

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Analýza a modelování vybraných procesů v oblasti
elektrotechnické výroby**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Andrea BENEŠOVÁ**
Osobní číslo: **E13N0002P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Analýza a modelování vybraných procesů v oblasti elektrotechnické výroby**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište základní východiska pro využití procesního řízení v oblasti elektrotechnické výroby.
2. Uveďte přehled vhodných metod pro aplikaci procesního řízení s ohledem na analýzu modelování a optimalizaci výrobních procesů.
3. Realizujte případovou studii s cílem analyzovat, zmapovat a případně namodelovat vybrané reálné výrobní procesy.
4. Vypracujte doporučení pro praxi týkající se analýzy a modelování procesů.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Basl J., Tůma V.: Modelování a optimalizace podnikových procesů.**
2. **Řepa V.: Podnikové procesy.**
3. **Elektronické informační zdroje.**


Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiří Tupa, Ph.D.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na analýzu a modelování vybraných procesů v oblasti elektrotechnické výroby. Práce obsahuje popis struktury procesu a hlavních metodik procesního řízení. V další části diplomové práce je zpracována případová studie, která se zabývá analýzou a modelováním vybraných výrobních procesů ve firmě BRUSH SEM s.r.o. Dále je zde řešena optimalizace zaměřená na ergonomickou analýzu pracoviště a zlepšení vybraných výrobních procesů pomocí vhodných metodik. V závěru práce je na základě vyhodnocených výsledků vypracováno doporučení pro společnost BRUSH SEM s.r.o.

Klíčová slova

Proces, procesní řízení, Ishikawův diagram, Lean management, KAIZEN, KANBAN, POKA – YOKE, 5S, modelování, optimalizace, ARIS

Abstract

The presented thesis is focused on the analysis and simulation of processes in electrical production. The work contains a description of the process structure and main methodologies of process management. The subsequent part of the thesis is a case study that deals with the analysis and modeling of selected manufacturing processes in the company BRUSH SEM s.r.o. Then there is the optimization focused on ergonomic analysis of workplaces and improvement of selected manufacturing processes using appropriate methodologies. In the conclusion the recommendations for the company BRUSH SEM s.r.o. are drafted based on the assessed results.

Key words

Process, process management, Ishikawa diagram, Lean management, KAIZEN, KANBAN, POKA – YOKE, 5S, modeling, optimization, ARIS

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 6.5.2015

Bc. Andrea Benešová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Tupovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěla poděkovat Vladimírovi Kubíkovi a zaměstnancům firmy BRUSH SEM s.r.o. za vstřícné jednání, profesionální rady a umožnění přístupu k informacím.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 PROCESNÍ ŘÍZENÍ VE SPOLEČNOSTECH	12
1.1 HLAVNÍ VÝCHODISKA PRO ZAVEDENÍ PROCESNÍHO ŘÍZENÍ	12
1.2 STRUKTURA VÝROBNÍHO PROCESU	13
1.3 VÝROBNÍ PROCESY A JEJICH HIERARCHIZACE	14
1.4 ŽIVOTNÍ CYKLUS PROCESU	17
1.5 PRŮBĚŽNÁ OPTIMALIZACE PODNIKOVÝCH PROCESŮ	18
1.6 MODELOVÁNÍ PROCESŮ.....	18
2 PŘEHLED METOD PRO APLIKACI PROCESNÍHO ŘÍZENÍ	19
2.1 METODY PRO ANALÝZU PROCESŮ	19
2.2 METODY PRO OPTIMALIZACI.....	20
2.2.1 <i>Lean management a eliminace plýtvání (MUDA)</i>	20
2.2.2 <i>KAIZEN</i>	21
2.2.3 <i>KANBAN</i>	21
2.2.4 <i>POKA – YOKE</i>	22
2.2.5 <i>Metoda 5S</i>	22
2.3 METODY PRO MODELOVÁNÍ.....	23
3 PŘÍPADOVÁ STUDIE ZAMĚŘENÁ NA OPTIMALIZACI PROCESŮ V OBLASTI ELEKTROTECHNICKÉ VÝROBY	25
3.1 CHARAKTERISTIKA SPOLEČNOSTI BRUSH SEM S.R.O.	25
3.2 HLAVNÍ PŘEDMĚT PODNIKÁNÍ.....	26
3.3 ORGANIZAČNÍ SCHÉMA SPOLEČNOSTI	27
3.4 SWOT ANALÝZA	27
3.5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBNÍCH PROCESŮ DAX	28
3.5.1 <i>Popis výrobního procesu DAX 7</i>	31
3.5.2 <i>Popis výrobního procesu DAX 9</i>	43
3.6 PRŮMĚRNÁ DOBA TRVÁNÍ OPERACÍ PROCESŮ DAX 7 A DAX 9	52
3.7 MOŽNOSTI OPTIMALIZACE – ERGONOMICKÁ ANALÝZA PRACOVÍŠTĚ.....	53
3.7.1 <i>Ergonomická studie – metoda RULA</i>	54
3.7.2 <i>Ergonomická studie – vyhodnocení dotazníků</i>	58
4 DOPORUČENÍ PRO PRAXI	65
4.1 ERGONOMIE – NÁVRH NA ZLEPŠENÍ	65
4.2 VÝROBNÍ PROCESY DAX – NÁVRH NA ZLEPŠENÍ	66
4.2.1 <i>MUDA - Plýtvání materiálem</i>	67
4.2.2 <i>Průměrné doby trvání operací procesů – nápravná opatření</i>	67
4.2.3 <i>Rozšíření zavedené metodiky 5S</i>	67
4.2.4 <i>POKA – YOKE: Pracoviště izolování rovné části</i>	69
5 ZÁVĚR	71
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	73
PŘÍLOHY	75

Seznam symbolů a zkratk

Zkratka	Český název	Anglický název
ARIS	Architektura integrovaných informačních systémů	Architecture of Integrated Information Systems
DAX	Vzduchem chlazený turbogenerátor	
JIT	„Právě včas“	Just in time
RULA	Rychlé hodnocení horních končetin	Rapid Upper Limb Assessment
SWOT	Analýza silných a slabých stránek, příležitostí a ohrožení	Analysis of Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
eEPC	„Rozšířený model průběhu procesu“	extended Event-driven Process Chain

Úvod

Každý den se setkáváme s nejrůznějšími formami procesů a metodik procesního řízení, aniž bychom si to uvědomovali. Ať už se jedná o výrobní procesy různých společností nebo jen o pouhý nákup potravin v supermarketu, procesy jsou nedílnou součástí našich životů a z tohoto důvodu je velmi důležité snažit se o jejich neustálé zlepšování. Jenže proces zlepšování nelze realizovat, pokud nemáme dosavadní proces dobře zmapovaný. Tato myšlenka mne přivedla k tomu zamyslet se nad tím, jak fungují procesy a procesní řízení v praxi. Proto jsem se rozhodla vybrat si toto tematické zadání práce a zpracovat informace o vybraných výrobních procesech ve firmě BRUSH SEM s. r. o. Cílem diplomové práce je analyzovat a namodelovat vybrané výrobní procesy této společnosti.

V současné době se většina firem snaží o to, aby byla na trhu konkurenceschopná. Pokud by organizace nebyla konkurenceschopná, brzy by zkrachovala. Aby tomu mohla společnost zabránit, musí neustále nabízet výrobky nebo služby, které jsou kvalitní a za přijatelnou cenu pro zákazníka. Toto je důvodem pro zavedení procesního řízení v dané společnosti. Procesní řízení představuje soubor činností týkajících se plánování a sledování výrobních procesů nebo služeb. V dnešní hektické době platí pro velkou část firem heslo, že čas jsou peníze, proto se firmy snaží minimalizovat svoje náklady a zkrátit výrobní čas na minimum. Toho dosáhnou pouze tehdy, pokud budou mít dobře zmapovaný současný výrobní proces, aby ho mohly neustále zlepšovat a tím i dosáhly lepších výsledků.

Moje diplomová práce se zabývá především analýzou a modelováním výrobních procesů. Text je rozdělen do čtyř částí, z toho první dvě části jsou teoretické a zbylé dvě jsou zaměřeny na řešení tohoto problému v praxi. První část práce obecně popisuje proces a procesní řízení. Řeší se v ní, co je to proces a jeho struktura, dále se zabývá pojmem procesní řízení a kde se používá. Ve druhé části je uveden teoretický přehled vybraných metodik procesního řízení a jejich popis. Třetí a čtvrtá část je zaměřena na případovou studii, ve které je popsána společnost BRUSH SEM s.r.o., která se zabývá výrobou turbogenerátorů, a dále jsou zde popsány vybrané výrobní procesy.

Výrobní procesy, které byly vybrány pro analýzu a modelování, jsou výroba vzduchem chlazených turbogenerátorů DAX, a to typů DAX 7 a DAX 9. V praktické části je uvedena SWOT analýza, která řeší silné a slabé stránky společnosti, dále přehled vybraných výrobních procesů turbogenerátorů, který obsahuje popis procesu a jeho model přidané hodnoty vytvořený v programu ARIS Express, dále ergonomickou studii zaměřenou na hodnocení vybraného pracoviště za použití metodiky RULA a dotazníků subjektivního hodnocení a výsledky měření výrobního času vybraných procesů. V závěru práce je na základě vyhodnocených výsledků zpracováno doporučení společnosti BRUSH SEM s.r.o.

1 Procesní řízení ve společnostech

Pokud si výrobní společnost chce udržet svoje tržní místo, je potřeba se neustále přizpůsobovat a zdokonalovat, aby mohla čelit tlakům trhu, životního prostředí a technologickým změnám. Základním procesem pro prosperitu každé firmy je zpracování zakázky, která představuje určitý požadavek zákazníka na dodávku výrobku nebo služby. Z tohoto důvodu má v současné době procesní řízení velké uplatnění v elektrotechnické výrobě, neboť jsou zde kladeny vysoké nároky na kvalitu, spolehlivost a bezpečnost produktů. Zavedení procesního řízení napomáhá organizacím tyto nároky splňovat, navíc je procesní model součástí řady norem ISO 9000. [1]

1.1 Hlavní východiska pro zavedení procesního řízení

Pro pochopení důležitosti zavedení procesního řízení do organizace je potřeba vysvětlit rozdíl oproti funkčnímu řízení. Funkční řízení pramení z hypotézy, že se lépe řídí týmy lidí stejné profese, proto je společnost rozdělena na specializované týmy. Pro pochopení, jak funguje taková společnost, lze uvést jako příklad práci na projektu. Specializované týmy pracují na projektu pouze po určitou dobu a potom předají svůj výsledek jinému týmu. Mezi hlavní nevýhody tohoto řízení patří komunikační bariéry, postupně přecházející odpovědnost mezi jednotlivými vedoucími týmů, znalostní báze a možnost negativního ovlivnění celého systému v případě zdokonalení určitého týmu. V takové společnosti vznikají při změně procesu vysoké náklady a ztráta času, která je způsobena neustálým školením jednotlivých pracovníků. [6], [23]

Naproti tomu při zavedení procesního řízení dosáhne taková společnost uceleného procesu a tak může být práce snáze organizována a řízena než jako součet oddělených funkcí. Procesně řízený model není zaměřen na výkon jednotlivých činností odděleně, ale je orientován na výsledek všech činností firmy, tj. na hodnotu, kterou podnik přinese zákazníkovi. Tento zákazník je pak ochoten za tento výsledný produkt zaplatit. [1]

Při porovnání těchto typů řízení vyplývá jejich hlavní rozdíl, který ovlivňuje celkovou efektivitu společnosti, jde o způsob řízení procesů. Pokud jsou procesy vykonávány s minimálními ztrátami času a náklady, které vedou ke zvýšení kvality a spokojenosti

zákazníků, tak firma lépe prosperuje a snadněji plní i svoje poslání. Toto jsou i hlavní východiska pro zavedení procesního řízení do společností. [6] [9]

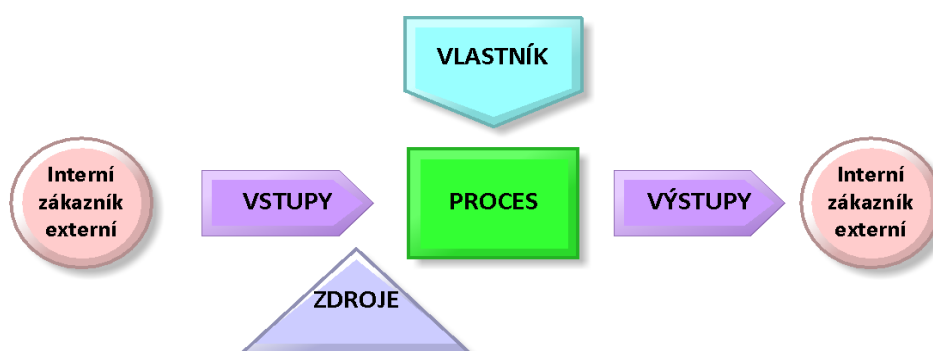
1.2 Struktura výrobního procesu

Pod pojmem proces si asi každý hned představí nějaký výrobní proces, ale tento pojem symbolizuje i procesy, se kterými se setkáváme každý den a pouze je tak nevnímáme. Existují různé druhy procesů jako přírodní, lidské a společenské procesy. Obecně je proces popisován jako soubor činností s určitý počtem vstupů, které jsou přeměněny na výstupy. Tyto výstupy mají pro zákazníka určitou hodnotu. [2], [15]

Jak již bylo řečeno, proces je definovaný jako soubor hierarchických činností s jedním nebo více vstupy, které jsou přeměněny na výstupy. [2], [15]

Každý proces je určen pomocí těchto atributů:

- *vstupy a výstupy procesu,*
- *zdroje procesu,*
- *hranice procesu,*
- *vlastník procesu,*
- *zákazník procesu.* [2], [15],[23]



