Životnost projektu je počítána na 15 let, projekt je kalkulován ve stálých cenách.

#### **3.2 Hlavní nákladové položky full-cost modelu**

Na základě dat získaných z pilotního zařízení byly identifikovány jako hlavní nákladové položky: cena chemikálií vstupujících do procesu výroby, voda, zemní plyn pro ohřev, elektrická energie pro jednotlivé součásti výrobního zařízení. Jedná se o variabilní náklady zjišťované laboratorním měřením případně simulované v softwaru Aspen Hysys. Další nákladové položky zahrnuté do modelu FCM byly osobní náklady, odpisy zařízení, náklady na prostory, náklady na služby. Tyto fixní náklady byly stanovovány pomocí metody hodinových sazeb (HNS). Struktura nákladů na kalkulační jednici 1 kg pro čtyři vybrané nanočástice je na obrázku 3.



Obrázek 3 – Struktura nákladů na 1 kg vybraných nanočástic

Zdroj: Vlastní zpracování

### 3.3 Náklady na životní cyklus zařízení

V druhé etapě sestavování LCC byl model FCM rozšířen o další náklady vznikající během životního cyklu. Jednalo se o doplnění modelu o nákladové položky pro samotnou fázi užití viz tabulka 1 a o doplnění nákladů dalších fází životního cyklu viz tabulka 2.

#### 3.3.1 Náklady vývojové fáze

Do této skupiny nákladu patří jak náklady z etapy koncepce projektu, tak náklady z etapy návrhu. Nejčastěji se náklady během této fáze spotřebovávají na činnosti, jako jsou: ověřování uplatnění produktu/projektu, koncepce volitelných částí systému, zajištění hlavních nákladových položek, prověření technologičnosti konstrukce, koncepce výroby a volba výrobní technologie, make or buy analýza, tvorba technické a výrobní dokumentace. Pro kalkulaci LCC byly převzaty z projektu SHYMAN,

#### 3.3.2 Náklady výrobní fáze

Ve výrobní fázi vznikají náklady jak během etapy výroby, tak během etapy instalace. Výrobní fáze je charakteristická čerpáním podnikových zdrojů na výrobní a nevýrobní činnosti. Náklady na výrobní fázi byly převzaty z projektu SHYMAN.

#### 3.3.3 Náklady na fázi užití

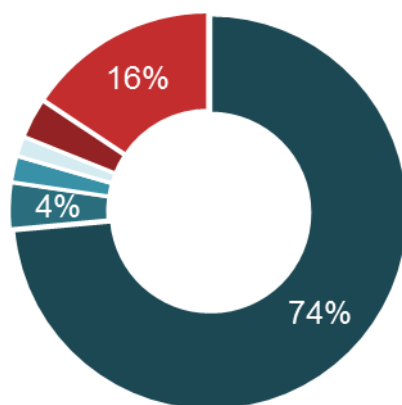
Fáze užití je spojena se spotřebou provozních nákladů a nákladů na údržbu. Provozní náklady jsou veškeré náklady spotřebovované při používání zařízení a náklady s tím bezprostředně spojené. Dle charakteru se jedná o náklady

jednorázové a opakované. Příkladem jednorázových provozních nákladů je například zaškolení obsluhy, nákup zařízení potřebného pro údržbu, nákup dokumentace apod. Větší skupinou jsou náklady opakované, kam patří například náklady na provozní materiál, spotřebovanou energii, mzdové náklady a další. Do nákladů na údržbu patří jak náklady na údržbu po poruše, tak náklady na preventivní údržbu. U těchto nákladů je již účelné do kalkulace zařadit hodnocení faktoru času. Pro model LCC byly celkové náklady fáze užití sestaveny jako součet nákladů získaných z FCM (v tabulce 1 označeny chemikálie, ostatní variabilní náklady, zařízení vč. filtrace, zaměstnanci), nákladů na logistiku produktu a nákladů na údržbu a prostory (v tabulce 1 označeny jako ostatní náklady).

*Tabulka 1 – Náklady na fázi užití za dobu životnosti projektu*

*zdroj: Vlastní zpracování*

	Nákladová položka	Hodnota	
	CHEMIKÁLIE	1 299 406 966 Kč	
■	OSTATNÍ VARIABILNÍ NÁKLADY	66 756 430 Kč	
■	ZAŘÍZENÍ VČ. FILTRACE	37 855 581 Kč	
■	ZAMĚSTNANCI	28 576 457 Kč	
■	OSTATNÍ NÁKLADY	57 598 455 Kč	
■	LOGISTIKA	276 555 053 Kč	
	Celkem	1 766 748 942 Kč	



### 3.3.4 Náklady fáze likvidace

Během této fáze je systém demontován, zbytky zařízení jsou recyklovány, případně ekologicky likvidovány. Mezi nákladové položky patří zajištění demontážních prací a transport odpadu na sběrné místo a poplatky za ekologickou likvidaci případně za skládkování. Je-li dobře proveden návrh produktu a bylo-li přihlédnuto k hledisku životního cyklu, nechá se většina částí jednoduše recyklovat, případně dále využít. Recyklace materiálů může pro projekt znamenat dodatečné výnosy. Do modelu LCC vstupují výpočty vycházející z aktuálních cen skládkovného a výkupních cen recyklovatelného odpadu.

## 3.4 Výnosy projektu

Stanovení výnosů z prodeje nanočástic naráží na dvě velké neznámé. Obtížně se predikuje nejen velikost budoucího trhu, ale i prodejní cena samotných nanočástic. Pro stanovení velikosti tržního potenciálu výrobního zařízení byl navrhnut scénář vycházející z predikce spotřeby vybraných nanočástic pro jednotlivé světové trhy a pro vybrané nanočástice. Hodnoty se opírají o rešerši odborných zdrojů [3; 4; 5; 6; 7].

Tabulka 2 – Náklady na jednotlivé fáze životního cyklu za dobu životnosti projektu  
zdroj: Vlastní zpracování

	Nákladová položka	Hodnota	
■	VÝVOJOVÁ FÁZE	160 792 802 Kč	
■	VÝROBNÍ FÁZE	24 421 643 Kč	
■	FÁZE UŽIZÍ	1 766 748 942 Kč	
■	FÁZE LIKVIDACE	146 578 Kč	
	Celkem	1 952 109 966 Kč	

Navrhované vstupy odpovídají maximální výrobní kapacitě zařízení (tabulka 3). Pro ověření ekonomičnosti projektu při nevyužití výrobní kapacity je závěrečné hodnocení čisté současné hodnoty provedeno pro různé směnové režimy výroby (obrázek 5).

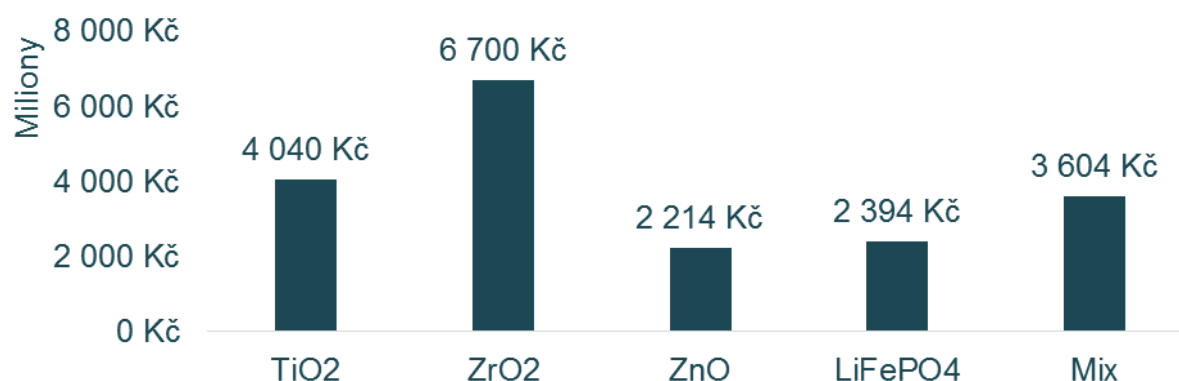
Tabulka 3 – Scénář mix – roční objemy nanočástic dodávané na jednotlivé trhy

Země	TiO <sub>2</sub> (TiOS)	ZrO <sub>2</sub>	ZnO	LiFePO <sub>4</sub>
USA	54 612 kg	3 707 kg	18 588 kg	6 775 kg
Čína	25 868 kg	54 372 kg	13 518 kg	9 111 kg
EU	10 347 kg	2 471 kg	16 335 kg	3 037 kg
Celkem	90 826 kg	60 551 kg	48 441 kg	18 922 kg

Výsledná prodejní cena nanočástic je závislá na mnoha faktorech. Ovlivňuje jí například čistota, tvar, velikost, ... nanočástice. Jako příklad volatility cen nanočástic lze uvést cenu 1 g nanočástic TiO<sub>2</sub> ve formě rutilu. Dodavatel Sigma Aldrich nabízí částice ve vysoké tvarové kvalitě s čistotou 99,995 % a minimálním odběrem 5 g s cenou 816 Kč/g. Oproti tomu nanočástice od dodavatele Henan v běžně dostupné kvalitě s čistotou 94,000 % a minimálním odběrem 1,5 t stojí 0,032 Kč/g. Použité prodejní ceny nanočástic jsou výsledkem rešerše a konzultací s experty (např. Ing. Jan Procházka, Ph.D. z Advanced Materials-JTJ) provedených v rámci projektu SHYMAN.

Tabulka 4 – Ceny vybraných nanočástic použitých v modelu LCC

Položka	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	ZnO	LiFePO <sub>4</sub>
Cena 1 kg nanočástic	1 081,37 Kč	1 162,47 Kč	1 162,47 Kč	811,03 Kč

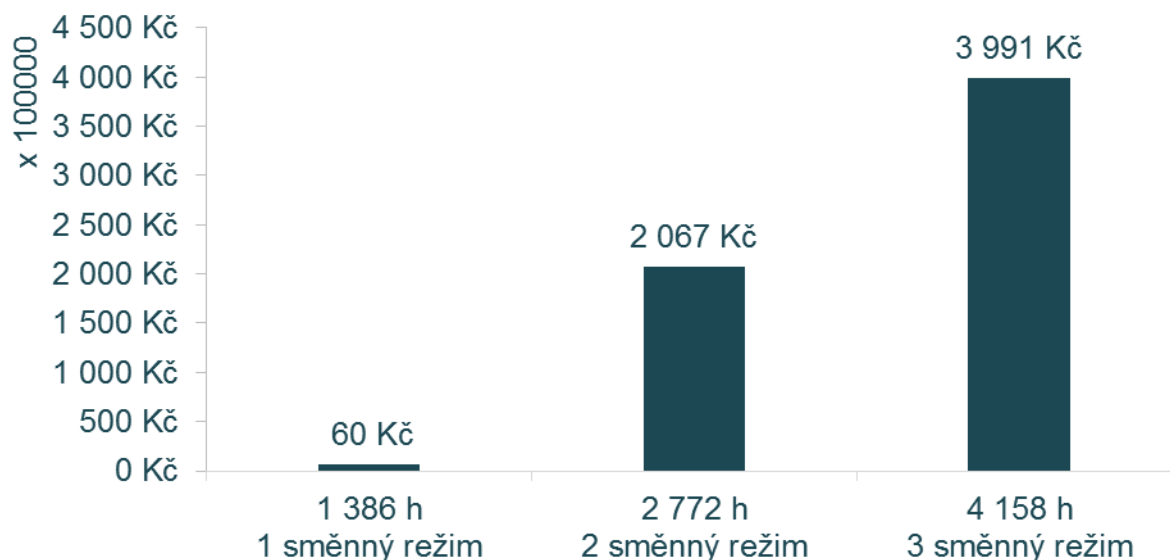


Obrázek 4 – Porovnání výnosů z produkce vybrané nanočástice; graf zobrazuje teoretickou hodnotu výnosů při 100 % výrobě dané nanočástice; sloupeček mix ukazuje zvolený scénář mix pro produkci viz tabulka 3

Zdroj: Vlastní zpracování

### 3.5 Hodnocení projektu pomocí čisté současné hodnoty

Pro zobrazení výsledků LCC je spočítán rozdíl výnosů a nákladů očištěn o daňovou zátěž a kritérium čistého zisku je převedeno na peněžní toky - Cash flow (CF) v jednotlivých letech projektu. Pro zohlednění faktoru času je použita úroková míra 9 %. Výsledky jsou zobrazeny pro 3 scénáře směnného režimu viz obrázek 5.