Obrázek 1.1: Obecné schéma procesu (převzato z [2])

Každý proces má svého zákazníka, který je příjemce výstupu předchozího procesu. V našem případě zákazník reprezentuje osobu, organizaci nebo následný proces. Zákazník může být externí nebo interní. Externí zákazník je spotřebitel, který platí za konečný

produkt, tedy výstup a interní zákazník je zákazník uvnitř organizace. Dalším důležitým atributem jsou zdroje, vstupy a výstupy. Rozdíl mezi zdroji a vstupy je ten, že vstupy se spotřebovávají jednorázově na rozdíl od zdrojů. [2], [15], [17]

Zdroje se dále dělí na:

- *lidské,*
- *finanční,*
- *informační,*
- *infrastrukturu.* [2]

Hranice procesu stanovuje začátek a konec daného výrobního procesu. Majitelem procesu je taková osoba, která za daný proces zodpovídá. Tato osoba musí disponovat dostatečnou odpovědností a pravomocí. [2], [15]

1.3 Výrobní procesy a jejich hierarchizace

Pro přehlednost a zřetelnost jednotlivých částí celého procesu se používá hierarchizace. Hierarchizace podle složitosti procesu označuje uspořádání jednotlivých částí na různé úrovně. U procesů rozeznáváme pět základních úrovní:

- *krok,*
- *operace,*
- *činnost,*
- *subproces,*
- *proces.* [2]

Krok je prováděn jedním odborným pracovníkem, který vykonává časově souvislý pracovní výkon. Operace je pracovní úkon složený z kroků, která je opět vykonávána odborným pracovníkem. Činnost je nadřazená operaci, z toho vyplývá, že jde o ucelený sled pracovních úkonů, které jsou složeny z jednotlivých kroků a výstupem každé činnosti je měřitelný produkt nebo služba. Subproces představuje ucelený sled jednotlivých činností. Každý proces se skládá z jednotlivých subprocesů, které přidávají konečnému výstupu určitou přidanou hodnotu. [2]

Klasifikace procesů

Klasifikaci procesů lze provést podle různých hledisek, mezi základní tři hlediska patří:

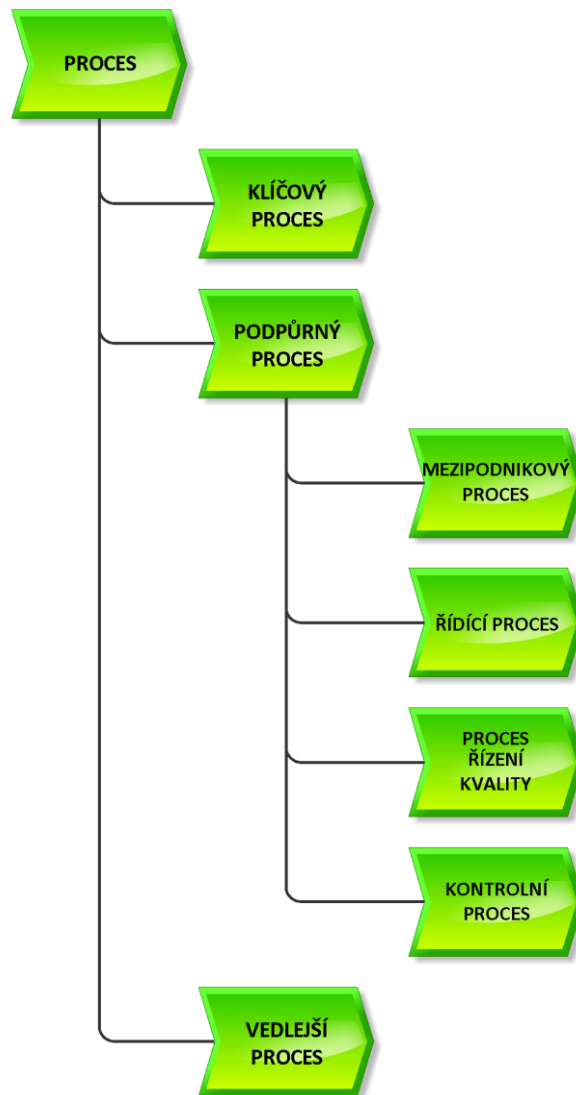
- **struktury procesu,**
- **funkčnosti,**
- **klíčivosti.** [2]

Funkčnost procesu určuje, zda se jedná o průmyslový, administrativní nebo o řídicí proces. Hlavní rozdíl mezi průmyslovým a administrativním procesem je ten, že u průmyslového procesu jsou vstupy hmotné věci, tzn. suroviny a výstupem je surovina, polotovar a zejména výsledný produkt. Administrativní proces je charakteristický tím, že jeho výstupem jsou sestavy, data nebo zákazníkům přímo využívané produkty jako například šeky, zprávy nebo datové soubory. Řídicí procesy se liší od předchozích dvou typů tím, že jeho vstupem a výstupem nejsou hmotné věci, tyto procesy slouží jako strukturované prostředky pro klíčová rozhodnutí. Jedná se tedy o proces využívání dat, která jsou důležitá pro realizaci rozhodnutí. [2], [17]

Procesy rozdělujeme dále podle jejich struktury na procesy datové (tvrdé) a znalostní (měkké). U tvrdého procesu nemůžeme zaměnit pořadí činností na rozdíl od měkkého procesu, u kterého záměna pořadí je možná. [2]

Nejdůležitější klasifikace procesů je podle klíčivosti a hodnotovosti procesu (viz obr. 1.2). Tyto procesy lze rozdělit na:

- **klíčové procesy,**
- **podpůrné procesy,**
 - **řídicí proces,**
 - **kontrolní proces,**
 - **mezipodnikový proces,**
 - **proces řízení kvality,**
- **vedlejší proces.** [2], [9], [17]



Obrázek 1.2: Klasifikace procesu podle klíčivosti (převzato z [2])

Klíčový proces nebo také hodnototvorný proces se vyznačuje tím, že v jeho průběhu vzniká klíčová přidaná hodnota vedoucí k uspokojení potřeb zákazníka. Podpůrné procesy slouží jako podpora pro klíčové procesy, které by bez podpůrných procesů nemohly fungovat. Představují totiž aktivity společnosti, které neprodukují zisk. Vedlejší procesy se dále mohou rozdělovat na procesy vyžádané shora nebo dočasné procesy. Jedná se o procesy, které se vykonávají uvnitř firmy a zajišťují ostatním firemním procesům produkt jako například propagace, účetnictví nebo průzkumy. [2]

Mezi další hlediska rozdělení procesů patří:

- *doba existence procesu,*
 - *trvalé procesy,*
 - *dočasné procesy,*

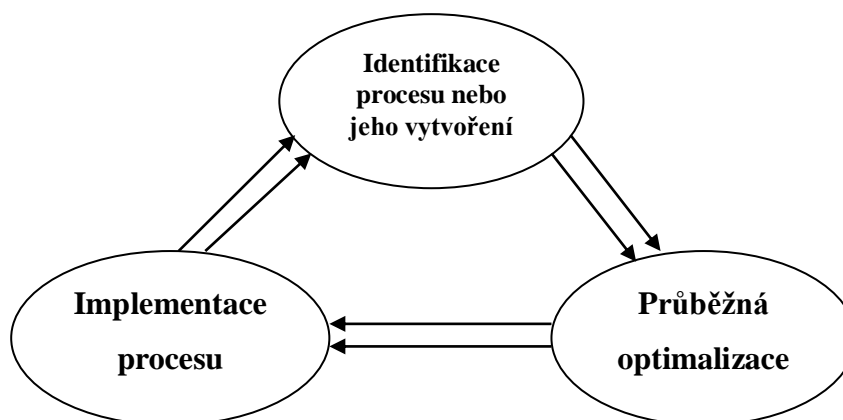
- **opakovatelnost procesu,**
 - *procesy s vysokou opakovatelností,*
 - *procesy s nízkou opakovatelností,*
- **strategické hledisko,**
 - *strategické,*
 - *taktické,*
 - *operativní.* [2]

1.4 Životní cyklus procesu

Každý proces musí mít svého majitele a zákazníka, kteří mají z něho nějaký užitek. Zákazník zajišťuje svým nákupem plnění vytyčených cílů daného podniku. Protože se potřeby zákazníků neustále mění, tak je důležité, aby se majitel o svůj proces staral, tzn. trvale proces optimalizovat. Je tedy nutné minimálně jednou ročně daný proces revidovat a neustále se snažit o jeho zlepšení zvýšením jeho produktivity. Je možné proces i zrušit a to pokud by nastala situace, že by se stal pro podnik neúčinným. [2], [17]

Etapy životního cyklu procesu:

- *návrh procesu,*
- *implementace procesu,*
- *průběžná optimalizace procesu.* [2]



Obrázek 1.3: Životní cyklus procesu (převzato z [2])

1.5 Průběžná optimalizace podnikových procesů

Průběžná optimalizace podnikových procesů je nedílnou součástí pro rozvoj chodu firmy a tím i zvýšení její konkurenceschopnosti na současném trhu. Tento druh optimalizace je důležitý pro trvalé přizpůsobení se změnám, které probíhají uvnitř a vně podniku. Aby byla společnost schopna svoje procesy optimalizovat, je potřeba popis současného stavu a potom stanovit základní ukazatele k měření. Mezi tyto sledované metriky náleží výkonnost a efektivita. Z hlediska výkonnosti se hlavně zjišťují informace o splnění potřeb zákazníka, časech a průchodnosti. Údaje o efektivitě se zaměřují na všechny typy zdrojů, který jsou spotřebovány během procesu. Pro identifikování příležitostí ke zlepšení je potřeba soustavného sledování a měření provozu. Konečnou fází potom tvoří návrh na zlepšení, jeho následná implementace a zdokumentování. Dokumentace zavedených změn je důležitá pro následnou optimalizaci a tím i opakování celého cyklu. Pro přehlednost je na *obrázku 1.4* tento cyklus znázorněn. [1], [2]



Obrázek 1.4: Základní kroky průběžné optimalizace (převzato z [1])

1.6 Modelování procesů

Modelování je důležitý vizuální nástroj, jehož cílem je vytvoření grafického modelu, který představuje obecné zobrazení reality. Procesní modely tedy zobrazují strukturovaně uspořádané informace o společnosti, které slouží pro podporu procesního řízení a jsou využívány kvůli přehlednosti a možnosti popisu daného procesu. Identifikace procesů v organizaci a následné vytvoření jejich grafického modelu jsou totiž klíčové prvky pro optimalizaci. S tím úzce souvisí i pojem procesní mapa. Procesní mapa je vlastně zobrazení všech procesů daného podniku za pomoci softwarových produktů sloužících pro modelování, která přispívá ke znázornění vazeb mezi jednotlivými procesy. Současná doba nabízí velké množství nástrojů, které se používají pro tuto činnost. Nejznámější metodikou a zároveň i nástrojem je systém ARIS. [16]

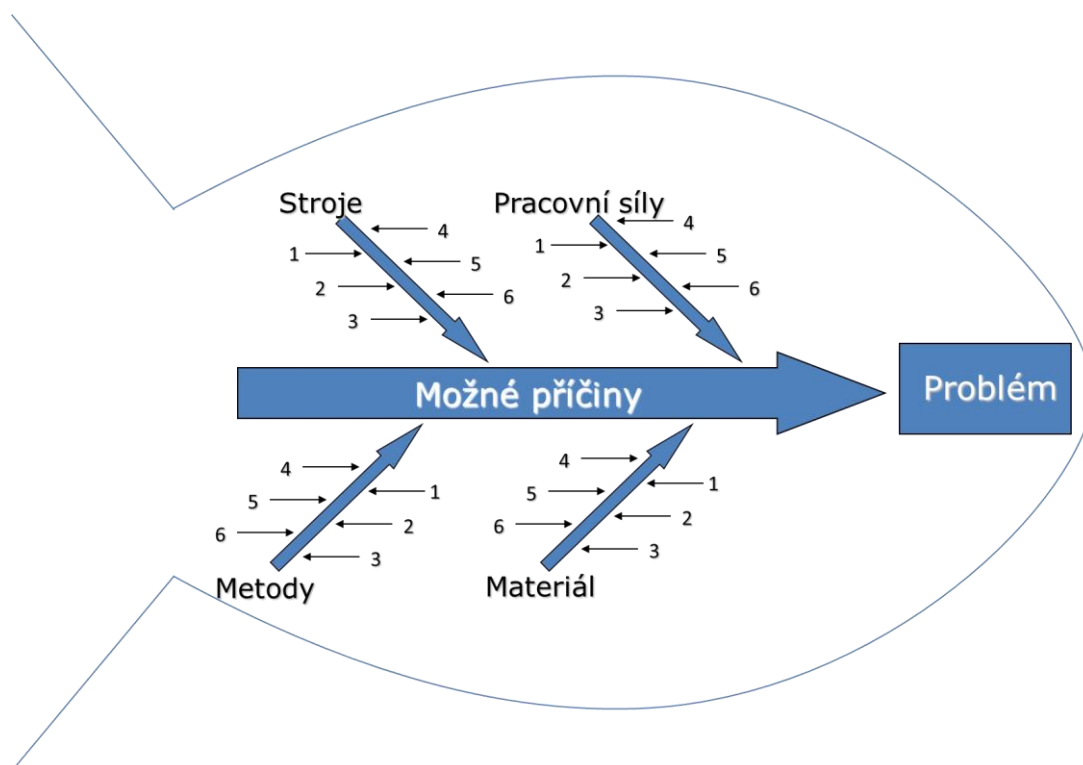
2 Přehled metod pro aplikaci procesního řízení

Existuje nespočetné množství publikací, které se zabývají touto problematikou. Z tohoto důvodu bude v kapitole uveden pouze přehled nejznámějších nástrojů procesního řízení používaných pro analýzu, optimalizaci a modelování procesů, které byly zároveň použity nebo zmíněny v praktické části. Je důležité si uvědomit, že většina těchto metodik se mezi sebou vzájemně prolíná.

2.1 Metody pro analýzu procesů

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole 1.3 a 1.4, je analýza nedílnou součástí životního cyklu procesu, která předchází fázi optimalizace. Během analýzy současného stavu je nutný popis daného procesu, určení základních ukazatelů pro měření a následné sledování provozu. Ishikawův diagram je nástroj, který slouží pro určení příčin a následků a zároveň je to jeden ze sedmi nástrojů pro zlepšování kvality. Lze ho tedy použít a zařadit i mezi metody pro optimalizaci.

Tento diagram je známý spíše pod pojmem diagram příčin a následků nebo diagram rybí kosti. Jedná se o jednoduchý nástroj, jehož cílem je analyzovat a určit hlavní příčiny řešeného problému. Lze ho použít zpětně nebo pro preventivní určení a eliminace možných příčin. Jednotlivé příčiny a subpříčiny se hledají pomocí brainstormingu a metody 5× Proč a přiřazují se k jedné ze základních kategorií. Těchto kategorií bývá zpravidla šest, někdy jsou označovány jako 6M (postup, výrobní zařízení, lidé, materiály, měření a prostředí). Na *obrázku 2.1* je zobrazeno, jak takový diagram vypadá. [11]



Obrázek 2.1: Diagram příčin a následků [20]

2.2 Metody pro optimalizaci

Současná doba poskytuje nezměrné množství optimalizačních metod, ze kterých byly vybrány a uvedeny pouze některé z nejčastěji používaných pro optimalizaci výroby v elektrotechnickém průmyslu. Mezi nejznámější metodiky pro tuto oblast patří lean management, KAIZEN, KANBAN, POKA – YOKE a metoda 5S.

2.2.1 Lean management a eliminace plýtvání (MUDA)

Aby společnost prosperovala, je potřeba udržet si tempo se současným vývojem na trhu a zaměřit se na individuální potřeby zákazníků. V případě nespokojenosti si totiž zákazník může vybrat z velkého množství konkurence nabízející stejný produkt. Lean management, tzv. štíhlá výroba je metoda, jejíž prioritou je snaha maximálně uspokojit veškeré požadavky zákazníka. Pro dosažení tohoto cíle je nezbytně nutné zamezit plýtvání ve výrobě. [10],[15], [19]

MUDA je japonský výraz používaný pro eliminaci plýtvání, který definuje 7 hlavních zdrojů plýtvání – nadprodukcí, nadbytečné zpracování, zbytečné pohyby, časové prodlevy, zbytečná doprava, vady a nadbytečné zásoby. Minimalizací těchto druhů plýtvání lze zvýšit produktivitu a zkrátit dobu dodání výrobku zákazníkovi. [7]

Podstatou lean managementu je nejen orientace na potřeby zákazníků, ale i výroba kvalitních výrobků s nízkými náklady. Proto je důležité, aby se podnik řídicí touto filozofií zaměřoval na procesy s vysokou přidanou hodnotou, u kterých musí být zajištěno rychlé časové provedení za nízké náklady. Štíhlá výroba pro splnění těchto nároků používá nástrojů, jako je KANBAN, KAIZEN, JIT, POKA – YOKE, 5S a mnoho dalších. [10], [15]

2.2.2 KAIZEN

Jedná se o metodu pocházející z Japonska, jejíž hlavním principem je neustálé zlepšování, při kterém jsou zapojeny všechny osoby působící napříč celou společností. Základem filozofie je neustálé zlepšování procesů a služeb po malých krocích za účelem zvýšení kvality a produktivity, snížení nákladů a motivace pracovníků. Důležitost zapojení zaměstnanců spočívá nejen v rozvoji jejich schopností řešit problémy a naučit se pracovat v týmech, ale jejich znalosti o daných procesech jsou nezbytné. V podstatě je tato metoda založena na názoru, že nic není dokonalé a tudíž je vždy co zlepšovat. Protože jde o systém neustálého zlepšování stávajících procesů, tak využívá tato metoda další nástroje používané pro optimalizaci, zejména KANBAN a JIT. [7]

2.2.3 KANBAN

Slovo KANBAN pochází z japonštiny a v překladu znamená kartu nebo štítek. Základním principem metody KANBAN je optimální plánování skladových zásob. To znamená včasné dodání materiálu v závislosti na jeho spotřebě výrobním procesem. Aby bylo dodání materiálu provedeno, je potřeba vyplnit kanbanovou kartu, kterou si mezi sebou předají dvě pracoviště, například výroba a sklad. Na příslušné pracoviště pro doplnění materiálu se odevzdá kromě kanbanové karty i prázdný zásobník. [7], [10], [18]

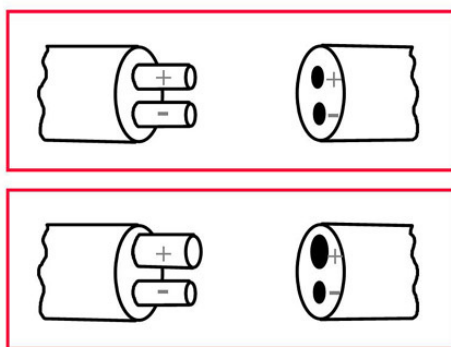
Obsah kanbanové karty:

- *označení materiálu,*
- *požadované množství,*
- *místo pro doplnění,*
- *číslo kanbanové karty,*
- *vizuální ukázka materiálu. [25]*

Mezi hlavní výhody pro zavedení systému KANBAN patří minimalizace kapacity skladu, plynulost výroby a předcházení plýtvání materiálem. [7], [10], [18]

2.2.4 POKA – YOKE

Název metody POKA – YOKE je složen z dvou japonských slov, které lze přeložit jako odolnost vůči chybám. Tuto metodu lze rozdělit na konstrukční a procesní. U konstrukčního POKA – YOKE se jedná se o vysoce spolehlivé a nízkonákladové opatření zabráňující vzniku vad. Procesní POKA – YOKE umožňuje vykonání určité činnosti pouze jedním možným způsobem. Důvody pro zavedení jsou hlavně předcházení selhání lidského faktoru a tím i zabránění vzniku chyb. Jako nejznámější opatření této metody lze uvést USB kabel nebo zapojení konektorů, které je znázorněno na *obrázku 2.2.* [8]



Obrázek 2.2: Opatření POKA – YOKE pro zapojení konektorů [8]

2.2.5 Metoda 5S

Tato metodika je základem zlepšovacích činností a je zaváděna do organizací s cílem zlepšit pracovní prostředí a tak i zvýšit kvalitu výrobku. Vývoj technologií, neustále se zvyšující požadavky zákazníků na kvalitu výrobků nebo nárůst konkurenčních firem, to jsou hlavní důvody pro zavedení metodiky 5S do organizace. Tato metoda se nejen používá pro zlepšení pracovního prostředí, které vede k zvýšení bezpečnosti práce, ale i pro včasné plnění zakázkových termínů nebo k snížení nákladů. Dále vede k zvýšení samostatnosti lidí a čistotě na pracovišti. Při respektování pěti základních pilířů metodiky dochází také k celkovému zjednodušení práce. Zkratka 5S je tvořena z pěti japonských slov se začátečním písmenem S, které zároveň reprezentují jednotlivé pilíře. [5]

Pět pilířů metody 5S:

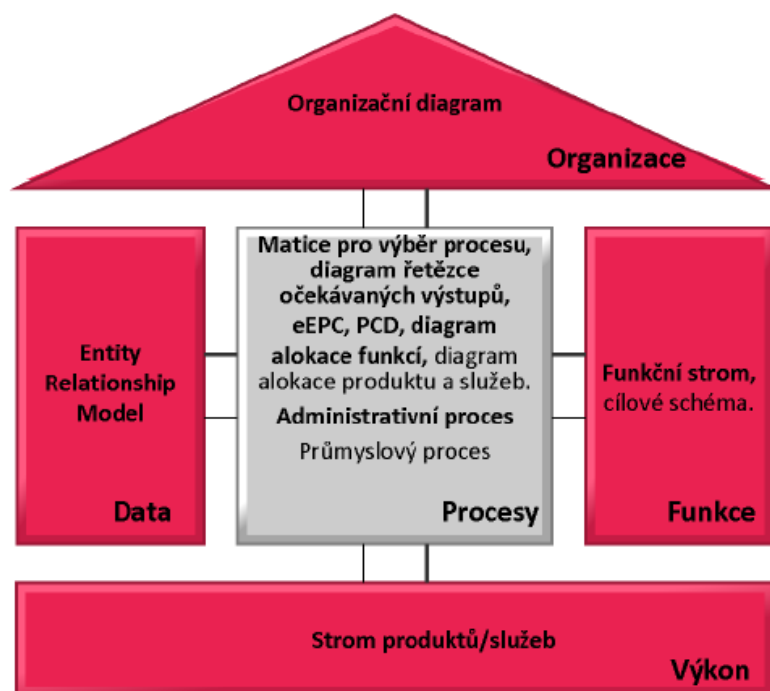
- *Seiri (rozdělit),*
- *Seiton (seřadit),*
- *Seiso (uspořádat),*
- *Seikutsu (zdokumentovat),*
- *Shitsuke (dodržovat). [5]*

2.3 Metody pro modelování

Základní rozdělení modelů je symbolické, síťové a objektové. Podle způsobu tvorby jednotlivých modelů lze rozdělit metody modelování do dvou základních skupin. První skupina vychází z referenčních modelů, druhá se zaměřuje spíše na důkladné zmapování podniku.

Pro modelování procesů se na trhu vyskytuje celá řada softwarových produktů, které lze rozdělit do dvou základních skupin - systémy na podporu plánování a řízení projektů a produkty CASE. Z tohoto důvodu byl vybrán pro charakteristiku a zpracování modelů výrobních procesů v této diplomové práci pouze systém ARIS. Jedná se o špičkovou metodiku pro modelování sloužící zároveň i jako metoda pro analýzu procesů, která je podpořena softwarovým produktem. [1], [9]

Tento softwarový produkt představuje nejen metodiku, ale zároveň nástroj, který se používá za účelem vytvoření dynamických modelů. Tyto dynamické modely se využívají pro celou řadu činností, ale především tvoří součást řady norem ISO 9000. Široké spektrum funkcí poskytuje možnost analyzovat, optimalizovat a dokumentovat data, podnikové procesy nebo organizační struktury. ARIS obsahuje nejlepší nástroj pro modelování a průběžné zlepšování procesů nazývaný ARIS Toolset, s jehož pomocí lze vytvořit model firemní reality. Diagramy a modely vytvořené v tomto softwaru jsou velmi názorné a přehledné. Lze je rozdělit podle pěti základních pohledů – organizační, datový, funkční, procesní a výkonový pohled. Mezi tři nejpoužívanější a nejznámější modely lze zařadit – organigram, eEPC model a model tvorby přidané hodnoty. [1] [9] [16]



Obrázek 2.3: Základní pohledy a modely metodiky ARIS (převzato z [16])

3 Případová studie zaměřená na optimalizaci procesů v oblasti elektrotechnické výroby

Pro případovou studii byl vybrán podnik BRUSH SEM s.r.o., který má sídlo v Plzni. Tato kapitola se zaměřuje na základní údaje o této společnosti a analýzu současného stavu výrobních procesů. Pro zpracování těchto údajů byly použity interní materiály společnosti. Cílem případové studie bylo zhodnotit současný stav výrobních procesů satorových tyčí DAX a případně navrhnout změny vedoucí ke zlepšení těchto procesů.

Postup řešení případové studie byl následovný – určení charakteristiky společnosti, provedení analýzy současného stavu vybraných výrobních procesů a analýzy ergonomických rizik pracoviště izolování základu. V rámci případové studie byly použity tyto metodiky výzkumu – pozorování, měření, analýza, rešerše, tvorba modelu přidané hodnoty, dotazníky a metodika RULA.

3.1 Charakteristika společnosti BRUSH SEM s.r.o.

BRUSH SEM s.r.o. je podnik s dlouholetou tradicí. Historie společnosti začíná roku 1922 založením Elektrotechnické továrny Doudlevice v rámci koncernu ŠKODA. V roce 1924 byl zde vyroben první turbogenerátor pro Městské elektrické podniky Praha, který měl výkon 17,5 MVA. Roku 1994 byl vyroben turbogenerátor pro jadernou elektrárnu Temelín, který dosahoval výkonu 1 111 MVA.



Obrázek 3.1: Logo společnosti BRUSH SEM s.r.o. [3]

Oficiálně vznikla firma BRUSH SEM s.r.o. roku 2001 jako akvizice společností FKI Plc a v roce 2008 se stala akvizicí společností Melrose Plc. V současné době má společnost BRUSH SEM s.r.o. hlavní sídlo v Plzni a je světově známá jako výrobce turbogenerátorů. Již přes deset let je společnost součástí skupiny BRUSH Turbogenerators. Výrobní závody této divize nalezneme po celém světě - ve Velké Británii, Nizozemsku, České republice a nově i v Číně. [4]

Posláním společnosti je výroba turbogenerátorů vlastní výroby a vizí je 100% spokojenost všech zainteresovaných stran, to znamená zákazníků, akcionářů a zaměstnanců. V současné době je cílem upevnit si pozici největšího a nezávislého výrobce turbogenerátorů ve svém segmentu. Z toho vyplývá i obchodní strategie, kterou je zaměření na potřeby zákazníka. Celofiremní strategií je zeštíhlit výrobní procesy, dosahovat růstu produkce a tím zvýraznit konkurenceschopnost společnosti na současném energetickém trhu.