Obrázek 5 – Náklady životního cyklu pro 3 kapacitní scénáře

Zdroj: Vlastní zpracování

## 4 Diskuze

Výsledky analýzy naznačují ekonomickou efektivnost projektu. Zcela zásadním způsobem však mohou být ovlivněny změnami především na příjmové straně bilance. Jelikož jak velikost trhu, tak prodejní cena nanočástic je zatížena vysokou mírou rizika, bylo by vhodné realizaci takto

vysoce produktivního zařízení napojit na proces se zaručeným vysokým odběrem nanočástic.

## 5 Závěr

Cílem představené studie bylo ekonomické zhodnocení životního cyklu výrobního zařízení na bázi hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby. Aby cíle studie byly naplněny, byl sestaven full-cost model pro fázi užití, který byl následně rozšířen o další životní fáze projektu. Analýza ukázala, že ekonomická efektivita SHYMAN výrobního zařízení je pro vybrané nanočástice prokazatelná. Vnitřní výnosové procento při využití maximální výrobní kapacity zařízení je 20,8%.

## Poděkování

Tento článek navazuje na projekt, který byl podpořen Evropskou komisí v rámci 7. rámcového programu, smlouva č. FP7-NMP4-LA-2012-280983, SHYMAN.

## Použitá literatura

- [1] Lester, E., Blood, P., Denyer, J. D., Giddings, D., Azzopardi, B. Poliakoff, M.. Reaction engineering: The supercritical water hydrothermal synthesis of nano-particles. In: *Journal of Supercrit Fluids*, 2006, vol. 37, s. 209-214.
- [2] Gupta S. M., Tripathi, M. A review on the synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles by solution route. In: *Central European Journal of Chemistry*, 2012, vol. 10, no. 2, s. 279-294.
- [3] Pulit-Prociak, J., Banach, M. *Silver nanoparticles – a material of the future...?* [online] Open Chemistry, 2017, [cit. 23. 2. 2018], <https://www.degruyter.com/view/j/chem.2016.14.issue-1/chem-2016-0005/chem-2016-0005.xml>
- [4] Research and Markets, *Global and China Nano Composite Zirconia Industry Report 2015* [online] Research and Markets, 2015, [cit. 11. 2. 2018], <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-and-china-nano-composite-zirconia-industry-report-2015-498347611.html>
- [5] ReportBuyer. (2015, November 12). *Global and China Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>), Material and Battery Industry Report, 2015-2018* [online] ReportBuyer, 2015, [cit. 12. 1. 2018], <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-and-china-lithium-iron-phosphate-lifepo4-material-and-battery-industry-report-2015-2018-300178211.html>
- [6] Roskill, *Zircon markets signal steady recovery by end of 2014* [online] Zircomet, 2014, [cit. 17. 1. 2018], <http://www.zircomet.com/news/11170/Zircon-markets-signal-steady-recovery-by-end-of-2014/>

- [7] Sahu, S. S. *Nano Zinc Oxide Market by Application* (Paints & Coatings, Cosmetics, and Others) - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014-2022 [online] Allied market research , 2016, [cit. 5. 1. 2018], <https://www.alliedmarketresearch.com/nano-zinc-oxide-market>

# Vliv osvětlení na výkonnost pracovníka ve výrobní firmě

Veronika Šišková <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hajdik a.s.  
Jablunka 668, 756 23, Jablunka  
Česká republika  
[Veronika.siskova@centrum.cz](mailto:Veronika.siskova@centrum.cz)

**Anotace:** Osvětlení v místnosti je jeden z životně důležitých faktorů, který ovlivňuje výkonnost pracovníků. Pracovníci tráví 90 % času ve vnitřním – pracovním prostředí a proto má kvalita vnitřního osvětlení přímý vztah na zdraví a pracovní pohodu. Problematika, týkající se designu pracovního prostředí je často zaměstnavateli a zaměstnanci podceňována. Chybí motivace zaměstnanců ke zlepšení pracovního prostředí. Největšími problémy, které trápí české firmy je za prvé, jak zvýšit produktivitu individuální práce a za druhé, jak zvýšit produktivitu organizace jako celku. Na člověku záleží co, jak a za kolik se bude vyrábět a prodávat. Čím vyšší výkonnost pracovníka bude, tím více bude podnik úspěšnější. Produkce a kvalita výrobků se odvíjí od práce člověka.

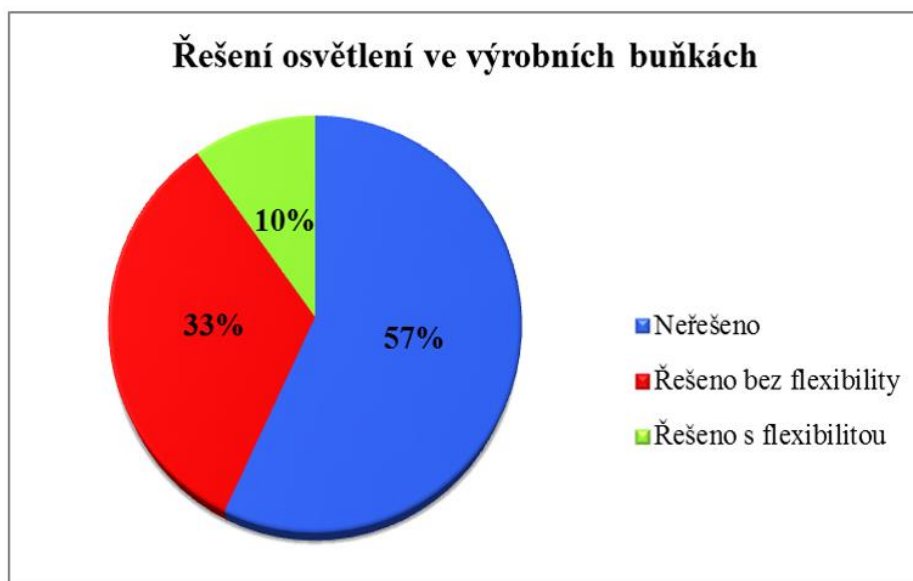
## 1 Úvod

Aby lidé mohli vykonávat úkoly náročné na zrak účinně a přesně, musí jim být poskytnuto vhodné osvětlení. Osvětlení může být poskytnuto denním osvětlením, umělým osvětlením nebo jejich kombinací [1]. Světlo je viditelná část elektromagnetického spektra. Viditelné spektrum je pouze malá část z plného elektromagnetického spektra s frekvencí v rozpětí mezi 380 nm a 720 nm [2].

Osvětlenost denním světlem vyjadřuje činitel denní osvětlenosti. Osvětlenost a její rozložení v místě zrakového úkolu a v jeho bezprostředním okolí mají velký vliv na to, jak rychle, bezpečně a pohodlně osoba vnímá a vykonává úkol náročný na zrak [1]. Pro správné množství a intenzitu osvětlení pracujeme se třemi základními pojmy. Jsou to intenzita osvětlení, kontrast a odrazivost [3].

Stav řešení problematiky s osvětlením v České republice podle osobních zkušeností Ing. Vacha [4] ze společnosti MODUS spol. s.r.o. lze rozdělit do tří skupin (Obrázek 1).

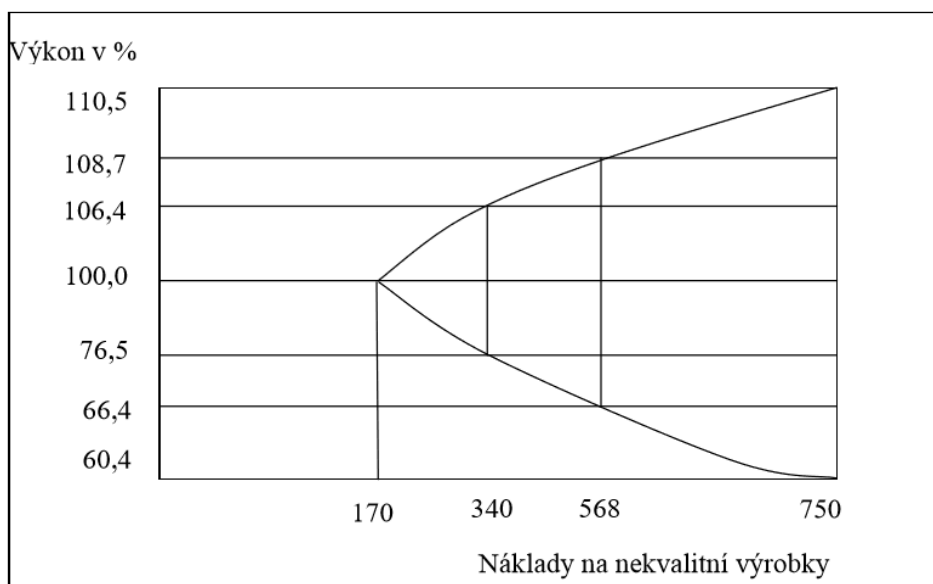
Graf na obrázku 1 potvrzuje, že se české firmy dostatečně nezabývají problematikou osvětlení na pracovišti. Pouze v 10 % případech je osvětlení řešeno s flexibilitou, což znamená, že osvětlení na pracovišti je zajištěno a při změně uspořádání linky lze osvětlení přizpůsobit změněnému layoutu.



Obrázek 1 - Graf procentuálního rozdělení skupin – řešení osvětlení ve výrobních buňkách [4]

### 1.1 Vliv osvětlení na výkonnost pracovníka

Pracovní úkoly vyžadují dobrý zrak, proto hraje osvětlení významnou úlohu při zajištění dobré úrovně výkonu. Neřešené či nevhodně řešené osvětlení na pracovišti vede ke snížení výkonnosti a zdravotním rizikům. Z dlouhodobých statistických výzkumů vyplývá, že se při nevhodném osvětlení zvyšuje úrazovost operátorů [4]. Zraková únava se přímo odráží v poklesu výkonnosti, ve zvýšení četnosti vad výrobků (vada není rozpoznána včas nebo vůbec), nehod a poklesu výroby. Obrázek 2 znázorňuje vliv intenzity osvětlení na zvýšení výroby a pokles nákladů na zmetky. Náklady na zmetky jsou spojeny především s dodatečnými opravami, kontrolami, manipulacemi apod.



Obrázek 2 - Vliv intenzity osvětlení na zvýšení výroby a pokles nákladů na zmetky [4]

Tabulka 1 - Doporučené hodnoty osvětlení na pracovišti [5].

Činnost	Požadavky	Kontrast	lx
<b>Mimořádně jemné práce</b>	Velké	Malý	5000
		Střední	3000
		Velký	2000
<b>Středně jemné práce</b>	Průměrné	Malý	500
		Střední	300
		Velký	200
<b>Hrubé práce</b>	Malé	Malý	200
		Střední	150
		Velký	100

Výše uvedená tabulka 1 rozděluje činnosti pracovníků do tří kategorií. Mimořádně jemné práce jsou charakteristické například pro vizuální kontrolu. Středně jemné práce se ve výrobních podnicích vyskytují nejčastěji. Jedná se například o práci v buňkách a u linek. Hrubé práce jsou fyzicky náročné, které nevyžadují příliš mnoho pozornosti na detail. Příkladem může být řezání na pile nebo hrubé broušení svárů [5].

Henri, J. , Marius , W. , Tenner , A. [6] jasně vysvětlují, že správné osvětlení je důležitým faktorem, který ovlivňuje produktivitu. Účinek zvýšeného nebo sníženého osvětlení má vliv na produktivitu, psychologické a biologické účinky na pracovníka. Je všeobecně známo, že pracovníci dávají raději přednost lépe osvětlenému prostředí než prostředí s nedostatečným osvětlením. Lze tedy předpokládat, že čím vyšší osvětlení v závislosti na typu pracoviště bude pracovníkům poskytnuto, tím se bude jejich výkonnost zvyšovat.

## 2 Metodika

Prvním krokem při zjišťování změny výkonnosti v závislosti na osvětlení bude hodnocení pracoviště z hlediska osvětlení za použití checklistu (kontrolního seznamu), kdy pomocí kontrolních seznamů lze hodnotit osvětlení pracovního prostředí a rizika způsobující nemoci z povolání. Otázky v kontrolních seznamech jsou jednotně formulovány tak, že odpověď „ne“ poukazuje na pracovní podmínky, které je třeba zlepšit. Byly vybrány pracoviště vizuální kontroly ve výrobní společnosti.

Dalším krokem budou náměry hodnot osvětlení na konkrétních pracovištích vizuální kontroly ve výrobních prostorech. Je nutné používat kalibrované přístroje, které by měly být součástí kontroly BOZP (bezpečnosti a ochrany zdraví při práci) na pracovišti. Umístění měřících bodů bude voleno odvisle od

místa zrakové činnosti, velikosti místnosti, rozložení pracovišť a situování svítidel.

Třetím krokem bude zpracování dat. Pro zpracování získaných dat byla zvolena regresní analýza. Předpokladem pro použití regrese je dvojice proměnných, které spolu nějak souvisejí. Chceme zjistit funkční závislost

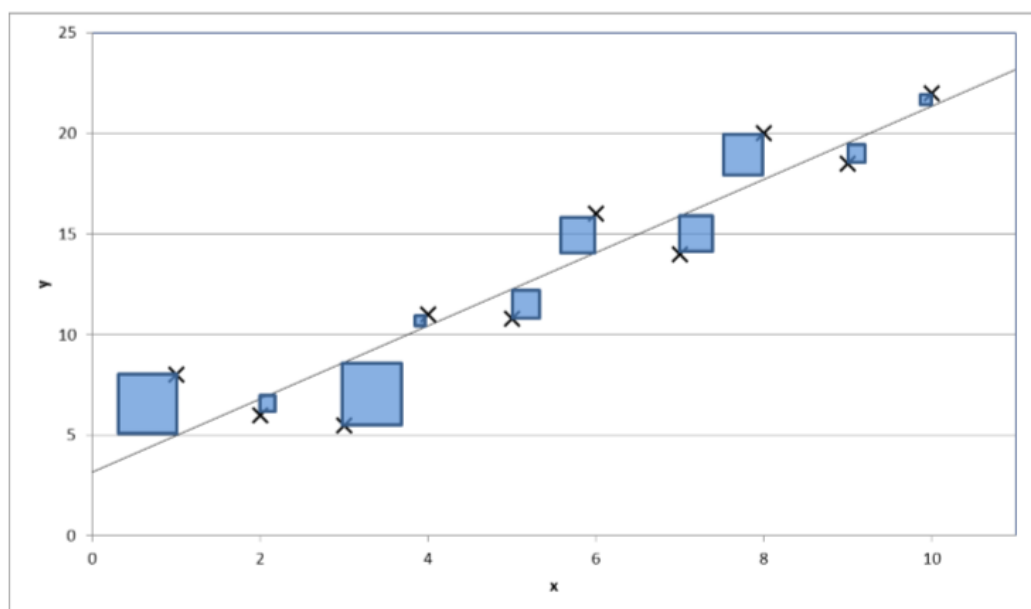
$$y=bx+a \quad (1)$$

kde  $x$  je nezávisle proměnná (vysvětlující – osvětlení na pracovišti) a  $y$  je závisle proměnná (vysvětlované – výkonnost pracovníka).

Cílem regrese je určit z naměřených dat parametry  $f(x)$  tak, aby funkce co nejlépe vystihla naměřenou závislost. Tyto parametry budou sloužit jako podklad pro vytvoření modelu tak, aby po zadání naměřených hodnot, model vypočítal očekávanou výkonnost [7].

Přímým měřením, provedeným v procesu výroby, jsem získala  $N$  dvojic veličin  $[x_i, y_i]$ , které v kartézské soustavě os  $x, y$  lze znázornit jako bodový graf. Pokud by při měření nevznikaly náhodné chyby, pak by všechny body  $[x_i, y_i]$  ležely na křivce  $y = f(x)$ . Ve skutečnosti platí  $y_i = f(x_i) + \varepsilon_i$ , kde  $\varepsilon_i$  je náhodná chyba  $i$ -tého měření [7].

Nejběžnější regresní metodou je metoda nejmenších čtverců na obrázku 3. Body  $[x_i, y_i]$  jsou rozptýleny kolem hledané regresní křivky, která má být co nejvěrnějším obrazem funkce  $y = f(x)$ . Hledám tedy takové parametry  $a, b, c, \dots$  (tzv. regresní koeficienty) daného typu funkce  $y = f(x; a, b, c, \dots)$ , aby se její průběh co nejvíce přimykala k zadaným bodům  $[x_i, y_i]$  [7].



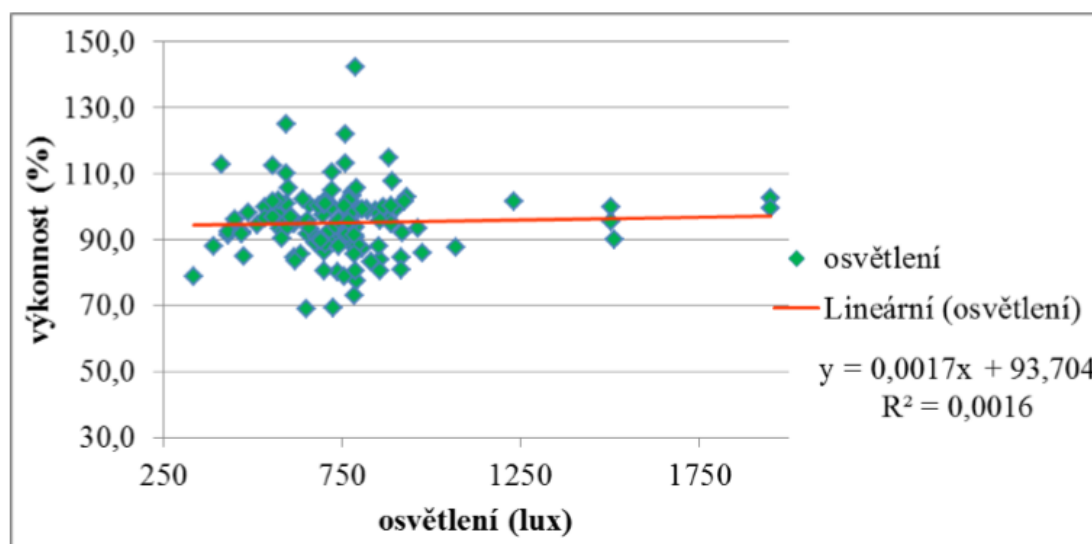
Obrázek 3 – Metoda nejmenších čtverců [5]

Reziduální (zbytkový) součet čtverců nalezne kritérium „přiléhavosti“ regresní křivky k experimentálním bodům (data o teplotě, osvětlení a hluku).

Metodou nejmenších čtverců naleznou regresní koeficienty; tj. takové parametry  $a, b, c, \dots$  daného typu funkce  $y=f(x; a, b, c, \dots)$ , aby se její průběh co nejvíce přibližoval k zadaným bodům  $[x_i, y_i]$ . Hledáme tedy takové parametry  $a, b, c$ , které by minimalizovaly zbytkový součet čtverců

Obrázek 4 uvádí výsledky regresní analýzy. Data byla získána přímými měřeními kalibrovanými přístroji dle pravidel měření fyzikálních faktorů na pracovištích ve vnitřních prostorech výrobní společnosti. Byla vybrána montážní pracoviště s převážně manuální prací (dle třídy práce jsou pracoviště zařazena do IIa a IIb třídy. Sběr dat probíhal po dobu třech měsíců v pravidelných intervalech. Během sběru dat nedošlo k extrémní situaci (např. k extrémním výkyvům v počasí) [5].

Tato data a z nich vyplývající rovnice bude využita pro zhodnocení výkonnosti pracovníka na pracovištích vizuální kontroly, které byly vybrány a ohodnoceny checklistem pro porovnání výkonnosti pracovníka v závislosti na změně osvětlení. Do rovnice budou dosazeny získané hodnoty a ověřena teorie, že s vyšší intenzitou osvětlení stoupá i výkonnost operátora.



Obrázek 4 - Graf výsledků LINGRESE osvětlení[5]

Tabulka 2 - Výsledky LINGERSE osvětlení [5]

Odhad parametru $b$	0,0017	Odhad parametru $a$	93,704
Odhad chyby parametru $b$	0,0039	Odhad chyby parametru $a$	3,0813
Koeficient determinace: $R^2$	0,0016	Chyba odhadu	10,385
Statistika nebo pozorovaná hodnota $F$ : $F$	0,1914	Počet stupňů volnosti: $df$	119

(rozdíl celkové a reziduální sumy čtverců odchylek: $S_t - S_r$ )	20,641	Reziduální suma čtverců odchylek: $S_r$	12833
--	--------	--	-------

Kladný koeficient b rovnice  $y = 0,002x + 94$  ukazuje kladný sklon křivky, tedy s rostoucím osvětlením roste výkonnost pracovníka. Lze říci, že s každým dalším luxem roste výkonnost o 0,0017 % [5].

### 3 Diskuze

Prvním krokem bylo vyplnění checklistu, podle kterého byl určen typ pracoviště. Na obrázku 4 je ukázka vyplněného checklistu. Jedná se o pracoviště vizuální kontroly, kde je třeba dbát na dostatečné osvětlení.

	Fyzikální faktor	Splněno		Charakteristika	Poznámka
		ANO	NE		
	<b>Osvětlení</b>				
1	Odpovídá intenzita osvětlení v pracovním prostoru předpisům? (min. 500 lx)	✓		>1000 lux	VK
2	Odpovídá osvětlení pracoviště denním, umělým nebo sdruženým osvětlením nárokům vykonávané práce na zrakovou činnost? (nejedná se o činnost, která je náročná na zrak - kontrola detailů, práce s malými součástkami atd.)	✓		KONTROLA MIN. 5x10 CM OBJEKTŮ	NEJDE O VK MALÝCH DÍLŮ
3	Je při práci náročné na zrakovou zátěž přizpůsobena pracovní doba? (např. odpovídající přestávky)	✓		NEJDE O ZÁTĚŽ	PRAC. DOBA DLE ZÁK. POŽ.
4	Jsou osvětlovací soustavy pravidelně čistěny? (vč. vnitřní části prostor pracoviště odrážejících světlo)	✓		NEVYSKYTOUJE SE	STANDARDY PRÁV. ÚDRŽBA
5	Je na pracovišti zabráněno oslnění?	✓		LAYOUT	

Obrázek 5 - Ukázka vyplněného checklistu pro pracoviště vizuální kontroly

Druhým krokem jsou reálné náměry kalibrovanými přístroji. Tyto hodnoty byly dosazeny do rovnice lineární lingrese. Výsledkem je výkonnost pracovníka.

$$y = bx + a \quad (2)$$

kde y je výkonnost pracovníka, b a a jsou parametry a x jsou naměřené hodnoty v luxech.

Tabulka 3 - Tabulka s vlastními náměry na pracovišti vizuální kontroly a dosazení hodnot do rovnice LINGRESE

Rovnice	y (%)	b	x (lux)	a
Pracoviště VK 1	95,7	0,0017	1150	93,704
Pracoviště VK 2	96,4	0,0017	1573	93,704
Pracoviště VK 3	105,6	0,0017	7020	93,704

Za předpokladu, že zvýšíme osvětlení na pracovišti vizuální kontroly při zachování ostatních podmínek fyzikálních faktorů, zvýší se i produktivita pracovníka.

## 4 Závěr

Příspěvek se věnuje problematice hodnocení pracovního prostředí z hlediska osvětlení, které působí na člověka v průběhu pracovní činnosti. V současné době, kdy je aktuálním tématem ergonomie, věda o člověku, jsou pracoviště navrhována tak, aby byla pro operátory pohodlná a přípustná. Zaměstnavatelé nemají dostatek informací, jak problému hodnocení pracovního prostředí přistupovat. Uvědomují si, že pokud bude problém pracovního prostředí vyřešen již při návrhu, přinese jim jak snížení zbytečných výdajů (úrazy, nemocenská atd.), tak lepší výkonnost pracovníka.

## Poděkování

Závěrem příspěvku bych chtěla poděkovat společnosti Continental ve Frenštátě, která mi umožnila sběr dat a vytvoření modelu, který byl základem pro stanovení rovnice pro posouzení vhodnosti pracovního prostředí ve výrobních firmách. Tento model byl využit pro hodnocení pracovišť vizuální kontroly ve firmě Hajdik a.s.