Společnost vyznává tyto hodnoty:

- *spokojenost zákazníka,*
- *kvalitní produkty,*
- *inovativnost,*
- *výkonnost a spokojenost pracovníků. [3]*

3.2 Hlavní předmět podnikání

Podnik BRUSH SEM s.r.o. se zabývá výrobou turbogenerátorů. Specializuje se na výrobu turbogenerátorů, které jsou chlazeny vzduchem, vodíkem nebo vodíkem a vodou. Turbogenerátory chlazené vodíkem dosahují většího výkonu a napětí než ty, které jsou chlazené vzduchem. Tento výkon se pohybuje v rozmezí 250–1300 MVA a napětí 15 až 24 kV. Využívají se pro tepelné a jaderné elektrárny.

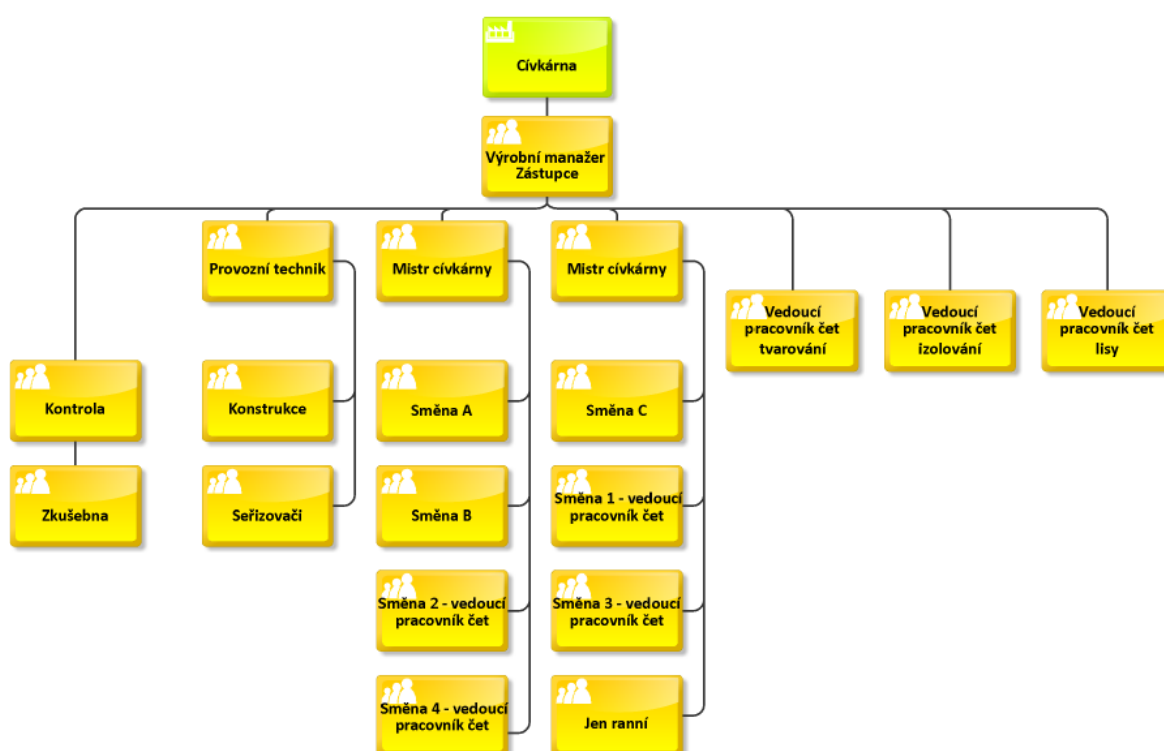
Základní rozdělení turbogenerátorů společnosti BRUSH SEM s.r.o.:

- *vzduchem chlazené,*
 - *DAX 6 & DAX 7,*
 - *DAX 8, DAX 9 & DAX 10*
- *chlazené vodíkem nebo vodíkem a vodou.*

Vzduchem chlazené turbogenerátory DAX jsou vyráběny v několika typových řadách, které se liší ve výkonu, napětí a aplikaci. První řada se používá pro průmysl, námořní lodě nebo pro spalovny a tepelné elektrárny. Jejich výkon dosahuje 30–100 MVA, napětí se pohybuje mezi 6,3 až 13,8 kV. Druhá řada se kvůli vyššímu výkonu 80-300 kV používá pro plynové, tepelné a solární elektrárny. Napětí těchto turbogenerátorů se pohybuje v rozmezí od 10,5 až 19,0 kV. [4]

3.3 Organizační schéma společnosti

Společnost BRUSH SEM s.r.o. je součástí skupiny BRUSH Turbogenerators, tato divize má výrobní závody ve Velké Británii, Nizozemsku, České republice a Číně. Organizační struktura společnosti je velmi členitá a složitá. Jako každá firma má BRUSH SEM s.r.o. několik hlavních částí, mezi které patří obchod, nákup, aftermarket, kvalita, engineering, výroba a personalistika. Výroba se dále dělí na jednotlivé úseky a to obrobna, navijárna, cívkárna, montáž, svařovna, lisovna a měďárna. Každý z těchto úseků má svoji organizační strukturu, která má hlavního manažera, mistry, vedoucí pracovníky čet a pracovníky. Na *obrázku 3.2* je zobrazena organizační struktura pro výrobní úsek cívkárna.



Obrázek 3.2: Organizační struktura BRUSH SEM s.r.o. – úsek Cívkárna (zdroj: vlastní zpracování – ArisExpress dle [3])

3.4 SWOT analýza

Zde je uvedena stručná analýza současné situace podniku BRUSH SEM s.r.o. Analýza byla provedena na základě informací, které jsem o společnosti zjistila a také na vlastních zkušenostech, které jsem získala během mé spolupráce s touto firmou.

Strengths (silné stránky)

- Dlouholetá tradice výroby
- Konkurenceschopnost
- Výroba a konstrukce turbogenerátorů nad 1 200 MVA (Temelín)
- Kvalitní výrobky

Weaknesses (slabé stránky)

- Starší výrobní stroje – ovíjecí stroje Ridgway
- Starší verze softwaru ERP
- Ergonomie - velice náročná práce pro zaměstnance, žádná změna

Opportunities (příležitosti)

- Nové výrobní stroje – ovíjecí stroje
- Rozšíření podniku do Jižní Ameriky nebo severní Evropy
- Změna softwaru ERP
- Zahraniční stáže pro všechny zaměstnance
- Větší spolupráce s VŠ v rámci praxe pro studenty

Threats (hrozby)

- Nekvalifikovanost zaměstnanců na nové technologie
- Dodavatelé – méně kvalitní materiál pro výrobu
- Krize a kurzová rizika

3.5 Analýza současného stavu výrobních procesů DAX

Nejprve je důležité podotknout, že tato společnost se řídí filozofií metody KAIZEN, to znamená, že se snaží o neustálé zlepšování svých současných procesů a dodržování již nastavených standardů. V rámci metodiky KAIZEN je zde zavedena další velmi známá metoda, která slouží pro optimální plánování skladových zásob, jedná se o metodu KANBAN. Ve výrobní hale cívkárny je umístěn sklad, ve kterém jsou uskladněny náhradní bubny s navinutými vodiči pro jednotlivé typy statorových tyčí. Na *obrázku 3.3* jsou zobrazeny různé typy kanbanových karet, které je zde možné nalézt. Tyto karty se barevně rozlišují dle typu vyráběných tyčí.



Obrázek 3.3: Kanbanové karty podle typu vyráběných tyčí

V případě, že na pracovišti stříhání dochází zásoba vodičů, je vedoucími pracovníky čet nebo zaměstnancem, který dohlíží na operaci stříhání, vystavena tato karta a umístěna do zakladače u vstupních dveří skladu. Tato metodika se bohužel nevztahuje na izolační materiál, ten je vydáván pomocí tzv. výdejek.



Obrázek 3.4: Zakladač pro vyplněné kanbanové karty

Pro analýzu současného stavu výroby byly vybrány výrobní procesy statorových tyčí, které se používají pro turbogenerátory chlazené vzduchem, tedy pro turbogenerátory řady DAX. Jelikož jsou tyto turbogenerátory vyráběny ve dvou typových řadách, byla provedena analýza výrobních procesů statorových tyčí pro řady DAX 7 a DAX 9. Postup

jejich výrobních procesů je podobný, ale v některých částech se liší. To je způsobené rozdílným použitím pro praxi, z tohoto důvodu jsou jiné i základní parametry.

Proces výroby satorových tyčí probíhá ve výrobním úseku cívkárna. Cívkárna je umístěná v samostatné hale, ve které jsou rozmístěna jednotlivá stanoviště výroby (stříhání, tvarování, izolování základu, vytvrzení základu, ovíjení hlavní izolace, vytvrzení hlavní izolace a zkušebna). Dále zde nalezneme sklad materiálu, robota pro izolování hlavní izolace a roebel. Zaměstnanci cívkárny pracují v 3-4směnném provozu na výrobě těchto tyčí a každá z vyrobených tyčí musí projít veškerými stanovišti. Umístění těchto stanovišť není pokaždé úplně stejné, protože je nutné jejich rozmístění měnit v závislosti na obdržení zakázek. Tyto změny rozmístění provádějí vedoucí pracovníci, jejich úkolem je zajistit, aby byla připravená veškerá pracoviště pro právě vyráběnou zakázku. Každá z hlavních oblastí výroby satorových tyčí má svého vedoucího pracovníka – pro izolování, tvarování a lisy.

Údaje o tom, kdo je odpovědný za jednotlivé provedené úkony při výrobě satorové tyče, se zaznamenávají na identifikační štítek, který po celou dobu doprovází danou tyč až na zkušebnu, kde dochází k jeho archivaci. Pro lepší rozpoznávání se zaměstnanci nepodepisují formou vlastních podpisů, ale jsou uváděni pod čísly.

Zak. č.:

Tyč. č.:

Oprava: ne, 1, 2, 3

Materiály		
Vodič		
Izol. zákl. r.č.-H8 (H9)		
Izol. zákl. r.č.-A4 1.ovin		
Izol. zákl. r.č.-A4 2.ovin		
Izol. zákl. čela-A4		
Izol. zákl. čela-B6		
Izol. hlavní čela A4		
Izol. hlavní čela B6		
Izol. hlavní čela A6		
Koncová vrstva A1/F2		
Izolace r.č.-H8 (H9)		
Izolace r.č.-A5		
Ochrana proti kor. r.č. E8		
Ochrana proti kor. čela E6		
Výrobní operace I.		
	Datum	Jméno
Tvaroval		
Opravoval vodiče		
Izoloval základ		
Dotvaroval základ		
Vytvrzoval základ		

Zkoušky	Protokol	Datum	Zkoušel
Dutiny základu			
Rozměry základu			
Lamel. zkratky			
Dutiny po hlavní iz. čel			
Rozm. s oviny			
Rozm. vytvrz.			
Dutiny hlav. izol.			
tg δ			
Uzk			
Lamel. zkratky			
Výrobní operace II.			
Izoloval čela			
Dotvaroval čela			
Izoloval r.č.			
Vytvrzoval r.č.			
Ovin PKO			

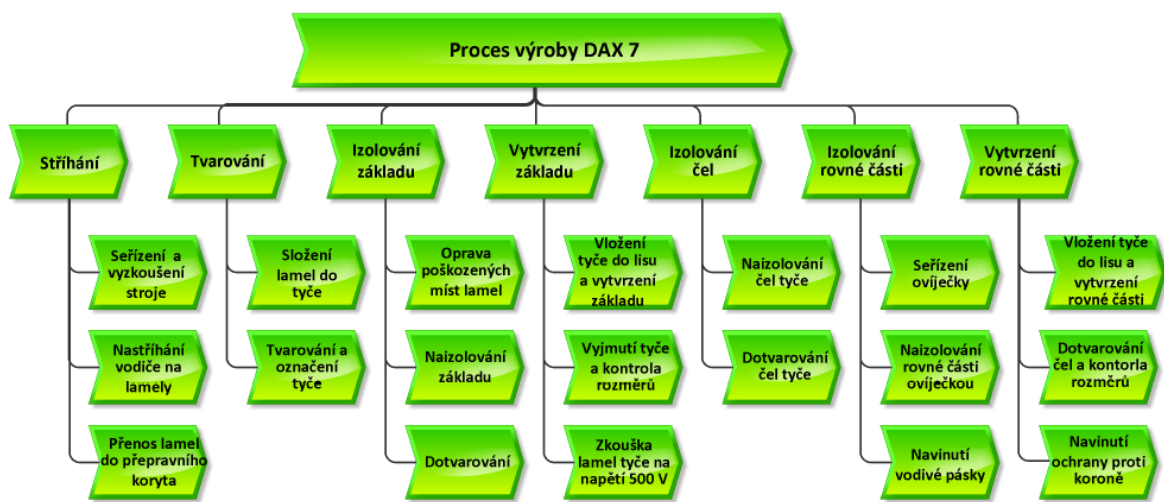
Obrázek 3.5: Identifikační štítek pro zaznamenávání provedených operací [3]

Zaměstnanci prozatím nemají k dispozici na jednotlivých pracovištích plánek s výrobním postupem. Na tvorbě těchto návodů se v současnosti pracuje. Do této doby byli nově přijatí zaměstnanci seznámeni s průvodkou výrobního postupu a zaučováni vedoucími pracovníky čet. Pro lepší orientaci nových zaměstnanců v používaném izolačním materiálu je v cívkárně umístěna nástěnka s popisy vzorků jednotlivých izolací.