## Použitá literatura

- [1] ČSN EN 12464-1 (360450). Světlo a osvětlení: Osvětlení pracovních prostorů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [2] Kelly, K., O'Connell, K. *Interior lighting design: A student's guide* [online]. The 2nd European Conference on Energy-Efficient Lighting 1993, 1993 [cit. 13.4.2014]. Dostupné z: <http://eleceng.dit.ie/kkelly/Lighting/Interior%20lighting%20design%20%20%20%20%20Students%20Guide.pdf>
- [3] Noyes, J. M. *Designing for humans*. Psychology Press, Hove, 2001, xii, 215 s. ISBN 0-415-22722-4.
- [4] Vach, T. *Osvětlení - často opomíjený faktor při návrhu výrobní buňky*. Úspěch: produktivita a inovace v souvislostech : časopis pro úspěšné manažery. API, Želevčice, 2011, vol. 1, s. 31-33. ISSN 1803-5183.
- [5] Šišková, V., *Design pracovního prostředí a jeho vliv na výkonnost pracovníka*. Disertační práce. Průmyslové inženýrství (obor). FaME UTB Zlín 2014.
- [6] Henri, J., Marius, W., Tenner, A. *The influence of controllable task lighting on Productivity: a field study in a factory*. Applied Ergonomics, vol. 38, 2007, pp 39-44.

- [7] Stránky pro výuku. Ústav fyziky a materiálového inženýrství [online]. 2014 [cit. 2014-06-08]. Dostupné z:  
[http://ufmi.ft.utb.cz/index.php?page=zprac\\_exp](http://ufmi.ft.utb.cz/index.php?page=zprac_exp)

# Návrh a optimalizace prostorového uspořádání výrobního úseku

Pavel Vránek <sup>1</sup>, Michal Šimon <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika

[vranek@kpv.zcu.cz](mailto:vranek@kpv.zcu.cz)

[simon@kpv.zcu.cz](mailto:simon@kpv.zcu.cz)

**Anotace:** Práce se zabývá přesunem výroby z jedné haly do druhé. Aby mohl být tento přesun zrealizován, bylo nutné nejprve vypracovat kapacitní propočty pro zadané objemy výroby. Na základě propočtů, pak byly zpracovány varianty přesunu výroby do druhé haly. Celkem byly zpracovány 4 varianty. Po vypracování variant následuje zhodnocení těchto variant a na závěr doporučení varianty přesunu.

## 1 Úvod

Práce se zabývá přesunem výroby z jedné haly do druhé pro zadané objemy výroby, které stanovila společnost, pro kterou je tato práce řešena. Práce je rozdělena na dva oddíly.

Prvním oddílem jsou kapacitní propočty, které řeší počet potřebných pracovišť a jejich využití, a dále také počet potřebných pracovníků a jejich využití. Po zpracování propočtů a zjištění počtu potřebných pracovišť následovala část druhá, a to samotný přesun výroby. Před tím než byl zahájen samotný přesun, bylo nutné zmapovat a zanalyzovat současný stav výroby společnosti. Zmapování a analýza současného stavu, probíhala přímo na výrobní hale, kde bylo nejprve nutné zaměřit celou halu a také jednotlivé pracoviště. Poté následovalo zaměření druhé haly, do které má být výroba přesunuta.

Po zmapování současného stavu, jsem za pomoci softwaru visTABLE vytvořil 2D layout a 3D vizualizaci současného stavu na hale č. 1 s aktuálním rozložením pracovišť a odkladových ploch. Na tento krok navazuje tvorba jednotlivých variant přesunu výroby z jedné haly do druhé. Po vytvoření variant se zabývám vyhodnocením vytvořených variant a výběrem vhodné varianty přesunu. Práce končí shrnutím vytvořených variant a vyhodnocením celé situace s doporučením.

## 2 Metodika

V rámci studie byly použity standardní metody a techniky. Použity byly vzorce pro kapacitní výpočty a také 2D a 3D vizualizace pomocí softwaru visTABLE. Použité vzorce ke kapacitním propočtům jsou popsány níže:

### 2.1 Roční časový fond dělníka

U ročního časového fondu dělníka musíme od všech pracovních dnů odečíst výši dovolené, předpokládanou nemocnost, hodiny strávené u lékaře, atd. Velikost ročního časového fondu dělníka je obvykle okolo 1700hodin/rok. Vzorec pro výpočet je následující [1]:

$$E_d = ((d_p - d_d - d_a) * H)$$

Legenda k výše uvedenému vzorci [4]:

$E_d$  - časový fond dělníka

$d_p$  - počet pracovních dnů v roce (250 dní v roce 2018)

$d_d$  - průměrná výše dovolené (20-25 dnů)

$d_a$  - průměrná neplánovaná absence ve dnech (4-12 dnů)

$H$  - počet pracovních hodin při n-směnném provozu

- jednosměnný provoz = 7,5 hodin
- dvousměnný provoz = 15 hodin

### 2.2 Roční časový fond stroje

U ročního časového fondu stroje musíme od všech pracovních dnů odečíst celozávodní dovolenou, plánované i neplánované opravy. Velikost ročního časového fondu stroje je obvykle cca 1900hodin/rok (1 směnný), cca 3800 hodin/rok (2 směnný), cca 5700 hodin/rok (3 směnný). Vzorec pro výpočet je následující [1]:

$$E_d = ((d_p - d_{cd} - d_{op} - d_{np}) * H)$$

Význam jednotlivých proměnných [4]:

$E_d$  - efektivní časový fond stroje

$d_p$  - počet pracovních dnů v roce (250 dní v roce 2018)

$d_{cd}$  - průměrná výše celozávodní dovolené (obvykle 10 dní)

$d_{op}$  - počet dní v roce pro plánované opravy

$d_{np}$  - počet dní v roce pro neplánované opravy

$H$  - počet pracovních hodin při n-směnném provozu

## 2.3 Roční časový fond pracoviště

U ročního časového fondu pracoviště musíme od všech pracovních dnů odečíst celozávodní dovolenou. Velikost ročního časového fondu stroje je obvykle cca 2000hodin/rok (1 směnný), cca 4000 hodin/rok (2 směnný), cca 6000 hodin/rok (3 směnný). Vzorec pro výpočet je následující [1]:

$$E_{fp} = (D_P - D_{CD}) * H \text{ [hod/rok]},$$

kde jednotlivé proměnné jsou:

$E_{fp}$  - efektivní časový fond pracoviště

$D_P$  - počet pracovních dnů v roce (252 dní v roce 2012)

$D_{cd}$  - průměrná výše celozávodní dovolené (obvykle 10 dní)

$H$  - počet pracovních hodin při n-směnném provozu

## 3 Výsledky

Celý článek je postaven na základě reálného projektu, ve kterém byly zpracovány kapacitní propočty pro daná pracoviště a pracovníky. Na základě výsledků kapacitních propočtů, byly vytvořeny celkem 4 varianty prostorového uspořádání. Jednalo se o:

- Varianta 1 – přesun současného stavu
- Varianta 2 – plánované minimum
- Varianta 3 – plánovaný průměr
- Varianta 4 – plánované maximum

### 3.1 Kapacitní propočty

Kapacitní propočty byly řešeny pro všechna pracoviště, a zároveň i pro všechny pracovníky. Výsledek byly tabulky, které nám dávají informaci, o tom kolik potřebujeme mít pracovišť, a také na kolik procent jsou vytížena. Ukázka výsledné tabulky, pro pracoviště a také pracovníky, jsou uvedeny níže.

Tabulka 1 – Kapacitní propočty pracovišť

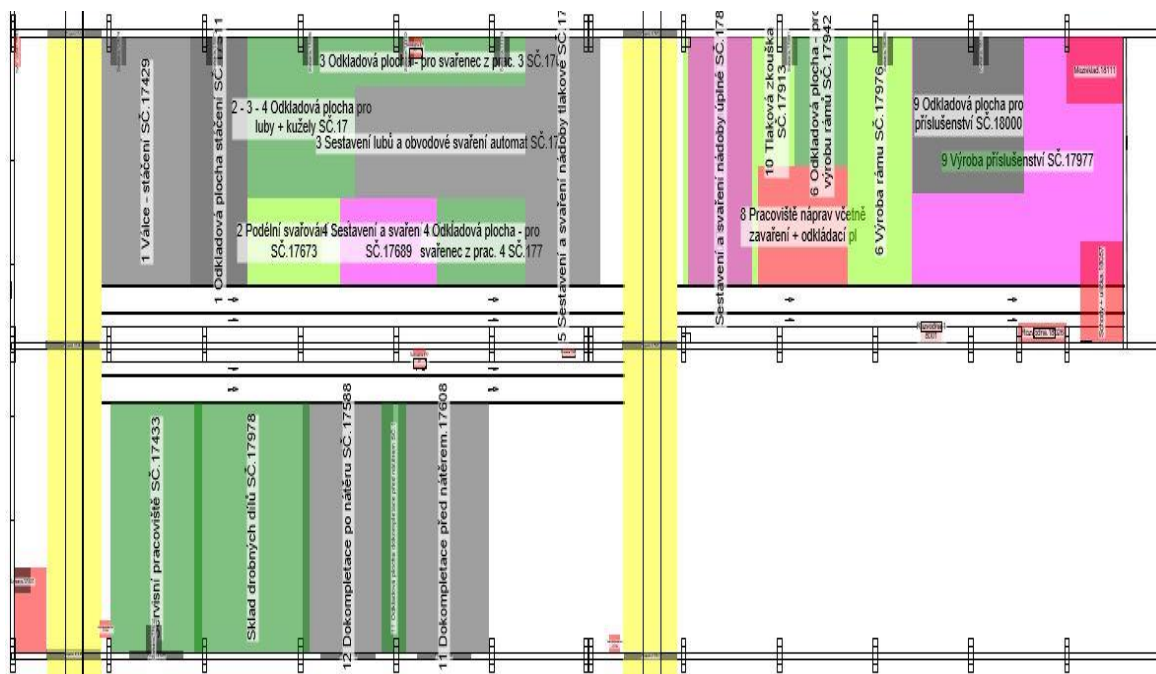
Pracoviště	Název pracoviště	Výrobní čas [min]	Přípravný čas [min]	Celkem [min]	Výrobní čas [hod]	Přípravný čas [hod]	Celkem [hod]	Výrobní čas [směn]	Přípravný čas [směn]	Celkem [směn]
1	Válce - stáčení	772	206	978	13	3	16	2	0	2
2	Podélné svařování lubů	239	62	301	4	1	5	1	0	1
3	Sestavení lubů a obvodové svaření	695	93	788	12	2	13	2	0	2
4	Sestavení a svaření kuželů	1214	163	1377	20	3	23	3	0	3
5	Sestavení a svaření nádoby tlakové	2482	152	2634	41	3	44	6	0	6
6	Výroba rámu	1101	290	1391	18	5	23	2	1	3
7	Sestavení a svaření nádoby úplné	2561	515	3076	43	9	51	6	1	7
8	Pracoviště náprav včetně zavaření	342	136	478	6	2	8	1	0	1
9	Výroba příslušenství	1554	743	2297	26	12	38	3	2	5
10	Tlaková zkouška	637	9	646	11	0	11	1	0	1
11	Dokompletace před nátěrem	2103	309	2412	35	5	40	5	1	5
12	Dokompletace po nátěru	1309	119	1429	22	2	24	3	0	3
		15009	2798	17807	250	47	297	33	6	40

Tabulka 2 – Kapacitní propočty pracovníků

Název pracoviště	Výrobní čas [min]	Přípravný čas [min]	Celkem [min]	Výrobní čas [hod]	Přípravný čas [hod]	Celkem [hod]	Výrobní čas [směn]	Přípravný čas [směn]	Celkem [směn]
zámečnické práce	15544	1567	17111	259	26	285	35	3	38
laserové měření rovnoběžnosti náprav AW	204	29	233	3	0	4	0	0	1
svařování pulzní MIG/MAG (hliník a jeho slitiny)	2761	250	3011	46	4	50	6	1	7
svařování hliníku argonem WIG/TIG	339	42	381	6	1	6	1	0	1
kontrola	576	0	576	10	0	10	1	0	1
svařování MIG/MAG	182	49	231	3	1	4	0	0	1
vrtačka otočná VR-4	232	117	349	4	2	6	1	0	1
ohnout - jiná loď	87	324	411	1	5	7	0	1	1
těsnění - jiná loď	30	10	40	1	0	1	0	0	0
zkružovací stroj Roundo	890	206	1096	15	3	18	2	0	2
ohnout - jiná loď	22	60	82	0	1	1	0	0	0
svařování AKV argonem WIG/TIG	10	14	24	0	0	0	0	0	0
rovnat - jiná loď	10	11	21	0	0	0	0	0	0
svařovací automat LHT	58	11	69	1	0	1	0	0	0
svařovací automat HEISS	63	26	89	1	0	1	0	0	0
pálit - jiná loď	23	56	79	0	1	1	0	0	0
svařovací automat na nastavení plechů BU	350	26	376	6	0	6	1	0	1
	21380	2798	24178	356	47	403	48	6	54

### 3.2 Varianta 1 – přesun současného stavu

Tato varianta vznikla jako první, z důvodu ověření, zdali je vůbec možné realizovat přesun současného stavu výroby do této haly. Pro tuto variantu nebyly počítány žádné kapacitní propočty z důvodu vycházení ze současného stavu výroby. V navrhované variantě pracujeme s počtem pracovišť, tak jak jsou rozdělena na hale číslo 1. Rozměry pracovišť jsou maximalizovány pro největší možný rozměr vyráběného produktu.