Obrázek 3.6: Nástěnka s přehledem izolačních materiálů

3.5.1 Popis výrobního procesu DAX 7



Obrázek 3.7: Proces výroby DAX 7 (zdroj: vlastní zpracování – ArisExpress dle [3])

Před zahájením výroby statorových tyčí mají vedoucí pracovníci čet za úkol připravit potřebná pracoviště. Pojem připravit znamená určit jejich rozmístění po hale a dále zajistit veškerý materiál, pracovní a ochranné pomůcky potřebné při práci a to po celou dobu

výroby. Celý proces začíná na pracovišti stříhání, kde se nachází stříhačka, která slouží pro stříhání vodičů na lamely určité délky za současného očištění konců od izolace. Je nutné, aby seřizovači stroj nejprve seřídili a vyzkoušeli. Pokud je všechno v pořádku, tak může určený pracovník zahájit svoji práci.



Obrázek 3.8: Pracoviště pro stříhání materiálu

Se stříhačkou může manipulovat pouze kvalifikovaný zaměstnanec, jehož náplní práce je nastavování programu pro stříhání a zabezpečit údržbu a chod stroje. Na obrázku 3.9 je displej stříhačky, na kterém lze navolit různé parametry, podle typu satorové tyče. Na stříhačce je také umístěna návodka na bezpečnou údržbu, která je velice důležitá pro chod stroje.



Obrázek 3.9: Displej a návodka stříhačky ET 126

Po volbě programu začne stroj automaticky pracovat, je možné ho během jeho výkonu přerušit a zastavit, například pokud pracovník potřebuje vyměnit buben s navinutým

vodičem. Pokud se jedná o nově nasazený buben, tak je část vodiče stříhačkou ustřižena a zaměstnanec ji umístí do koryta určeného pro zbytky vodiče, to platí i pro koncové vodiče bubnu. Zbytky vodičů se ještě využívají při výrobě vývodů a transpozičních spojek. Během chodu pracovník průběžně sleduje stav vodiče a nastříhané lamely po určitém počtu přenáší a rovná do přepravního koryta.



Obrázek 3.10: Přepravní koryto

Tabulka 3.1: Analýza procesu stříhání DAX 7

Stříhání				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
požadavek na novou zakázku DAX 7	seřízení a vyzkoušení stříhačky	připravený stroj	lidské, nářadí, elektrická energie	presnost stříhání
buben s navinutým vodičem	stříhání	lamely	lidské, stříhačka, bubny s navinutými vodiči, elektrická energie	čas
lamely	přenos lamel do přepravního koryta	naplněné přepravní koryto	lidské, přepravní koryto	délka a očištění konců lamel

Přepravní koryto se po jeho naplnění přesune pomocí jeřábu na pracoviště tvarování. Ve většině případů se na tvarování podílejí dva pracovníci, kdy se rozdělí a každý dělá na jedné straně tyče. Při nedostatku zaměstnanců je možné, aby tvaroval pouze jeden pracovník celou tyč. Než začnou s tvarováním, je nutné nastříhané lamely srovnat do tyče.

Složení do tyče probíhá na speciálním stole, na kterém jsou tvarovače. Na stůl zaměstnanci skládají na sebe čtyřikrát po sobě čtyři lamely, aby vytvořily tyč o šestnácti lamelách, potom tyč na několika místech provizorně svážou tkaninou a konce podle tvarovačů ohnou, aby se vytvořily siluety čel.



Obrázek 3.11: Pracoviště pro srovnání lamel

Po vykonání těchto činností je tyč přenesena pomocí jeřábu do tvarovacího přípravku. Z bezpečnostních důvodů musí nosit všichni zaměstnanci při práci s jeřábem na hlavě helmy. V tvarovacím přípravku se tyč upevňuje speciálními upevňovači.



Obrázek 3.12: Tvarovací přípravek

Aby se zabránilo poškození v místech ohybu, pracovníci tato místa proloží nomexovými vložkami. Po upevnění tyče se ještě před tvarováním čel vyznačí střed rovné

části. Když jsou všechny předchozí úkony dokončeny, mohou pracovníci začít s tvarováním čel.



Obrázek 3.13: Pomocné nástroje pro tvarování

Tabulka 3.2: Analýza procesu tvarování DAX 7

Tvarování				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
přepravní koryto s lamelami	svázání a vyznačení středu lamel	svázané lamely do tyče	lidské, tkanina, tvarovací přípravek	počet lamel v tyči
svázané lamely do tyče	přenos do tvarovacího přípravku	založené lamely v tvarovacím přípravku	lidské, jeřáb, tvarovací přípravek	čas
založené lamely v tvarovacím přípravku	upevnění a ochrana ohybů nomexovými vložkami	připravené lamely k tvarování	lidské, nomexové vložky, tvarovací přípravek	čas
připravené lamely k tvarování	tvarování	vytvarované a svázané lamely do tyče	lidské, tvarovací přípravek, náradí	čas
vytvarované a svázané lamely do tyče	označení tyče	označené a vytvarované lamely do tyče	lidské, lak	čas

Po vytvarování čel se tyč uvolní z upevňovačů, pracovníci ji svážou na několika místech tkanicí, označí z boku a vyplní identifikační štítek, který uvážou k tyči. Následně ji

přemístí pomocí jeřábu na stojan. Za jednu směnu zaměstnanci vytvarují zhruba 8-10 tyčí, ale záleží na okolnostech.

Ze stojanu se tyče přesouvají pomocí jeřábu na pohyblivý stojan, který tvoří jednu z částí pracoviště izolování základu. Zbylé části pracoviště tvoří speciální stojan pro tyče DAX 7 a tvarovací přípravek. Protože při tvarování dochází i přes vložené vložky k mírným poškozením míst v ohybech, jsou povinni pracovníci izolování nejdříve provést zesílení těchto míst. Zaměstnanci před tímto úkonem odstraní provizorní tkanici, aby měli snazší přístup k jednotlivým lamelám. Zesílení se provádí v ohybu tyče na každé druhé lamele omotáním pásky E23. Po zesílení ohybů jeden z pracovníků provede vizuální kontrolu celé tyče, pokud nalezne další defekt, opraví ho s použitím pásky L76. Po provedení těchto operací se tyč opět sváže na několika místech tkanicí a je přenesena do stojanu pro izolování základu.

Jeden z pracovníků nejprve srovná lamely tyče pomocí speciálního kladívka, označí pomocí pravítka místa, od kterých se provádí izolování pomocí jednotlivých pásek a ovine celou rovnou část páskou H9. Potom pracovníci proloží lamely páskami, upevní konce tyče do speciálních stojanů, které slouží pro připojení k transformátoru a toto propojení umožní ohřev tyče na teplotu 60° C. Zaměstnanci musí sledovat ohřev tyče a po dosažení požadované teploty transformátor vypnou a začnou s izolováním základu. Z hlediska efektivity pracuje každý z pracovníků jedné straně tyče. Od prvního označeného místa ovinou až za koleno tyče páskou A4, pak provedou zesílení ohybů pomocí pásky B6 a znovu ovinou tyč od určeného místa páskou A4. Všechny konce těchto pásek se zalepují páskou E23. Nakonec pracovníci ovinou rovnou část až za kolena tyče tkanicí K101.

Tyč je po dokončení izolování základu přenesena za pomoci jeřábu do tvarovače základu, ve kterém bude dotvarován základ tyče. Jeden z pracovníků, zpravidla muž, provádí dotvarování základu tyče a druhý mezitím vypíše identifikační štítek a začne s přípravou další tyče, aby byl efektivně využit pracovní čas.

Tabulka 3.3: Analýza procesu izolování základu DAX 7

Izolování základu				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
vytvárané a svázané lamely do tyče	zesílení ohybů a oprava poškozených míst	vyspravená tyč	lidské, izolační materiál: E23 a L76, nůžky	míra poškození, čas
vyspravená tyč	svázání lamel do tyče	svázaná tyč	lidské, tkanina, nůžky	čas
svázaná tyč	přenos tyče na stojan pro izolování	připravená tyč pro izolování	lidské, jeřáb	čas
připravená tyč pro izolování	izolování	naizolovaná část tyče	lidské, páska H9, pracovní pomůcky, stojan	čas
naizolovaná část tyče	proložení a upevnění lamel	připojená tyč k transformátoru	lidské, stojan, pásy	čas
připojená tyč k transformátoru	zapnutí transformátoru a ohřev tyče	nahřátá tyč	transformátor, stojan, lidské	čas
nahřátá tyč	izolování podle technologického postupu	naizolovaný základ tyče	lidské, izolační materiál: A4, B6, E23 a K101, pracovní pomůcky	čas
naizolovaný základ tyč	přenos tyče do tvarovače	dotvarovaná a naizolovaná tyč	lidské, jeřáb, tvarovací přípravek a pomůcky	čas, tvar tyče

Předtím, než je tyč v tvarovači dotvarována a vychladne, tak seřizovači připraví lis, ve kterém bude vytvrzena. Než je tyč založena do předehřátého lisu, musí ji pracovníci dvakrát obalit separační fólií a tu zajistit lepící silikonovou páskou. Po vložení tyče do lisu jeden z pracovníků nastaví a spustí program pro vytvrzování, který trvá zhruba 45 minut. Po skončení programu se vyjme tyč z lisu, odstraní se separační fólie a tkanice K101, jeden z pracovníků lisu zkontroluje její rozměry a dutiny pomocí měrek a diagnostického kladívka. Další pracovník zkontroluje vytvrzovací pravítka lisu, pokud je třeba, tak je očistí. Nakonec pracovníci lisu doplní identifikační štítek.

Pověřený pracovník cívkárny má za úkol po vytvrzení tyče vyzkoušet, zda mezi jednotlivými lamelami nedojde ke zkratu. Aby bylo možné provést tuto zkoušku, je třeba roztáhnout od sebe lamely na koncích tyče. Pak se přístrojem zkouší jednotlivé lamely

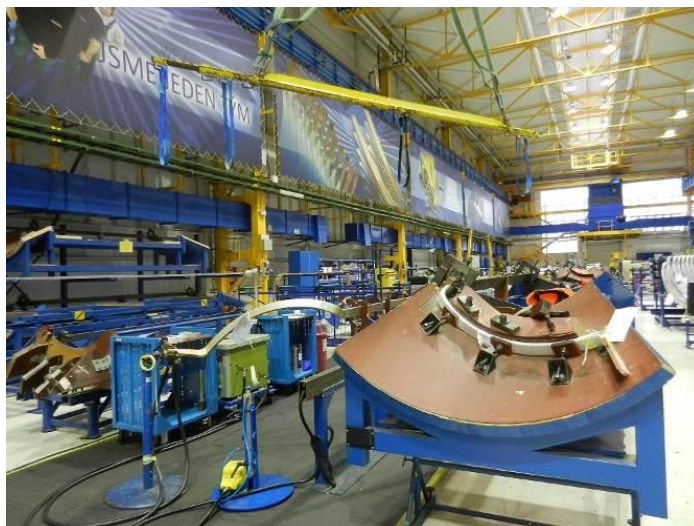
proti sobě, když je zaměstnanec s prací hotový, lamely zpátky srovná a doplní identifikační štítek.

Tabulka 3.4: Analýza procesu vytvrzení základu DAX 7

Vytvrzení základu				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
dotvarovaná a naizolovaná tyč	obalení tyče dvěma vrstvami separační fólie	připravená tyč pro vytvrzení	lidské, separační fólie, lepicí páska, tkanina,	čas
připravená tyč pro vytvrzení	vložení do lisu	založená tyč v lisu	lidské, lis	čas
založená tyč v lisu	vytvrzení základu	vytvrzený základ tyče	lis	čas
vytvrzený základ tyče	odstranění separační fólie a kontrola rozměrů	zkontrolovaná tyč	lidské, měrky, nůžky	čas, rozměry tyče
zkontrolovaná tyč	zkouška lamel na zkratky	tyč s vytvrzeným základem	lidské, měřidla	čas, zkratky mezi lamelami

V případě, že tyč vydrží, při napěťový zkoušce je přemístěna na pracoviště izolování čel, kde je vložena do stojanu. Aby se mohla tyč opět připojit k transformátoru, který ji následně zahřeje na požadovanou teplotu, musí pracovníci proložit lamely speciálními páskami. Před spuštěním transformátoru je nutné podle šablony vyznačit místa pro jednotlivá izolování páskami. Tyč se po zapnutí transformátoru ohřeje na teplotu 50 ° C a v délce označení míst pracovník provede izolaci páskou H9, potom zesílí izolaci kolen páskou B6 a následně pokračuje izolováním čel dle vyznačených míst páskou A4 a pak třikrát B6. Pro stažení izolace čel pracovník ovine předchozí izolace tkaninou F2 a následně pro zesílení izolace znovu tuto část ovine tkaninou F2. Čela tyče je nutné ještě ovinout páskou G5, která se napojuje na místo zesílení. Na závěr pracovníci ovinou úsek od rovné části tyče až po ochrannou páskou G5 separační páskou, která neobsahuje silikon.

Po dokončení se tyč vloží do tvarovače, který se používá pro dotvarování čel. Pracovník zde upevní a přitáhne čela pomocí svěračů a tyč se nechá vychladnout, potom se vyndá a je přesunuta na stanoviště izolování rovné části.



Obrázek 3.14: Pracoviště izolování čel

Tabulka 3.5: Analýza procesu izolování čel DAX 7

Izolování čel				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
tyč s vytvrzeným základem	vložení tyče do stojanu pro izolování čel	založená tyč	lidské, jeřáb, svorky	čas
založená tyč	vyznačení míst pro izolování	založená a vyznačená tyč	lidské, pravítko, fix	přesnost vyznačení, čas
založená a vyznačená tyč	proložení a upevnění lamel	připojená tyč k transformátoru	lidské, pásy, svorky	čas
připojená tyč k transformátoru	zapnutí transformátoru a ohřev tyče	nahřátá tyč	lidské, transformátor, stojan	teplota, čas
nahřátá tyč	izolování podle technologického postupu	tyč s naizolovanými čely	lidské, izolační materiál: H9, A4, A6, B6, F2 a G5, separační páska, ochranné pomůcky	čas, kvalita izolování
tyč s naizolovanými čely	přemístění do tvarovacího přípravku	založená tyč v tvarovacím přípravku	lidské, jeřáb, tvarovací přípravek	čas
založená tyč v tvarovacím přípravku	dotvarování čel tyče	tyč s naizolovanými a dotvarovanými čely	lidské, tvarovací přípravek, náradí	čas, tvar tyče

Pro izolování rovné části se používá automatická ovíječka. Je potřeba, aby vyškolená osoba před izolováním připravila a seřídila tento stroj, protože jednotlivé typy satorových

tyčí DAX se liší v rozměrech. Po seřízení se tyč vloží do ovíječky a následně je upevněna držáky.



Obrázek 3.15: Ovíjecí stroj

Pověřená osoba poklepem zkontroluje kvalitu vytvrzené izolace, odstraní separační pásku z kolen tyče a ručně ovine rovnou část páskou H9. Když je s ručním izolováním hotova, tak začne s automatickým izolováním pásky A5 pomocí ovíječky. Minimální počet ovíjení je šest, když je činnost dokončena, pověřená osoba zkontroluje šířku rovné části poměřením šesti míst a eventuálně rozhodne o doplňujících ovinech. Pak ovine rovnou část vodivou páskou E8 a na tu ovine separační pásku, tyč pomocí jeřábu vyjme ze stroje a doplní identifikační štítek.



Obrázek 3.16: Návodka na údržbu pracoviště

Tabulka 3.6: Analýza procesu izolování rovné části DAX 7

Izolování rovné části				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
tyč s naizolovanými a dotvarovanými čely	vložení a upnutí tyče do ovíjecího stroje	připravená tyč pro izolování	lidské, ovíjecí stroj, jeřáb	čas
připravená tyč pro izolování	odstranění separační pásky a ruční naizolování rovné části	připravená tyč pro izolování pomocí ovíjecího stroje	lidské, nůžky, izolační materiál H9	čas, kvalita izolace
připravená tyč pro izolování pomocí ovíjecího stroje	naizolování rovné části ovíjecím strojem	naizolovaná rovná část ovíjecím strojem	lidské, ovíjecí stroj, izolační materiál A5	čas
naizolovaná rovná část ovíjecím strojem	přeměření šířky rovné části	zkontrolovaná tyč	lidské, metr, fix	čas, rozměry tyče
zkontrolovaná tyč	ruční ovinutí vodivé a separační pásky	tyč s naizolovanou rovnou částí	lidské, izolační materiál - E8, separační páska	čas

Než je tyč vložena do lisu pro vytvrzování ovinu, seřizovači tento stroj nejprve připraví a seřídí. Pokud je všechno připraveno, tak se opět tyč před založením do lisu obalí dvěma vrstvami separační fólie. Po vložení do lisu vyškolený pracovník nastaví program pro vytvrzování a tyč se v lisu vytvrzuje zhruba 1 hodinu 45 minut. Když program skončí, je tyč přenesena na stojan, kde dva dělníci odstraní separační fólii a tkaninu F2 sloužící pro zesílení kolen tyče a zkontrolují rozměry rovné části měrkou. Dále je provedena kontrola dutin pomocí diagnostického kladívka. Podle šablony pracovníci vyznačí začátek ovinu ochrany proti koruně a označenou část ovinou páskou E6, kterou poté utáhnou tkaninou G1, konce izolací zalepí páskou E23. Na tyto oviny ještě omotají ochrannou páskou G5. Další z pracovníků lisu mezitím zkontroluje lis, pokud je potřeba, tak očistí vytvrzovací pravítka. Když jsou zaměstnanci lisu se svým úkolem hotoví, přesunou tyč do tvarovače, kde jsou ještě eventuálně dotvarovány čela tyče. V tvarovacím přípravku se tyč nechá vychladnout. Takto vyhotovená tyč se přemístí na stojan s již dokončenými tyčemi.

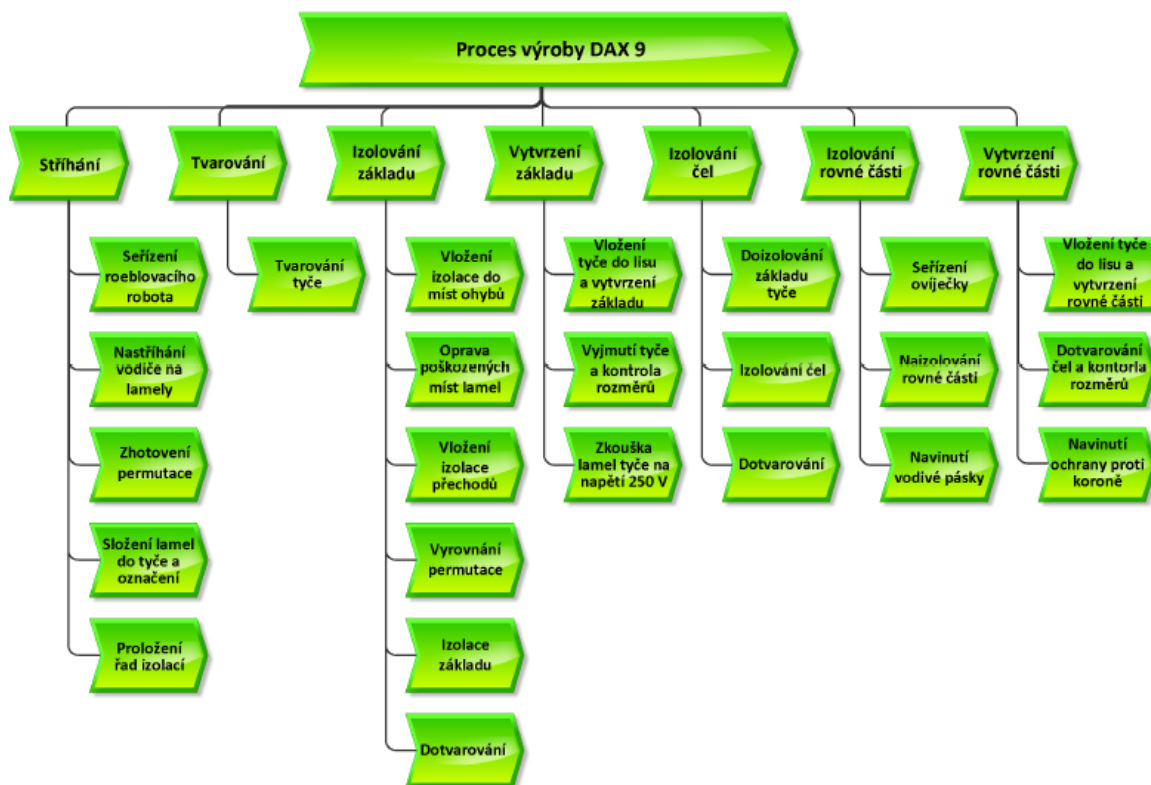
Tabulka 3.7: Analýza procesu vytvrzení rovné části DAX 7

Vytvrzení rovné části				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
tyč s naizolovanou rovnou částí	obalení tyče dvěma vrstvami separační fólie	připravená tyč pro vytvrzení	lidské, separační páska, tkanina	čas
připravená tyč pro vytvrzení	vložení do lisu	založená tyč v lisu	lidské, lis	čas
založená tyč v lisu	vytvrzení rovné části	vytvrzená rovná část tyče	lidské, lis	čas
vytvrzená rovná část tyče	odstranění separační fólie a kontrola rozměrů	zkontrolovaná tyč	lidské, měřidla	čas, rozměry
zkontrolovaná tyč	vložení tyče do tvarovacího přípravku	dotvarovaná tyč	lidské, tvarovací přípravek, nářadí	čas, tvar tyče
dotvarovaná tyč	naizolování ochrany proti koruně	hotová tyč DAX 7	lidské, izolační materiál - E23, E6, G1, G5, nůžky	čas, poškození

Tabulka 3.8: Celková analýza výrobního procesu DAX 7

Proces výroby DAX 7				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
vodič	stříhání	lamely	stříhačka, lidské, vodiče	čas, délka lamel
lamely	tvarování	vytvarované a svázané lamely do tyče	tvarovací přípravek, lidské, nářadí	čas
vytvarované a svázané lamely do tyče	izolování základu	naizolovaný základ tyče	lidské, izolační a tvarovací přípravky	čas
naizolovaný základ tyče	vytvrzování	vytvrzený základ tyče	lidské, lis	čas, rozměry tyče
vytvrzený základ tyče	izolování čel	naizolovaný základ a čela tyče	lidské, izolační a tvarovací přípravky	čas
naizolovaný základ a čela tyče	izolování rovné části	naizolovaná rovná část tyče	lidské, navíječka, izolační pásy	čas, kvalita naizolování čel
naizolovaná rovná část tyče	vytvrzování	hotová tyč	lidské, lis	čas, rozměry tyče

3.5.2 Popis výrobního procesu DAX 9



Obrázek 3.17: Proces výroby DAX 9 (zdroj: vlastní zpracování – ArisExpress dle [3])

Celý proces začíná na stanovišti stříhání, na kterém se nachází roeblovací robot sloužící pro nastříhání vodičů na lamely za současného očištění konců. Před zahájením práce s tímto strojem je nutné, aby ho seřizovači seřídili a připravili, teprve potom mohou pracovníci cívárny začít se stříháním. Kvalifikovaný zaměstnanec nastaví na řídicím počítači program s předem nastavenými parametry podle typu statorové tyče a stroj se spustí. Během prováděné činnosti robot nejen nastříhá lamely na zvolenou délku, ale i je skládá na sebe podle zvolené permutace pro usnadnění práce pracovníků při skládání lamel do tyče. Hlavním úkolem zaměstnanců je nejen nastavení programu a zhotovení tyče, ale i průběžná kontrola a výměna bubnu s navinutým vodičem. Před výměnou bubnu je část vodiče ustřižena a umístěna do speciálního kontejneru, potom se stroj automaticky zastaví a po nasazení nového bubnu pověřená osoba zkontroluje stav robota, případně provede očištění, aby nedošlo k poruše. Po kontrole je stroj znovu spuštěn, nejdříve je ustřižena část nově zavedeného vodiče, pak opět začne stříhání podle zvoleného programu. Složení do tyče je provedeno složením a svázáním dvou polovin dohromady, kdy každá polovina je sestavena z určitého počtu nastříhaných lamel, které pracovník proplete, srovná a sváže

mimo permutaci. Nakonec pracovníci složenou tyč proloží izolací, sváží, označí a doplní identifikační štítek. Takto zhotovená tyč je přenesena do přepravního koryta.



Obrázek 3.18: Vlevo roeblovací robot a vpravo bubny s navinutým vodičem (převzato z [2])

Tabulka 3.9: Analýza procesu stříhání DAX 9

Stříhání				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
požadavek na novou zakázku DAX 9	seřízení a vyzkoušení stříhačky	připravený stroj	elektrická energie, lidské, náradí	přesnost stříhání
buben s navinutým vodičem	stříhání	lamely	elektrická energie, lidské, roebel, bubny s navinutými vodiči	délka a očištění konců lamel, čas
lamely	složení polovin do tyče a její označení	svázané poloviny lamel do tyče	lidské, přepravní koryto	čas
svázané poloviny lamel do tyče	proložení tyče izolací	provizorně svázaná tyč s vloženou izolací řad	lidské, izolační materiál, nůžky, nůž	čas, přesnost proložení izolací

Naplňené přepravní koryto je za pomoci jeřábu přesunut na pracoviště tvarování, kde se provádí vytvarování čel tyče. Nejprve je vyznačen střed tyče a posléze je tyč založena do tvarovacího přípravku, ve kterém se upevní speciálními upevňovači. Jakmile je tyč

upevněna, mohou zaměstnanci začít s tvarováním, po vytvarování se tyč sváže tkanicí, upne svěrkami, vyjme se z tvarovacího přípravku a přemístí se na stojan stanoviště izolace základu, kde je ještě učiněn nástřik ohybů elektroizolačním lakem.



Obrázek 3.19: Tvarovací přípravek pro DAX 9

Na následujícím obrázku 3.20 jsou znázorněny základní pracovní pomůcky, které zaměstnanci používají během činnosti tvarování. Tyto pomůcky jsou pečlivě uspořádány do příslušných vymezení podle metodiky 5S, kterou tato společnost také využívá pro optimalizaci procesů.



Obrázek 3.20: Pomůcky pro tvarování

Tabulka 3.10: Analýza procesu tvarování DAX 9

Tvarování				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
přepravní koryto s lamelami	vyznačení středu lamel a přenos do tvarovacího přípravku	založené lamely v tvarovacím přípravku	lidské, jeřáb, tvarovací přípravek	počet lamel, čas
založené lamely v tvarovacím přípravku	upevnění a ochrana ohybů nomexovými vložkami	připravené lamely k tvarování	lidské, nomexové vložky, tvarovací přípravek, nářadí	čas
připravené lamely k tvarování	tvarování	vytvarované a svázané lamely do tyče	lidské, tvarovací přípravek, nářadí	čas
vytvarované a svázané lamely do tyče	provedení nástřiku elektroizolačním lakem	vytvarované lamely s provedeným elektroizolačním nástřikem	lidské, elektroizolační lak	čas

Pověření pracovníci izolováním základu nejprve tyč umístěnou na stojanu proloží předem připravenou izolací v místech ohybů a přechodu. Dále je provedeno vyrovnání permutace a oprava poškozených míst lamel páskou L76, potom je tyč přemístěna na stojan, kde se uskutečňuje navinutí základu tyče.