Obrázek 1 – Varianta 1

Výše uvedený layout, nám ukázal, že jsme schopni přesunout současný stav výroby z haly č. 1 do haly číslo 2. Tento přesun jsme schopni zrealizovat za určitého předpokladu. Pracuji zde s myšlenkou sloučení pracoviště 7

### 3.3 Varianta 2 – plánované minimum

[illegible]

Na výše uvedeném obrázku je zobrazen layout pro minimální plánovaný objem produkce. Do layoutu bylo zapotřebí přidat nově vzniklá pracoviště (5, 7, 11) a zapracovat do zbylého volného prostoru.

### 3.4 Varianta 3 – plánovaný průměr

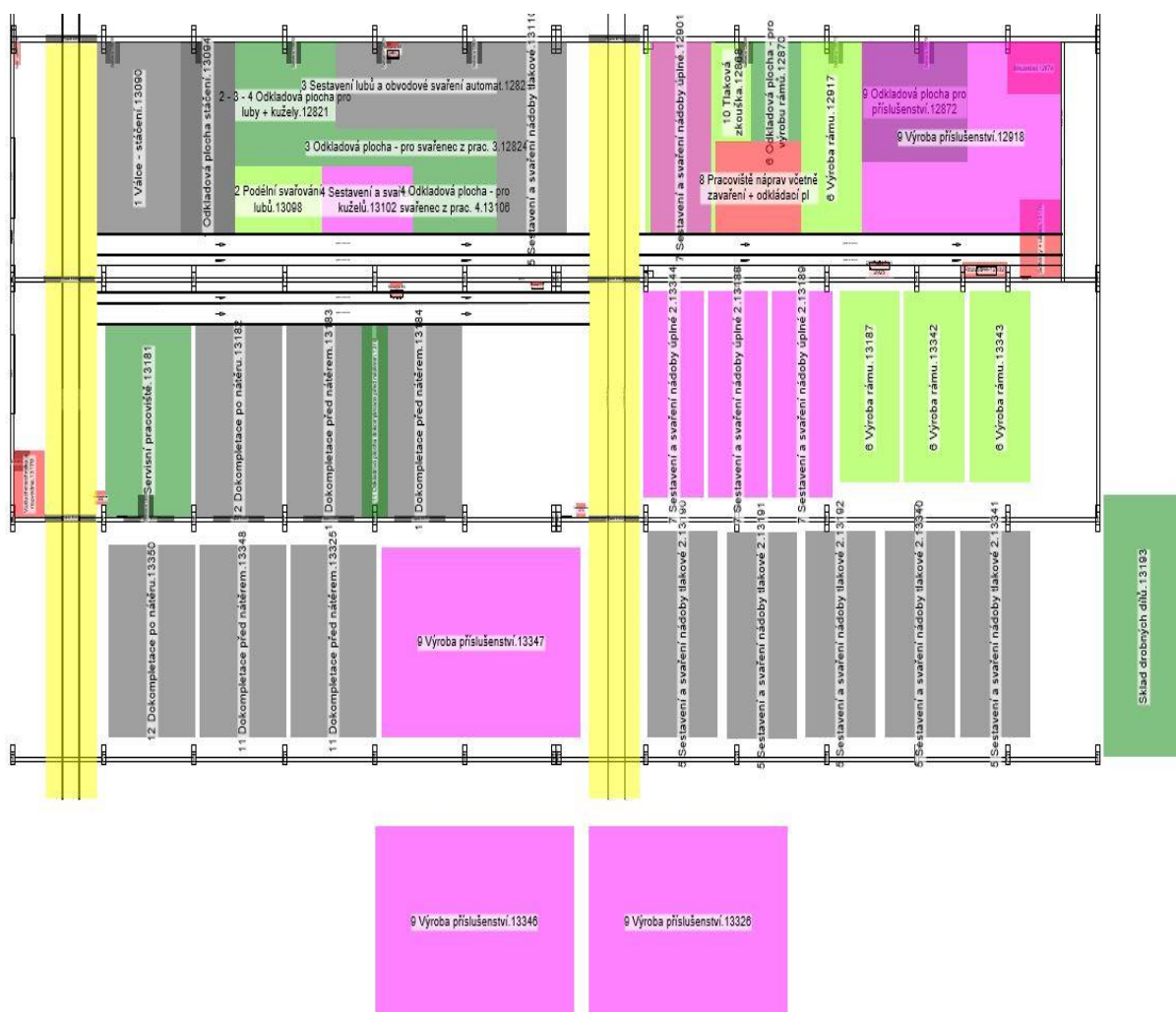
130

[illegible]

Na obrázku výše je zobrazen 2D layout, který znázorňuje rozmístění jednotlivých pracovišť pro průměrný plánovaný objem výroby.

### 3.5 Varianta 4 – plánované maximum

131



Obrázek 4 – Varianta 4

Výše uvedený layout zobrazuje všechna potřebná pracoviště. Jak je v layoutu vidět, pro realizaci tohoto plánovaného objemu výroby by nám nestačily ani kompletní tři výrobní lodě.

Z toho vyplývá, že variantu 4 – plánované maximum, nelze uskutečnit, z důvodu nedostatečného prostoru nutného pro realizaci výroby pro maximální plánovaný objem na hale číslo 2.

## 4 Závěr

Podle zadaných parametrů společnosti, byly zpracovány kapacitní propočty pro plánované objemy výroby. V kapacitních propočtech byly řešeny jak počty pracovišť a jejich využití, tak zároveň počty pracovníků a jejich využití. Na tuto část dále navazovala analýza současného stavu výroby a zaměření jednotlivých pracovišť i s odkladovými plochami. Poté co byla analýza současného stavu hotova, byly vytvořeny celkem 4 varianty přesunu výroby z jedné haly do druhé.

Na vytvořené varianty navazuje vyhodnocení, již zmíněných variant přesunu, a výběr vhodné varianty. Jelikož z vytvořených variant vyšlo možné přesunutí výroby pouze u současného stavu, je tedy na zvážení vedení společnosti, zdali je vůbec nutné tento přesun realizovat. Přesun by znamenal značnou investici – podlahy, pracoviště tlakové zkoušky, vrata, s čímž společnost počítá. Problémem ale je, že v hale číslo 2, není možné realizovat plánované objemy výroby s pravidelným navyšováním a cílem do pěti let vyrábět 260 kusů.

Cílem této studie bylo vytvoření kapacitních propočtů pro zadané plánované objemy výroby, a na základě těchto propočtů byl organizován přesun výroby, z haly číslo 1 do haly číslo 2, pomocí vytvoření variant přesunu pro jednotlivé objemy. Následovalo zhodnocení a vytvoření posudku s vyjádřením k dané situaci.

### Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

### Použitá literatura

- [1] Miller, A., Bureš, M., Kurkin, O., Pešl, J. *Projektování výrobní základny - praktická část*. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2013. ISBN 978-80-87539-30-9

# Koncept centralizovaného střediska a návrh prostorového uspořádání

Michal Zoubek <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika

[zoubekm@kpv.zcu.cz](mailto:zoubekm@kpv.zcu.cz)

**Anotace:** Tento článek je praktického charakteru a zabývá se návrhem konceptu centrálního měrového střediska ve společnosti. Zajímavý je tím, že v tomto konceptu pro centralizované měření je spojen návrh nového procesu kontroly kvality výrobků s dopadem na nové prostorové uspořádání. Práce si klade za cíl navrhnout funkční koncept střediska pro výrobní divizi z oblasti automotive zabývající se převážně hlavovými opěrkami. Výsledné řešení se zakládá na analýze současného stavu a zahrnuje návrhy prostorového uspořádání, jednotlivých funkčních prvků, principů fungování a nový proces kontroly kvality a 3D vizualizaci navrženého pracoviště.

## 1 Úvod do problematiky

Výrobní proces ve společnosti se podobně jako v dalších automotive závodech řídí přísnými nároky na kontrolu kvality probíhající výroby, čímž se stávají měřicí procesy neméně důležitými než samotná finální produkce. Hlavním prvkem v kontrolním procesu řešené výroby jsou tzv. speciální stanice. Tyto stanice představují sadu pracovišť na různých místech výrobní haly, kde probíhá vlastní kontrolní proces. Každá výrobní linka je spjatá s daným specifickým pracovištěm, které je dle toho vybaveno příslušnými měřidly. Význačným druhem měřidla je zde tzv. "léra". Jedná se o často rozměrný měřicí přípravek, specificky uzpůsobený pro konkrétní výrobek a účel. Náměry z těchto speciálních měřidel jsou zaznamenávány do PC. Sadu měřidel doplňují již standardní posuvná měřítka, kalibry, úchylkoměry a další. V kontrolním procesu jsou specifické stanice podpořeny specializovaným pracovištěm s profil projektorem a místností s 3D měřícím zařízením. V této práci je návrh spojen s novým procesem kontroly kvality a s tím také koresponduje návrh prostorového uspořádání.

Rozmístění jednotlivých prvků výrobního systému je zahrnuto v určitém komplexním hledisku, do kterého je třeba integrovat také určitá omezující kritéria a podmínky (ČSN normy týkající se nejen výrobní základny) a také určité zásady, jako například ergonomická hlediska pracovišť, délka a intenzita materiálových toků, hygienická a bezpečnostní hlediska. Rozsah návrhu prostorového uspořádání, se kterým se vážou zmíněné integrované omezení,

závisí na typu, či úrovni vytváření výrobní struktury. Špatně navrhnuté prostorové uspořádání jednotlivých prvků výrobního systému, kde se nemusí jednat jen o výrobní stroje a zařízení, může zapříčinit mnoho druhů plýtvání. Pro zobrazení prostorového uspořádání výrobního systému používáme layout, v tomto případě bude tvořen 2D layout a následná 3D vizualizace. Návrh layoutu může být různého charakteru. Právě rozsah zpracování výrobní dispozice závisí na druhu projektovaného systému. V tomto případě se jedná o návrh nového prostorového uspořádání, nicméně velikost je omezena prvky, které se v návrhu budou vyskytovat a v tomto případě se jedná o buňkovou prostorovou strukturu, také možno nazvat mikro layoutem. [1], [2]

Určitým specifikem je zde to, že návrh je nejen spojen s novým procesem kontroly kvality, novým návrhem mikro layoutu pracoviště, ale také jsou zde navrženy prvky vnítr podnikové logistiky v oblasti skladování, neboť součástí je také systém se speciální skladovou technologií pro kontrolní přípravky. Důvodů, které vedou k tomuto novému návrhu, je celá řada. Jednou z hlavních proměnných u speciálních stanic je způsob uskladnění měřících přípravků. Vzhledem k jejich často nezanedbatelným rozměrům je k uskladnění využito značné množství skříní, které jsou v jistých případech kapacitně přetížené. Ze současné situace a postupů vzniká následující seznam problémů a rizik, které byly hlavním impulsem pro realizaci této práce:

- neodborně provedená měření operátory výroby,
- nevhodný způsob uskladnění měřidel,
- časté ztráty základních měřidel – nutnost fyzicky připevnit k pracovnímu stolu,
- operátor často jde k již zabranému stanovišti,
- reklamace způsobená neodborným provedením kontrolních náměrů,
- zkreslení naměřených dat neodborným provedením kontrolních náměrů,
- nezanedbatelné půdorysné nároky na CAQ stanice.

## **2 Metodika zpracování tvorby konceptu**

Projektované návrhy výrobního systému jsou založeny na určitých přístupech. Jedná se jednak o klasický komplexní přístup, který nadále zůstává využíván, nicméně je kombinován s moderním digitálním přístupem. Právě ten je podporován určitými softwarovými nástroji s možností 3D zobrazení a stává se tak účinným prvkem během zpracování prostorového uspořádání. 3D prostředí umožňuje projektantovi si velmi názorně představit navrhovanou výrobní základnu, tím i celou výrobu již před její realizací. Co se týká metodiky pro tuto praktickou část, postup prací se rámcově řídil následujícím projektovým plánem, kde hlavní činnosti byly:

1) Analýza současného stavu – prostorové uspořádání

Analýza současného stavu kontrolních pracovišť, zakreslení těchto pracovišť do layoutu (2D), hrubé analýzy současného stavu.

2) Analýza kontrolních přípravků

Analýza skladové měrné plochy kontrolních přípravků, kapacitní vytížení kontrolních stanic s výpočty, návrh centralizovaného střediska.

3) Základní koncept návrhu střediska

2D návrh mikro layoutu, tvorba 3D mikro layoutu, návrh nového procesu kontroly kvality, návrh skladového systému pro kontrolní přípravky.

4) Finalizace navrženého konceptu – detailnost.

Standardní kontrolní proces seřizené a běžící výroby se opakuje v intervalech zhruba 2 hodiny. V tu chvíli operátor výroby odebere jeden kus z výrobní linky a zamíří ke speciální stanici (případně profil projektoru) a provede potřebné měrové úkony. Po tomto vykonání se vrací zpět ke své výrobní lince. Dle tohoto současného procesu vykonává kontrolu kvalita sám operátor, nový proces tento stav zcela odstraňuje – nebude již kontrolovat operátor.

### **3 Případová studie – aplikovaná metodika**

Případová studie právě koresponduje s tímto plánem a dle jednotlivých kroků bude zpracován koncept centralizovaného měrového střediska.

#### **3.1 Analýza současného stavu – prostorové uspořádání**

V této první etapě je řešen současný stav prostorového uspořádání, kdy pracujeme s výchozím layoutem výrobní haly, který sloužil pro základní orientaci v podniku a položil základ myšlenky, kam centralizované středisko směřovat. Přestože původním požadavkem nebyl výběr specifického místa ve výrobě a nároky na středisko byly pouze v rovině virtuálního pracoviště, tak bylo rozhodnuto, že pro praktičtější a věcnější úroveň práce bude vybráno konkrétní místo na základě layoutu. Samozřejmostí je fyzické provedení náměrů ve výrobě. Pro tvorbu konceptu střediska a integrace do jednoho celku jsou uvažovány následující prvky: 6x měrová střediska včetně skříní příslušenství, 1x pracoviště profil projektoru, vybrané regály po domluvě.



*Obrázek 1 - Jedna ze speciálních měřících stanic*

Takto byly zpracovány všechny specializované pracoviště, zakresleny byly do 2D layoutu dle reálných rozměrů. Výsledné prostorové nároky jsou v současnosti tedy dle výpočtu  $101,77 \text{ m}^2$ , což je i limitní hodnota pro návrh centrálního pracoviště.

### **3.2 Analýzy měřících přípravků**

V této rozborové části byl kladen důraz na získání vstupních dat a parametrů hlavně u měřících přípravků, které budou dále podrobeny analýze a základním rozborům. To je důležité vzhledem k tomu, že jednotlivých měřících přípravků je celkem 435 a z hlediska nákladů tvoří důležitou část, proto je důležitá znát jejich jednotlivé parametry. Tyto parametry budou sloužit jako vstupní data pro statické hodnocení a výpočty. Jedná se o tyto základní rozborů:

#### **1) Současné ložné plochy měřících přípravků.**

Na základě analýzy jednotlivých pracovišť z předešlé kapitoly byly vypočteny současné dostupné ložné plochy pro měřící přípravky. Z analýzy vyplývá, že v současné době je jako ložná plocha pro měřící přípravky k dispozici plocha o  $64,52 \text{ m}^2$  a s uvažováním 20% rezervy pro budoucí stav plocha odpovídá  $77,43 \text{ m}^2$ .

#### **2) Výpočet skutečné plochy měřících přípravků.**

Pro výpočet, jakou plochu v součtu měřící přípravky zabírají, bylo využito náměrů poskytnutých ze strany týmu společnosti. Pomocí Microsoft Excel byly rozměry dekomponovány a po vytvoření adekvátních vzorců byla vypočtena výsledná plocha. Celkový povrch přípravků je v součtu  $47,47 \text{ m}^2$ . Je nutné uvažovat korekční koeficient, z důvodu, že náměry nebyly kompletní ke všem přípravkům. Uvažovaná plocha po korekci je tedy  $55,73 \text{ m}^2$ . Srovnáním této hodnoty s analýzou ložných ploch z předchozí části je možné soudit, že data

odpovídají skutečnosti a jsou dostatečně kvalitní na to, aby byla použita pro návrh budoucího skladovacího systému pro kontrolní přípravky.

### 3) Analýza duplicitních měřidel

Z poskytnutých dat bylo rovněž možné analyzovat, zda se měřicí přípravky objevují při měření více jak jednoho výrobku, nebo jsou naprosto jednoúčelové. Tato informace posloužila jako důležitá proměnná pro návrh skladovacího systému a systému uložení měřicích přípravků. Z dostupných dat vyplynulo, že více jak 100 přípravků ze 435 v seznamu je evidováno pro měření 2 a více výrobků.

### 4) Výpočet hmotností měřidel

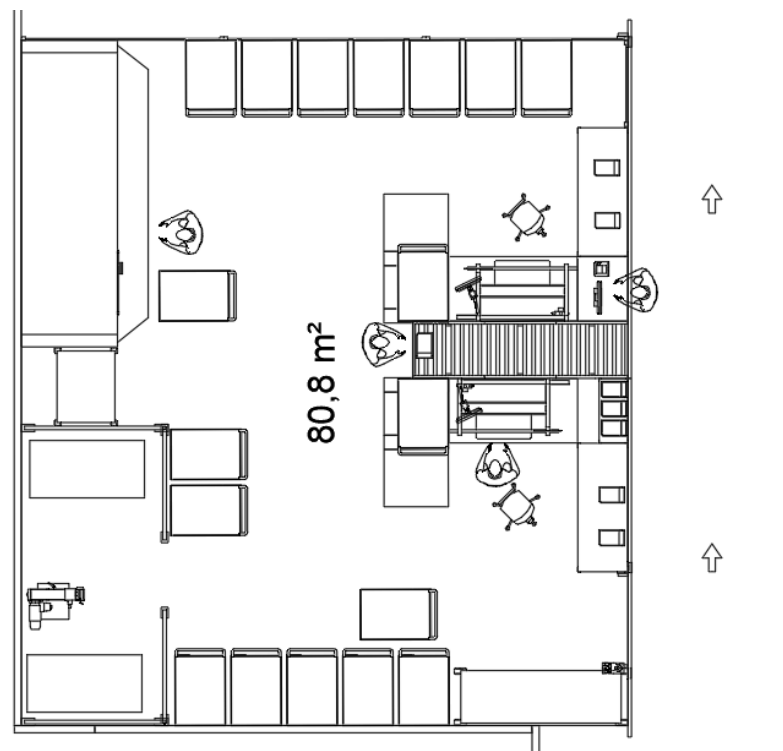
Z dostupných dat byly rovněž vypočteny hmotnosti každého měřicího přípravku, který měl uvedené rozměry. Tyto hodnoty sloužily jako orientační, pro úvahu nad ergonomií práce. Nejprve bylo provedeno vážení deseti náhodně vybraných ler, z čehož byla určena hustota, která spolu s rozměry definuje přibližnou hmotnost každého dalšího přípravku.

### 5) Personální odhad

Kapacitní návrh by musel být propracován detailněji. Na základě poskytnutých dat, kde čas strávený měřením cca 24h je možné odhadnout počet kontrolorů na 3, přičemž jeden bude plnit primárně úkoly na profil projektoru, vyskládkovat měřicí přípravky a řešit případné NOK náměry. Toto je předmětem dalšího zkoumání.

## 3.3 Základní koncept návrhu střediska

Kompletní návrh střediska je z hlediska pracnosti poměrně obsáhlý, musí respektovat mnoho prvků, které jsou vzájemně systematicky propojeny. Po provedené analýze současného stavu a dostupných dat byl proveden návrh vlastního konceptu centralizovaného střediska. Jak již bylo zmíněno, původní charakter zadání byl návrh do virtuálního prostoru. Z praktické stránky věci a přihlédnutím k tomu, že prostorové a funkční uspořádání musí vycházet z nějakého logického rozměru, byla zvolena cesta hledání reálného místa ve výrobě s potenciálem pro realizaci střediska. S přihlédnutím k faktu, že nově vzniklé středisko bude velmi pravděpodobně kooperovat s pracovištěm 3D měření, byl jeho cílový prostor zvolen co nejbližší, vybraný prostor začíná hranicí samotné místnosti pro 3D a končí rolovacími vraty, zleva omezený manipulační uličkou a zprava pochopitelně samotnou stěnou. Pro návrh konceptu je k dispozici 90,25 m<sup>2</sup>, což už samo o sobě předznamenává možnou úsporu oproti současnému stavu. Následující obrázek je konceptem v měřítku popisující prostorové uspořádání pracoviště za již stanoveného funkčního postupu popsáno dále. Součástí je i výčet zahrnutých prvků:



*Obrázek 2 - Schéma centralizovaného střediska*

V návrhu střediska se vyskytuje celkem 10 prvků, kde většina z nich byla nově navržena s konceptem nového procesu kontroly. Jedná se o tyto prvky:

- Manipulační vozíky
- Regály z 3D pracoviště
- Pracoviště profil projektoru
- Regál u 3D pracoviště
- Vertikální zakladač
- Válečkový dopravník
- Pracovní stoly kontrolorů
- Výstupní regály
- Zásobník na kontejnery
- Pracoviště průvodek

Jednou z velkých výzev a význačným prvkem pro integraci střediska do co nejmenšího půdorysného rozměru byl návrh skladovacího systému pro často měřící přípravy. Pro účely uskladnění velkého množství dílů na malou plochu slouží velmi dobře karuselové zakladače.

Základem pro výpočet byla potřebná plocha, kterou má vertikální zakladač být schopen pojmout. Vycházelo se zde z hodnoty současné ložné plochy s 20% rezervou, což již bylo zmíněno. Poté přišly na řadu úvahy nad únosností samotného skladovacího systému a jeho rozměry, pro tento účel posloužily

oficiální informace výrobce. Pro výpočet byl zvolen vybraný vertikální karusel s maximální možnou šířkou police, tedy 3 650 mm, výškou 491 mm a hloubkou 528 mm. Předpokládá se, že v této polici bude ještě vložena mezipolice. Tím se získají 2 police na pozici, v případě nároků na výšku se jednoduše může mezipolice odstranit a vytvořit např. jednu XL polici. Nicméně z dostupných dat by to nemělo být potřeba. Z těchto hodnot a potřebné ložné plochy je možné vypočítat orientační výšku, která je 5,5 m a je stále ještě použitelná, nedochází k narušení dráhy jeřábového pojezdu. Vertikální karusel mimo jiné disponuje zabudovaným centrálním PC, který po vytvoření příslušné databáze najde konkrétní pozici, kde se požadovaný díl nachází, není tedy nutné zapojovat další IT technologie pro chod tohoto systému. Systém uložení měřících přípravků v jednotlivých pozicích nejde třídit podle výrobků, což se potvrdilo analýzou duplicit měřidel z předešlých kapitol. Je tedy vhodné jít cestou nejvyššího možného využití úložného prostoru. S tímto úkolem vzhledem k jeho rozsahu mohou pomoci optimalizační algoritmy.