Obrázek 3.21: Pracoviště pro izolování základu a čel

Po založení do stojanu jsou lamely proloženy páskami a připojeny na transformátor, který tyč ohřeje na teplotu 60 °C. Takto nahřátá tyč je naizolována dle technologického postupu izolačními páskami H9, A4, B6, E23 a K101. Při izolování je potřeba pro dobré přilnutí izolačního materiálu neustále kontrolovat teplotu nahřáté tyče, aby nepřesáhla 65

°C nebo naopak neklesla pod 55 °C. Pro dotvarování čel je tyč po dokončení přesunuta a upnuta do tvarovacího formeru, ve kterém se ještě po dotvarování realizuje doizolování základu páskami F2 a E23.

Tabulka 3.11: Analýza procesu izolování základu DAX 9

Izolování základu				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
vytvarované a svázané lamely do tyče	Vložení izolace řad a přechodu	svázané lamely do tyče s proloženou izolací	lidské, izolační materiál	míra poškození, čas
svázané lamely do tyče s proloženou izolací	zesílení ohybů a oprava poškozených míst	vyspravená tyč	lidské, izolační materiál: E23 a L76, nůžky	míra poškození, čas
vyspravená tyč	přenos tyče na stojan pro izolování	připravená tyč pro izolování	lidské, jeřáb	čas
připravená tyč pro izolování	izolování	naizolovaná část tyče	lidské, páska H9, ochranné pomůcky	čas
naizolovaná část tyče	proložení a upevnění lamel	připojená tyč k transformátoru	lidské, stojan, pásy	čas
připojená tyč k transformátoru	zapnutí transformátoru a ohřev tyče	nahřátá tyč	transformátor, stojan, lidské	čas
nahřátá tyč	izolování podle technologického postupu	naizolovaný základ tyče	lidské, izolační materiál: A4, B6, E23 a K101, ochranné pomůcky	čas
naizolovaný základ tyče	přenos tyče do tvarovače	dotvarovaná a naizolovaná tyč	lidské, jeřáb, tvarovací přípravek a pomůcky	čas, tvar tyče

Prostřednictvím jeřábu je tyč po vychladnutí přemístěna na pracoviště vytvrzení základu. Před vložení do lisu je nutné tyč obalit dvěma vrstvami separační fólie a zajistit ji silikonovou lepicí páskou. Po založení do předehřátého lisu kvalifikovaný zaměstnanec nastaví na počítači vytvrzovací program, který trvá zhruba 60 minut. Když je vytvrzení

základu hotové, tak se tyč vyjme z lisu a odstraní se separační fólie a tkanice K101. Nakonec se po vychladnutí tyče zkontrolují její rozměry a dutiny pomocí měrek a diagnostického kladívka.



Obrázek 3.22: Pracoviště vytvrzení základu a hlavní izolace

Tabulka 3.12: Analýza procesu vytvrzení základu DAX 9

Vytvrzení základu				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
dotvarovaná a naizolovaná tyč	obalení tyče dvěma vrstvami separační fólie	připravená tyč pro vytvrzení	lidské, separační fólie, lepicí páska, tkanina,	čas
připravená tyč pro vytvrzení	vložení do lisu	založená tyč v lisu	lidské, lis	čas
založená tyč v lisu	vytvrzení základu	vytvrzený základ tyče	lis	čas
vytvrzený základ tyče	odstranění separační fólie a kontrola rozměrů	zkontrolovaná tyč	lidské, měrky, nůžky	čas, rozměry tyče
zkontrolovaná tyč	zkouška lamel na zkraty	tyč s vytvrzeným základem	lidské, měřidla	čas, zkraty mezi lamelami

Tabulka 3.13: Analýza procesu izolování čel DAX 9

Izolování čel				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
tyč s vytvrzeným základem	vložení tyče do stojanu pro izolování čel	založená tyč	lidské, jeřáb, svorky	čas
založená tyč	odstranění pásky F2	tyč s odstraněnou páskou F2	lidské, nůžky	čas
tyč s odstraněnou páskou F2	opravení poškozených míst páskou L75	vyspravená tyč	lidské, izolační materiál: L75	přesnost vyznačení, čas
vyspravená tyč	provedení ovinu	ovinutá tyč	lidské, izolační materiál H9	čas
ovinutá tyč	proložení a upevnění lamel	připojená tyč k transformátoru	lidské, transformátor, stojan	čas
připojená tyč k transformátoru	zapnutí transformátoru a ohřev tyče	nahřátá tyč	lidské, transformátor, stojan	čas, teplota
nahřátá tyč	izolování podle technologického postupu	tyč s naizolovanými čely	lidské, izolační materiál: A4, A6, B6, F2 a G5, separační páska, ochranné pomůcky	čas, kvalita izolování
tyč s naizolovanými čely	přemístění do tvarovacího přípravku	založená tyč v tvarovacím přípravku	lidské, jeřáb, tvarovací přípravek	čas
založená tyč v tvarovacím přípravku	dotvarování čel tyče	tyč s naizolovanými a dotvarovanými čely	lidské, tvarovací přípravek, náradí	čas, tvar tyče

Tyč s vytvrzeným základem se opět přemístí prostřednictvím jeřábu na pracoviště izolování čel. Jako první pracovníci doizolují základ čel tak, že odstraní tkanici F2, vyspraví poškozená místa lamel páskou L75, navinou izolační materiál H9 a proloží konce lamel páskami, aby se tyč mohla připojit k transformátoru. Po zapnutí transformátoru se tyč zahřeje na teplotu 65 °C a dle technologického postupu je proveden ovin. Po doizolování základu čel se vyznačí na základě šablony místa pro zesílení izolace a znovu zaměstnanci naizolují čela tyče podle technologického postupu izolačním materiálem A4,

B6, F2 a G5. Po dokončení se tyč s použitím jeřábu přesune do tvarovacího formeru, kde jeden ze zaměstnanců dotvaruje čela tyče.



Obrázek 3.23: Tvarovací přípravek pro izolování čel

Tyč je po vychladnutí na teplotu zhruba 40 °C přenesena a vložena jeřábem do ovíjecího stroje, který zajišťuje ovin rovné části tyče, tzv. hlavní izolaci. Před izolováním prostřednictvím ovíječky pracovnice odstraní separační pásku a ručně ovine rovnou část izolační páskou H9. Po těchto činnostech začne s automatickým ovíjením pomocí ovíjecího stroje a rovnou část naizoluje podle technologického postupu izolačním materiálem A5, po navinutí proměří na šesti místech šířku rovné části a případně určí doplňující oviny. Na závěr ovine rovnou část tyče vodivou páskou E8, separační páskou a přemístí ji na poslední pracoviště vytvrzení hlavní izolace.



Obrázek 3.24: Pracoviště izolování rovné části

Tabulka 3.14: Analýza procesu izolování rovné části DAX 9

Izolování rovné části				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
tyč s naizolovanými a dotvarovanými čely	vložení a upnutí tyče do ovíjecího stroje	připravená tyč pro izolování	lidské, ovíjecí stroj, jeřáb	čas
připravená tyč pro izolování	odstranění separační pásky a ruční naizolování rovné části	připravená tyč pro izolování pomocí ovíjecího stroje	lidské, nůžky, izolační materiál H9	čas, kvalita izolace
připravená tyč pro izolování pomocí ovíjecího stroje	naizolování rovné části ovíjecím strojem	naizolovaná rovná část ovíjecím strojem	lidské, ovíjecí stroj, izolační materiál A5	čas
naizolovaná rovná část ovíjecím strojem	přeměření šířky rovné části	zkontrolovaná tyč	lidské, metr, fix	čas, rozměry tyče
zkontrolovaná tyč	ruční ovinutí vodivé a separační pásky	tyč s naizolovanou rovnou částí	lidské, izolační materiál - E8, separační páska	čas

Než je tyč založena do lisu, je třeba ji obalit dvěma vrstvami separační fólie. Po vložení do lisu nastaví kvalifikovaný zaměstnanec na počítači vytvrzovací program. Zhruba po dvou hodinách je vytvrzení hlavní izolace hotovo, tyč se vyndá z lisu a odstraní se separační fólie a páska F2. Tyč je potom založena do tvarovacího přípravku, ve kterém se eventuálně dotvarují čela.



Obrázek 3.25: Vytvrzení základu

Po vyjmutí z formeru je přemístěna na stojan, kde se zkontrolují dutiny a rozměry rovné části. Po kontrole se podle technologického postupu ovine ochrana proti koruně páskou E6, tkanicí G1, páskou E23 a ochrannou páskou G5. Takhle dokončená tyč je přesunuta na stojan, kde se nachází ostatní vyhotovené tyče. Celková analýza výrobního procesu DAX 9 je přiložena v příloze F.

Tabulka 3.15: Analýza procesu vytvrzení rovné části DAX 9

Vytvrzení rovné části				
vstup	činnost	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
tyč s naizolovanou rovnou částí	obalení tyče dvěma vrstvami separační fólie	připravená tyč pro vytvrzení	lidské, separační páska, tkanina	čas
připravená tyč pro vytvrzení	vložení do lisu	založená tyč v lisu	lidské, lis	čas
založená tyč v lisu	vytvrzení rovné části	vytvrzená rovná část tyče	lidské, lis	čas
vytvrzená rovná část tyče	odstranění separační fólie a kontrola rozměrů a dutin	zkontrolovaná tyč	lidské, měřidla	čas, rozměry
zkontrolovaná tyč	vložení tyče do tvarovacího přípravku	dotvarovaná tyč	lidské, tvarovací přípravek, nářadí	čas, tvar tyče
dotvarovaná tyč	naizolování ochrany proti koruně	hotová tyč DAX 9	lidské, izolační materiál - E23, E6, G1, G5, nůžky	čas, poškození

3.6 Průměrná doba trvání operací procesů DAX 7 a DAX 9

Aby bylo možné určit hlavní příčiny časových ztrát, které způsobují prodloužení doby vyhotovení výrobku, byla provedena měření jednotlivých operací analyzovaných procesů. Pro přesnější výsledky byla všechna měření dob trvání dané operace provedena třikrát. Z vyhodnocených dat byly následně určeny hlavní příčiny a jejich nápravná opatření jsou uvedena v následující kapitole.

Tabulka 3.16: Tabulka naměřených hodnot operace stříhání DAX 7

Měření doby trvání operace stříhání (DAX 7) - STROJ ET 126						
	1. měření		2. měření		3. měření	
1.	0:00	0:18	0:00	0:19	0:00	0:18
2.	0:18	0:36	0:19	0:37	0:18	0:37
3.	0:36	0:54	0:37	0:54	0:37	0:55
4.	0:54	1:13	0:54	1:14	0:55	1:14
5.	1:13	1:32	1:14	1:32	1:14	1:33
6.	1:32	1:50	1:32	1:51	1:33	1:51
7.	1:50	2:09	1:51	2:10	1:51	2:10
8.	2:09	2:29	2:10	2:28	2:10	2:29
9.	2:29	2:46	2:28	2:47	2:29	2:47
10.	2:46	3:04	2:47	3:06	2:47	3:05
11.	3:04	3:23	3:06	3:23	3:05	3:24
12.	3:23	3:43	3:23	3:42	3:24	3:42
13.	3:43	4:01	3:42	4:01	3:42	4:01
14.	4:01	4:20	4:01	4:20	4:01	4:20
15.	4:20	4:38	4:20	4:39	4:20	4:39
16.	4:38	4:57	4:39	4:57	4:39	4:57
Celkový čas stříhání:	4:57		4:57		4:57	

V tabulce 3.16 jsou zaznamenána data dob trvání při operaci stříhání lamel DAX 7, která byla provedena strojem ET 126. Statorová tyč tohoto typu je tvořena z 16 lamel, proto byla provedena celkem tři měření pro stanovení celkové doby trvání nastříhání lamel pro jednu tyč. Z výsledků je zřejmé, že při automatickém stříhání strojem, který neovlivňuje lidský faktor, jsou všechny tři celkové doby shodné. Další provedená měření pro jednotlivé operace analyzovaných procesů jsou uvedena v příloze E. V tabulkách u operací, které byly provedeny pouze zaměstnanci byl odlišen celkový čas pracovníků na veškeré provedené operace a celkový naměřený čas. V celkovém naměřeném čase jsou zahrnuty doby provedené operace včetně jiných činností pracovníka, například odchod na toaletu.

3.7 Možnosti optimalizace – ergonomická analýza pracoviště

Z analýzy současného stavu výrobních procesů statorových tyčí DAX 7 a DAX 9 vyplývá, že dané procesy jsou velmi dobře propracované. Důvodem je, že společnost BRUSH SEM s.r.o. používá metodiku KAIZEN, to znamená, že se neustále snaží o zlepšení svých současných procesů a daří se jí to.

Pro optimalizaci výrobních procesů byly uvažovány i nástroje průmyslového inženýrství, z těchto nástrojů byl vybrán nástroj zaměřující se na ergonomii pracoviště izolování. Izolování je pro zaměstnance cívkárny velmi namáhavé, zatěžuje totiž celou horní část těla. Především je namáháno krční svalstvo a ruce. Dalším problémem je, že většinou na daném pracovišti spolupracují dva zaměstnanci rozdílné výšky, pohlaví i váhy. Protože je na pracovišti předem nastavená určitá výška stojanu používaného při izolování, kterou nelze změnit, jsou oba dva pracovníci rozdílně zatěžováni. U izolování má velkou váhu i to, jaký druh tyče se právě izoluje. Jednotlivé druhy tyčí se totiž rozměrově liší a i technologický postup izolování je rozdílný. Z tohoto důvodu jsem pro analýzu současného stavu ergonomie při činnosti izolování zvolila metodiku RULA a dotazníky subjektivního hodnocení.