### **3.4 Finalizace navrženého konceptu**

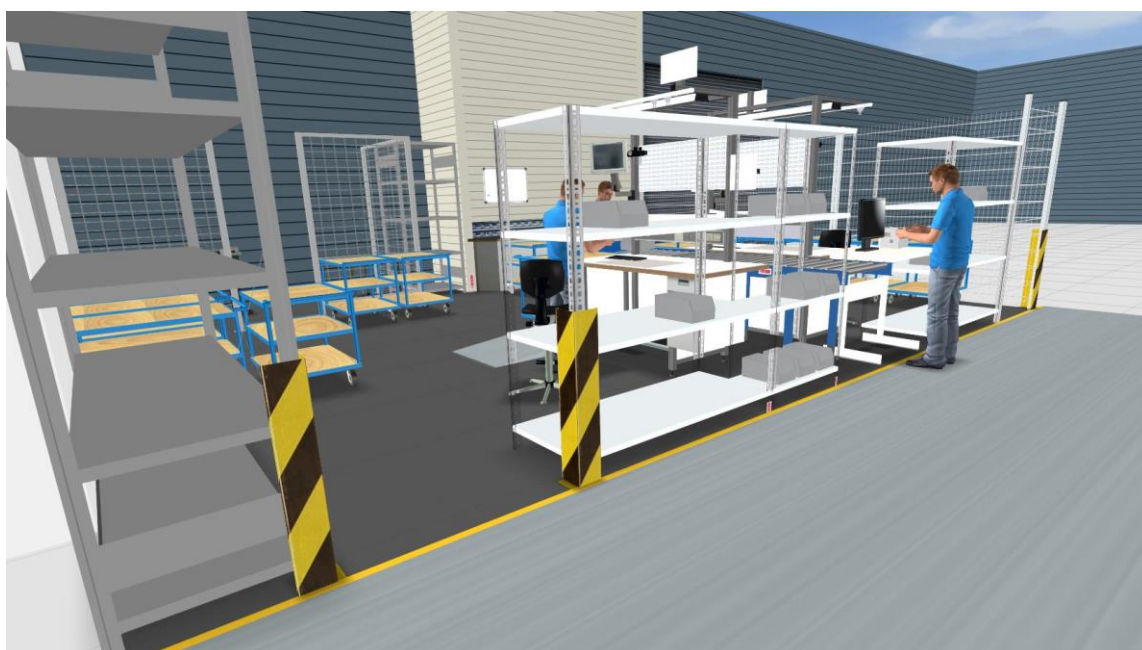
Jak již bylo uvedeno v analýze současného stavu, současné prostorové nároky jsou 101,77 m<sup>2</sup>. Porovnáním této hodnoty s konceptem měrového střediska (DWG export modelu) lze jednoduše zjistit, zdali bylo dosaženo úspory. Výsledná úspora místa je tedy téměř 21 m<sup>2</sup>. Pro nový proces kontroly kvality byla zpracována procesní mapa, vzhledem k rozsáhlosti zde proces jen popíšeme. Po události vyžadující měření součásti operátor přijde k měřicímu středisku a vytvoří tzv. průvodku s popisem požadavku, tato činnost může být řešena také formou čárového kódu a jeho načtením, eliminujeme tím manuální vyplňování. Kontrolovaný díl je následně umístěn do kontejneru, či boxu a odložen na dopravník, na které díl sjede k odebíracímu místu kontrolora. Po vyhodnocení informací z průvodky následuje vyskladnění měřících přípravků z vertikálního karuselu a pomocí vozíků jejich přemístění k pracovišti. Vyskladněné přípravky mohou zůstat na vozíku po dobu měření během celé směny. Pak už zbývá samotné měření specializovaným kontrolorem, který vyhodnotí výsledky, zda díl je v pořádku a vyplní průvodku, podepíše a uloží do výstupního regálu, kde díl vyzvedne operátor výrobní linky.

## **4 Výsledný 3D model měřicího střediska**

Dostáváme se již ke kompletně zpracovanému středisku ve 3D zobrazení.



*Obrázek 3 - 3D pohled na centralizované středisko*



*Obrázek 4 - 3D pohled na centralizované středisko – vstup*

## 5 Závěr

Výsledkem této práce je koncept měrového střediska navrhovaný jako uzavřený systém s jasně danými vstupy a výstupy pro konkrétní výrobní divizi. Podařilo se integrovat všechny požadované prvky do jednoho systému, který navíc poskytuje znatelnou prostorovou úsporu v porovnání se současným stavem. Z hlediska nového procesu měření kvality, tak za předpokladu kvalifikovaně proškolených pracovníků působících v měrovém středisku je více než pravděpodobné, že dojde k odstranění v současnosti nejzávažnějších

problémů jako je kvalita měření a poškození/ztráta měřících zařízení. Integrací skladovacího systému do jednoho prvku se rovněž zvyšuje přehled nad měřidly a funkcí systému jako uzavřeného celku odpadá riziko, že bude měřidlo odebráno nepovolanou osobou. Výhody tohoto konceptu:

- uzavřený systém s jasně danými vstupy a výstupy,
- centralizované řešení střediska,
- zvýšená kvalita a vypovídající hodnota měření, odborný personál,
- nižší náklady na servis měřidel díky odbornému zacházení,
- velký potenciál pro budoucí zlepšování systému a zavádění inovací,
- skladování všech měřidel přehledně a kvalitně na jednom místě,
- umístění hned vedle 3D pracoviště – možná účinná kooperace.

Měrové středisko je navrženo, tak aby mohlo fungovat bez výrazného podílu informačních a komunikačních technologií. Po jeho implementaci a vyladění procesů poskytuje však značné perspektivy a potenciál, například:

- Interface pro kontrolory – přehled o vyskladněných identech, předvyplňování formulářů načtením kódu, digitální layout měřidel.
- Řízení NOK situací – zastavení příslušné linky na dálku, světelné oznámení na lince, notifikace pro obsluhu a seřizovače.
- Řízení kapacit střediska – pomocí senzorické techniky hlídat zaplnění dopravníku a v případě vysokého vytížení, světelným signálem informovat linky.

## Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2018-031 s názvem Optimalizace parametrů udržitelného výrobního systému.

## Použitá literatura

- [1] Hlavenka, B. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty*. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2005, 197 s. ISBN 80-214-2871-6.
- [2] Košturiak, J. *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. Žilinská univerzita, Žilina, 2000, 397 s. ISBN 80-7100-553-3.

# Změna procesu tvorby údržbové dokumentace dle Reliability-Centered Maintenance

David Ženíšek <sup>1</sup>, Michal Šimon <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika  
[zenisek@kp.v.zcu.cz](mailto:zenisek@kp.v.zcu.cz)  
[simon@kp.v.zcu.cz](mailto:simon@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** Tento článek se zabývá analýzou a následnou optimalizací procesu tvorby údržbové dokumentace za účelem nasazení Reliability-Centered Maintenance (RCM). Článek nejprve představí principy RCM a jakým způsobem probíhá jeho nasazení do podniku. Následně je analyzován současný proces tvorby dokumentace a nakonec navržen proces nový, který vyhovuje požadavkům.

## 1 Úvod

Pro moderní podniky začaly náklady na údržbu a servis jejich výrobků hrát v posledních letech stále větší roli. Je to zapříčiněno rostoucím trendem, ve kterém zákazníci chtějí (a jsou ochotni zaplatit za) produkty, o které se nemusejí starat a které budou fungovat. Snaží se tedy outsourcovat údržbu na lépe kvalifikovaného dodavatele.

Škoda Transportation (ŠTRN) si tohoto trendu jsou dobře vědomi. Dopravní podniky začínají vypisovat tendry, ve kterých má dodavatel vozidlo udržovat a servisovat například dalších 10 let od dodání. Náklady na údržbu a servis rozhodují nejen o ceně nabízených vozidel, ale také o samotné realizaci zakázek.

Otázka tedy zní, jakým způsobem nastavit údržbu, aby byla při zachování požadované provozuschopnosti a úrovně bezpečnosti ekonomicky co nejvýhodnější. Jednou z nejúspěšnějších metod řízení údržby je RCM (Reliability Centered Maintenance), vyvinutá společností Boeing. V tomto článku se budeme zabývat úpravou procesu tvorby údržbové dokumentace v podniku tak, aby bylo možné RCM zavést.

## 2 RCM

RCM (údržba zaměřená na bezporuchovost) je metoda údržby, jejíž cílem je nalezení takové údržby, která je z dlouhodobého hlediska pro podnik finančně nejvýhodnější při dosahování vyžadované bezpečnosti (safety) a dostupnosti (availability). Výstupy analýzy RCM obsahují údržbové činnosti, procesní změny nebo změny v designu za účelem minimalizace důsledků poruchy.

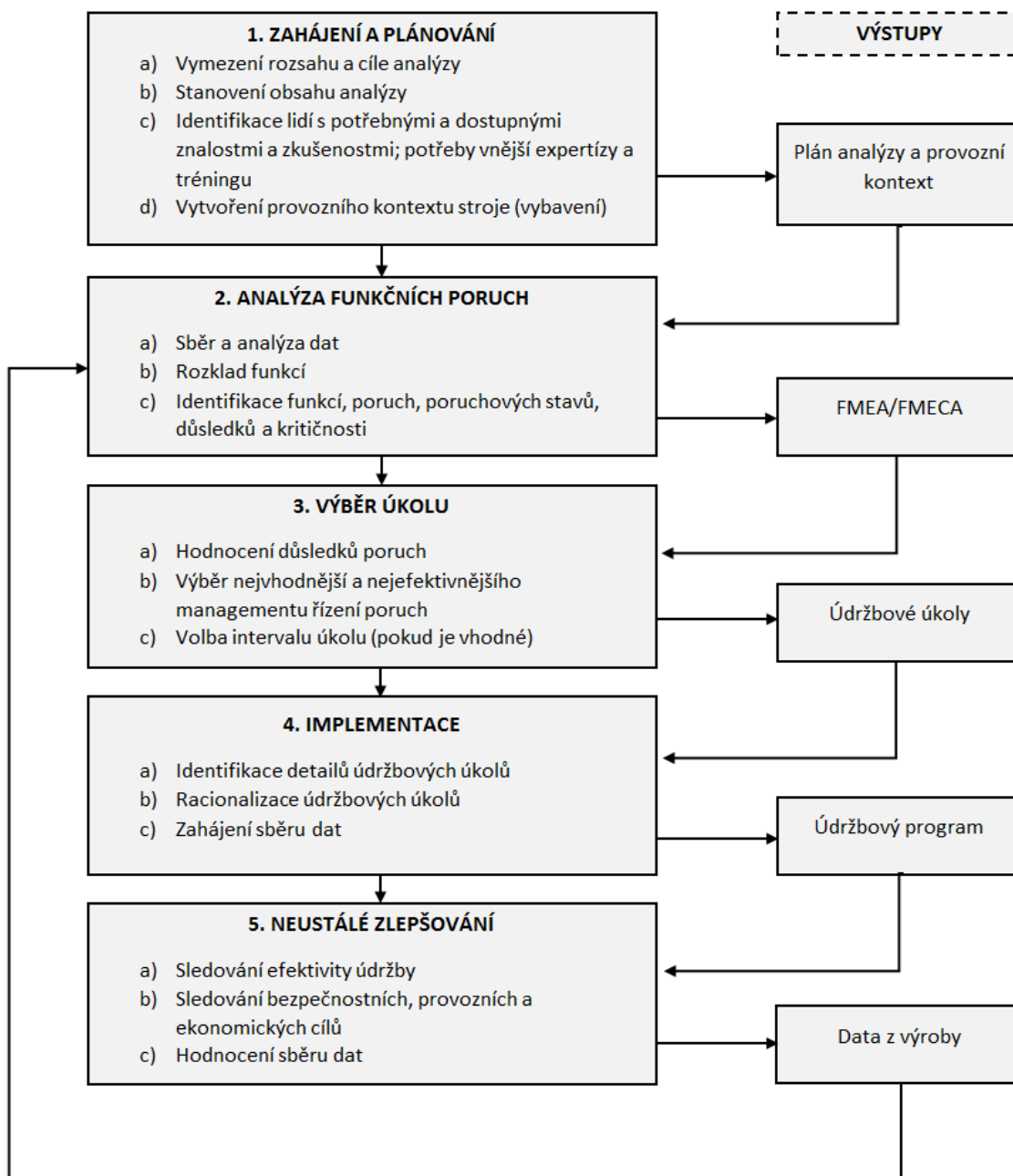
Dá se tedy říci, že RCM nejpřesněji vystihuje definice: “proces používaný ke stanovení, co musí být vykonáno k zajištění, aby nějaký fyzický majetek pokračoval ve vykonávání toho, co chtějí jeho uživatelé, ve svém současném provozním kontextu.” [1, s. 12]

Nowlan a Heap [2] stanovili sedm základních otázek o přezkoumávaném systému, které jsou klíčové pro stanovení optimálního údržbového programu. Cílem RCM je na tyto otázky odpovědět. Těmito otázkami jsou:

1. Jaké jsou funkce a s nimi sdružené normy výkonnosti majetku v jeho současném provozním kontextu?
2. Jakými způsoby dochází k poruše plnění jeho funkcí?
3. Jaké jsou příčiny každé funkční poruchy?
4. Co se stane, když k ní dojde?
5. V čem spočívá závažnost každé poruchy?
6. Co lze vykonat pro předpověď každé poruchy nebo pro její zabránění?
7. Co když nelze vhodný proaktivní úkol nalézt?

Nasazování RCM typicky probíhá pomocí zahajovacího projektu, který je prováděn na typickém představiteli výrobku. Typickým představitelem rozumíme produkt, který svým charakterem a vlastnostmi reprezentuje skupinu výrobků. V případě Škody Transportation by takovým projektem mohla být například dodávka 65 tramvají Forcity Smart (typického představitele) do Tampere. Po úspěšné implementaci se pak RCM rozšíří na celou skupinu výrobků, tedy všech typů tramvají, a následně do dalších skupin výrobků, jako například vlaky či příměstské jednotky, až pokryje požadované části portfolia.

Obecný postup zavádění RCM si můžeme prohlédnout v obrázku č. 1 níže. Základem je vytvořit analýzu funkčních poruch, na jejíž základě jsou identifikovány nejvhodnější údržbové úkoly, které se pak dávají do skupin v údržbovém programu. Následnou zpětnou vazbou, tedy daty z výroby, se celý program vylepšuje. Tento proces je možné také rozdělit do „vývojovou fázi produktu“ (bod 1 až 4), při které je produkt a s ním spojený program údržby vyvíjen, a „In-service fáze“ (bod 5 a 6), kdy je vozidlo již v provozu a dochází k optimalizaci a aktualizaci údržby. [3]



Obrázek 1 - Přehled procesu RCM

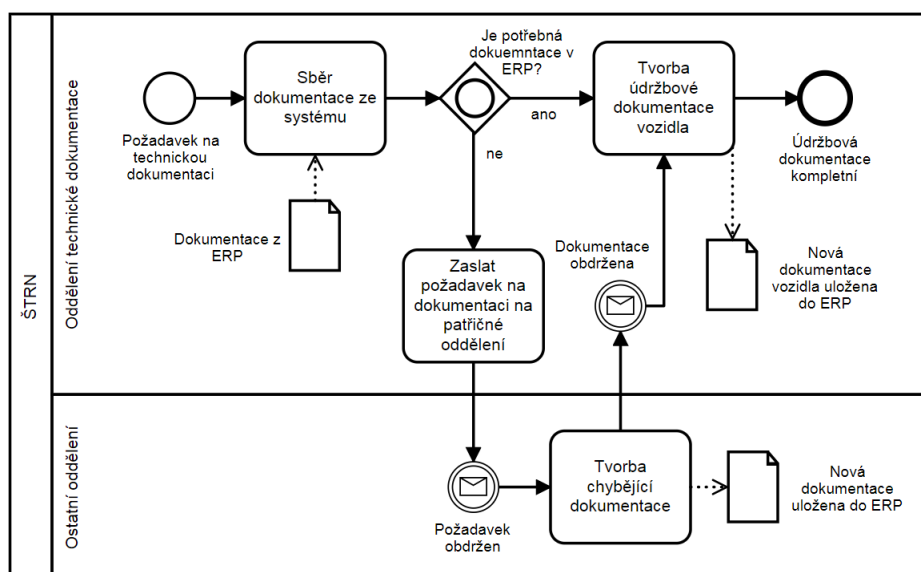
Z obrázku 1 je patrné, že RCM vyžaduje dobře definovaný, kontinuální proces, na kterém spolupracuje mnoho oddělení a částečně i dodavatelé. Pojdme se nyní podívat, jak je v ŠTRN tvorba údržbové dokumentace prováděna a jak ji bude třeba upravit pro účely zavedení RCM.

### 3 Současný způsob provádění údržby

Údržba v ŠTRN je v současnosti založena na tradiční preventivní údržbě, která je prováděna na základě technické dokumentace, vytvářené oddělením Technické dokumentace.

Údržbová dokumentace je vytvářena z technické dokumentace nakupovaných komponent od dodavatelů, případně na základě technické dokumentace od konstruktérů díků, kteří se však údržbou příliš nezabývají. Dá se tedy říct, že dokumentace je z větší části tvořena překlápěním dokumentace nakupovaných dílů na úroveň vozidla. Data z provozu se v potaz téměř neberou.

Na obrázku č. 2 je zobrazen současný proces tvorby údržbové dokumentace. Po přijetí požadavku na tvorbu technické dokumentace proběhne sběr dokumentace ze systému ERP (Enterprise Resource Planning). V případě, že veškerou potřebnou dokumentaci oddělení nalezne, začne tvorba technické dokumentace, jejíž výstupem je údržbová dokumentace vozidla. Pokud při sběru dokumentace je zjištěno, že některé materiály nejsou dostupné, spojí se pracovník s příslušným oddělením (může to být oddělení kvality, elektrických komponent, obchodní oddělení - pro kontaktování dodavatele, či kterékoli jiné oddělení) a vyžádá si chybějící dokumentaci. Po obdržení potřebné dokumentace se pak přechází k tvorbě údržbové dokumentace vozidla a po kompletaci je proces ukončen. Po dokončení procesu je dokumentace hotova a zpravidla již nebývá vylepšována, pouze občasné aktualizována, dojde-li ke změně nějaké komponenty na vozidle.



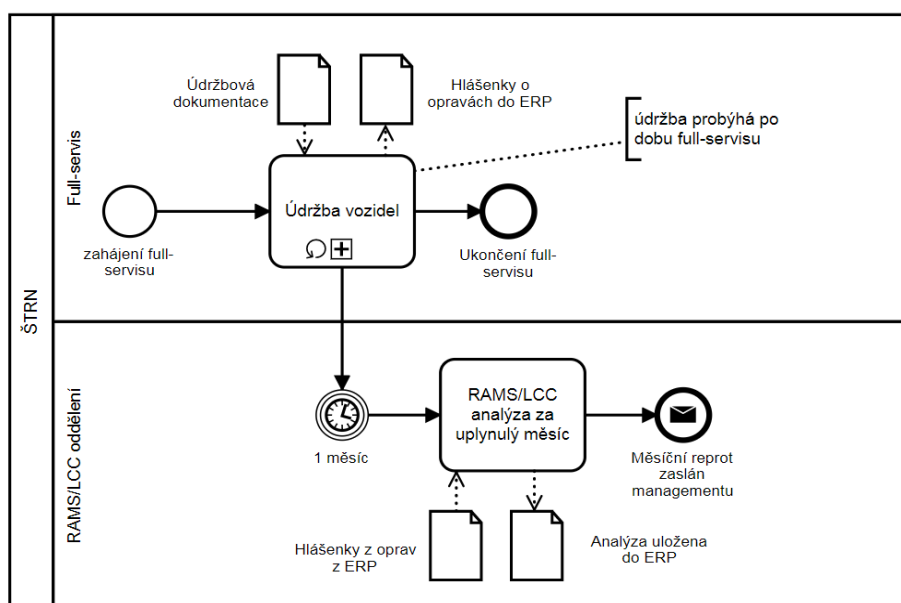
Obrázek 2 - Proces tvorby údržbové dokumentace

Relativní jednoduchost tohoto procesu má zásadní nevýhody:

1. Dodavatel často neví, jak vozidlo díl zatěžuje. Předpisuje tedy neoptimální údržbu, ačkoliv by často údržbové intervaly mohly být výrazně delší. Kratší údržbové intervaly vedou k častějším kontrolám a častějším výměnám, které jsou zbytečně nákladné a neoptimální.
2. Dodavatel nezná dopady poruchy dílů na vozidlo jako celek, což vede k výrazně vyšším nákladům na údržbu, zejména pak, mohla-li by být údržba řešena korektivně (po poruše). V případě kritického vlivu dílu na bezpečnost je naopak preferována důkladnější kontrola, což dodavatel nemusí brát v potaz.

3. Dodavatel nezná operační náklady spojené s údržbou dílů. Jím předepsaná prohlídka dílu může znamenat rozebrání značné části stroje, což na sebe váže náklady a čas.
4. Může se stát, že bude v zájmu dodavatele, aby byl díl měněn častěji a on tak realizoval větší obrát. Existuje tedy možnost, že dodavatel předpisuje zbytečně krátké intervaly údržby.

Za zmínku dále stojí analýzy RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) a LCC (Life Cycle Cost) [4], které si ŠTRN nechává pro své vozy dělat. Průběh vytváření měsíčních analýz RAMS a LCC si můžeme prohlédnout na obrázku č. 3. Po zahájení kompletního servisu v provozu (tzv. full-servisu) je prováděna údržba na základě údržbové dokumentace. Zde probíhá zaznamenávání oprav a údržby pomocí technických hlášenek do ERP systému. Každý měsíc pak oddělení RAMS/LCC vytváří reporty z posbíraných hlášenek. Tyto reporty jsou využívány pouze za účelem zpřehlednění aktuálního stavu oprav managementu. Reporty paradoxně nejsou využívány oddělením technické dokumentace či oddělením servisu, aby došlo k vyhodnocení prováděného servisu a zlepšení předepisované údržby.



Obrázek 3 - Proces tvorby RCM a LCC analýz

## 4 Optimalizace procesu

Zásadní rozdíl mezi údržbovou dokumentací, a tedy údržbou založenou na RCM a současným způsobem tvorby údržbové dokumentace je, že výstupem RCM je dynamický, v čase se vyvíjející dokument, který je aktualizován a který bere v potaz data a zkušenosti z již prováděné údržby. Díky tomu RCM vede k maximálně efektivní údržbě. Současně prováděná údržba se na druhé straně odvíjí od dokumentace, která je statická a která je založena na tom, co předpisují dodavatelé, což vede k vysoké neefektivitě.

Na obrázku č. 4 si můžeme prohlédnout navržený proces tvorby údržbové dokumentace. Proces začíná požadavkem na tvorbu technické dokumentace, který je zaslán na Oddělení technické dokumentace. Oddělení provede sběr dostupné potřebné dokumentace z ERP systému a zašle požadavek na doplnění chybějící dokumentace příslušným oddělením. Zároveň je požádáno Oddělení RAMS/LCC, aby vytvořilo RAMS a LCC analýzu vozidla. Tato analýza je tvořena odvozením dat z již provozovaných vozidel na základě technických specifikací vozidla, které bude vyráběno. Po získání veškeré technické dokumentace proběhne RCM analýza (vývojová fáze). Jakmile je RCM analýza hotová, vytvoří se kompletní údržbová dokumentace, která je předána Oddělení full-servis, které na jejím základě začne provádět údržbu vozidel.

Oddělení RAMS/LCC pak každý měsíc sestaví z hlášenek o poruchách analýzu, na základě které dojde k aktualizaci RCM dokumentace (In-service fáze), jež je předána Oddělení full-servis. Celý tento proces se pak opakuje, dokud nedojde k doběhnutí nasmlouvané doby full-servisu, což vede ke skončení poskytovaného servisu, a tedy ukončení procesu.



Reliability-Centered Maintenance je metodika, která umožňuje právě ekonomicky nejvhodnější údržbu vozidel při požadované bezpečnosti a dostupnosti. Pro její zavedení je však zásadní změnit proces tvorby údržbové dokumentace, na které celá údržba stojí. Stávající proces ve Škodě Transportation je pouhé sbírání dodavatelské dokumentace do uceleného souboru. Aby bylo nejvhodnější údržby dosaženo, byl navrhnout nový proces, zahrnující RCM analýzu, který je v čase dynamický a vede k navržnutí optimální údržby a její aktualizaci v průběhu provozu.

### **Použitá literatura**

- [1] ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů - Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [2] Nowlan, F. S., Heap, H. *Reliability-centered Maintenance. National technical Information Service*. US Department of Commerce, 1978, Springfield, Virginia. ISBN 978-1234322571.
- [3] Moubray, J. *Reliability-Centered Maintenance*. 2. vyd., Industrial Press Inc., 1997, 448 s. ISBN: 978-0831131463.
- [4] ČSN EN 60300-3-3. *Management spolehlivosti – Část 3-3: Pokyn k použití – Analýza nákladů životního cyklu*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.