3.7.1 Ergonomická studie – metoda RULA




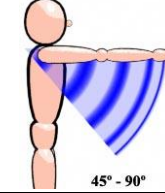
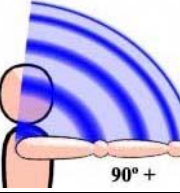




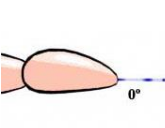
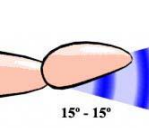


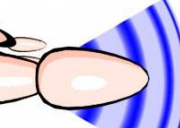
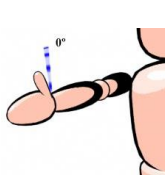

Pro zjištění ergonomických rizik při činnosti izolování byla aplikována moderní metoda nazývaná zkratkou RULA z anglického názvu „Rapid Upper Limb Assessment“, který by se mohl přeložit jako „rychlé posouzení horních končetin“. Tato metoda byla speciálně vyvinuta pro pracoviště, na kterých dochází během činností zaměstnanců k nadměrnému zatěžování horních končetin a jejím cílem je rychlé zhodnocení rizika poškození těchto partií. Výhodou metodiky RULA je časová nenáročnost a hodnocení poloh nejen horních končetin, jak vyplývá z názvu metody, ale i krku, trupu a nohou. Nezbytné nástroje pro vyhodnocení jsou kamera nebo alespoň fotoaparát. [24]

Postup při vyhodnocování je rozdělen na tři základní kroky:

- ***výběr rizikového postoje k hodnocení,***
- ***zaznamenání hodnocení do pracovního listu,***
- ***výpočet celkového skóre. [24]***

Pro výpočet celkového skóre je potřeba nejprve určit tzv. základní skóre, které je stanoveno základní polohou jednotlivých částí těla. Dodatečné body, tzv. proměnné skóre se udělují v případě výběru uvedených popisů poloh. Dále je potřeba ještě zahrnout užití svalů a vynaloženou sílu - zátěž pracovníků při práci. V příloze B jsou zobrazeny listy pro určení skóre jednotlivých částí těla, které se potom zaznamenávají do příslušného pracovního listu zobrazeného na *obrázku 3.26*, zbylé pracovní listy jsou uvedeny v příloze

D. Po určení jednotlivých skóre se podle tabulek A, B a C dopočítá celkové skóre, tyto tabulky lze naléznout v příloze C. Celkové skóre lze vyhodnotit i pomocí dostupných softwarových programů. [12] [13] [14]

Hodnocení rizika poškození horních končetin						
Pracovník:		Datum/čas:		Provedl		
Pravá strana:						
Pravá HK						<input type="checkbox"/> Zvednuté rameno <input type="checkbox"/> HK v abdukci <input type="checkbox"/> Sklonění nebo podpora váhy paže
Pravá HK						<input type="checkbox"/> činnosti přes střednici těla nebo na stranu
Pravé zápěstí						<input type="checkbox"/> Zápěstí vytočeno mimo střednici <small>Select if wrist is bent away from midline</small>
Pravé zápěstí otočené			Síla & zátěž pro pravou stranu ruky	VYBERTE JEDNU Z NÁSLEDUJÍCÍCH MOŽNOSTÍ: <input type="checkbox"/> žádná překážka + méně než 2 kg přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 2–10kg přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 2–10kg statická zátěž <input type="checkbox"/> 2-10kg opakující se zátěž nebo síla <input type="checkbox"/> 10kg či více přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 10kg statická zátěž <input type="checkbox"/> 10kg opakovaná zátěž nebo síla <input type="checkbox"/> náraz nebo prudké zvyšování síly		
Užití svalů		<input type="checkbox"/> Poloha převážně statická, např. Držení více jak 1 min. nebo opakování více než 4krát za min.				

Obrázek 3.26: Ukázka pracovního listu pro hodnocení pravé strany metodou RULA (převzato z [12])

Tabulka 3.17: Tabulka vyhodnocení podle celkového skóre (převzato z [12])

Tabulka vyhodnocení podle celkového skóre		
Skupina	Skóre	Závěr
1.	1-2	poloha je přijatelná, pokud není vykonávána po delší dobu
2.	3-4	potřeba dalšího hodnocení, požadovány změny
3.	5-6	v nejbližší době je nutné provést změny
4.	7	vysoká naléhavost na provedení změn při práci

Pro vyhodnocení metodou RULA bylo zvoleno pracoviště izolování základu, na obrázku 3.27 je zobrazena posuzovaná pracovní pozice. Tato pozice byla hodnocena včetně změn poloh jednotlivých částí těla, které nastávají během práce. Zaměstnanec po celou dobu pracovní směny, která trvá osm hodin, na tomto stanovišti izoluje základ tyče

izolačním materiálem podle technologického postupu. Vybraná pracovní pozice byla vyhodnocena pomocí listů vydaných Národním referenčním pracovištěm pro fyziologii a psychologii práce a dále dle dostupného internetového programu. [13], [14]



Obrázek 3.27: Posuzovaná pracovní pozice - izolování základu

Pracovní postoj zaměstnance na pracovišti izolování základu byl vyhodnocen následujícími indikátory, které jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 3.18 pro pravou horní končetinu, 3.19 pro levou horní končetinu a 3.20 pro krk, trup a dolní končetiny.

Tabulka 3.18: Vyhodnocení – pravá horní končetina

Pravá horní končetina			
Pozice	Zvolená poloha	Softwarové skóre	Skóre podle listů
Paže	20° - 20°	1	1
Předloktí	60° - 100°	1	1
Zápěstí	15° +	3	3
	Zápěstí vytočené mimo střednici	1	1
Zápěstí otočené	0°	1	1
Síla a zátěž	Menší než 2 kg	0	1
Užití svalů		1	1

Tabulka 3.19: Vyhodnocení - Levá horní končetina

Levá horní končetina			
Pozice	Zvolená poloha	Softwarové skóre	Skóre podle listů
Paže	20° - 20°	1	1
	horní končetina v abdukci	1	1
Předloktí	0° - 60°	1	1
	činnost přes střednici těla	1	1
Zápěstí	15° +	3	3
	zápěstí vytočené mimo střednici	1	1
Zápěstí otočené	0°	1	1
Síla a zátěž	Menší než 2 kg	0	1
Užití svalů		1	1

Tabulka 3.20: Vyhodnocení - krk, trup a dolní končetiny

Krk, trup a dolní končetiny			
Pozice	Zvolená poloha	Softwarové skóre	Skóre podle listů
Krk	20° +	3	3
Trup	0°	1	1
Dolní končetiny	dostatečná opora, v rovnoměrné a vyvážené pozici	1	1
Síla a zátěž	Menší než 2 kg	0	1
Užití svalů		1	1

Tabulka 3.21: Celkové skóre

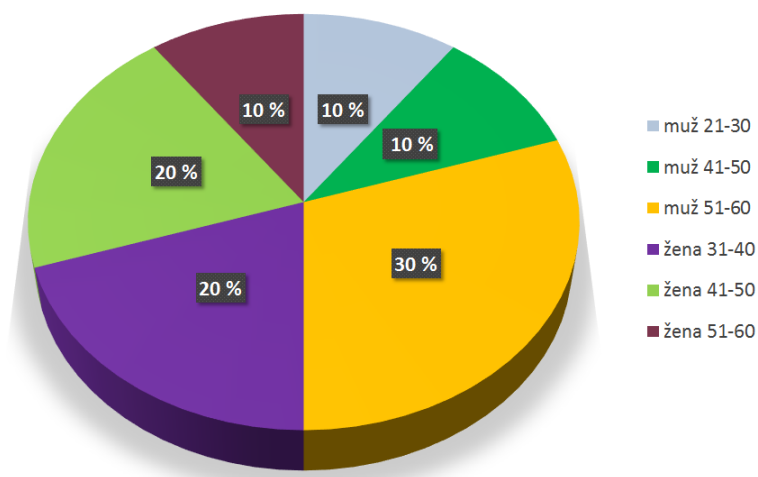
Vyhodnocení rizika		
	Softwarové skóre	Skóre podle listů
Pravá horní končetina	4	5
Levá horní končetina	5	6
Krk, trup a dolní končetiny	4	5
Celkové skóre PK/LK	4/5	6/6

Z tabulky 3.21 vyplývá, že celkové skóre pro pracoviště izolování základu je podle metody RULA vyhodnocené dostupným softwarovým programem ohodnoceno stupněm čtyři pro pravou horní končetinu a stupněm 5 pro levou horní končetinu. Podle tabulky 3.17 z toho plyne, že je potřeba pro pravou ruku provést další šetření, ale měla by být již požadována nápravná opatření. V případě levé končetiny už se jedná o velké riziko a je tudíž nutné v nejbližší době učinit změny. Podle listů Národního referenčního pracoviště pro fyziologii a psychologii práce je hodnoceno celkové skóre stupněm 6 pro pravou i levou horní končetinu. Jedná se tedy o stejný závěr jako v předchozím případě u levé ruky, tedy je potřeba zavést v nejbližší době nutná opatření. Ačkoliv se jedná o stejnou

metodikou, tak celkové skóre vyšlo odlišně, tento rozdíl byl způsoben jiným bodovým ohodnocením síly – zátěže.

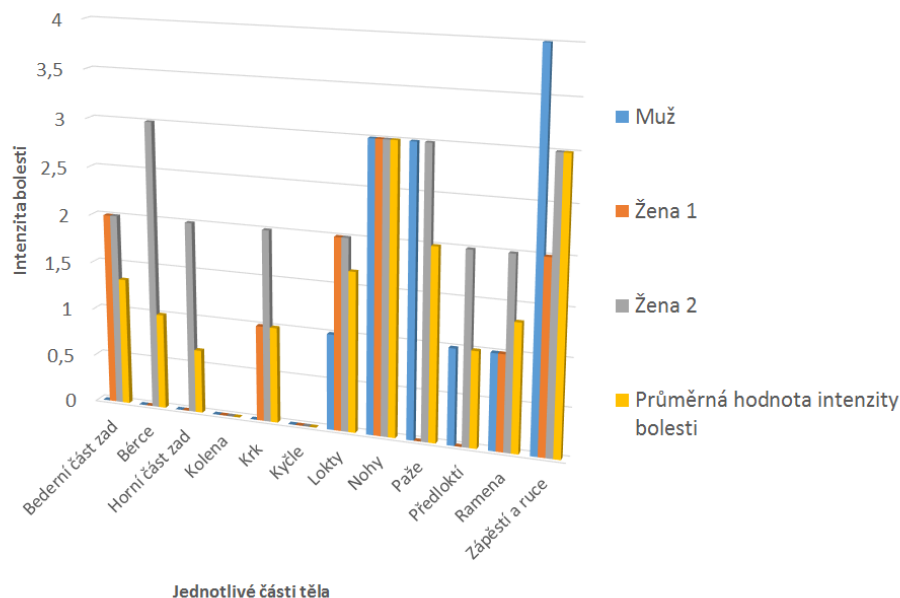
3.7.2 Ergonomická studie – vyhodnocení dotazníků

V současnosti je jedním z nejpoužívanějších nástrojů sloužící k zjištění informací a názorů dotazník. Formou tohoto průzkumu bylo provedeno i subjektivní zhodnocení zatížení pohybového aparátu zaměstnanců BRUSH SEM s.r.o., viz příloha A. Cílem bylo nejen zmapovat subjektivní pocity zaměstnanců ohledně zatížení jednotlivých částí těla, ale i zjistit spokojenost a potřeby související s jejich zaměstnáním. Zvolenou cílovou skupinou byli pracovníci, jejichž hlavní pracovní náplní je izolování statorových tyčí. Při této aktivitě je využívána především horní část těla. Hypotéza z tohoto plynoucí je, že nejvíce problémovou partií budou horní končetiny. Celkem se průzkumu zúčastnilo deset respondentů, z toho pět žen a pět mužů. Jednalo se o zaměstnance různých věkových kategorií a rozdílných dob zaměstnání v dané společnosti, viz *graf 3.1*.



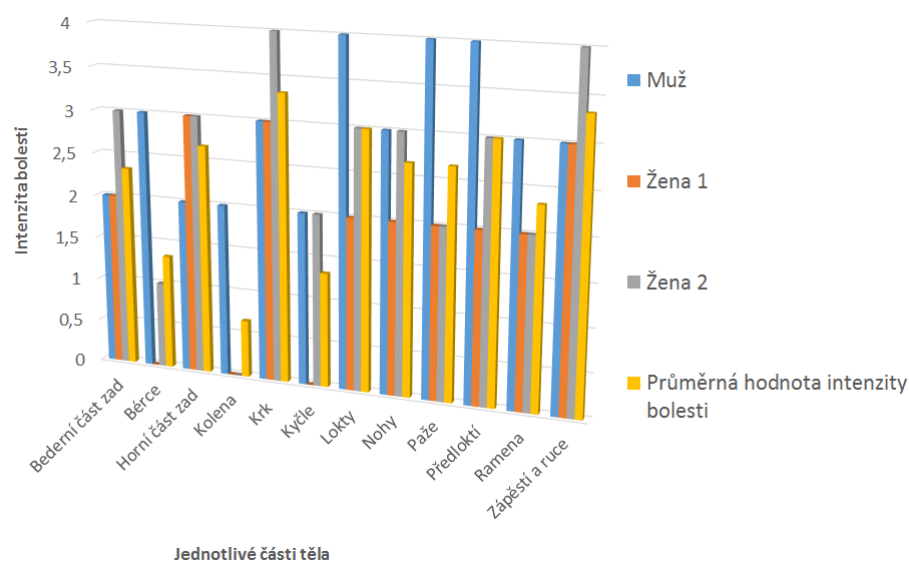
Graf 3.1: Počet respondentů rozdělených podle pohlaví a věku

Podstatnou část dotazníku tvořila tabulka pro záznam vážnosti příznaků, které zaměstnanci pociťují během práce nebo po práci. Dotazovaní vyjadřovali intenzitu bolesti pomocí čísel od 0 do 4. Pro přesnější vyhodnocení dat z tabulky byli respondenti rozříděni podle stáří do tří skupin. Věkové hranice jednotlivých kategorií byly rozděleny na 21–40 let, 41–50 let a 51–60 let.



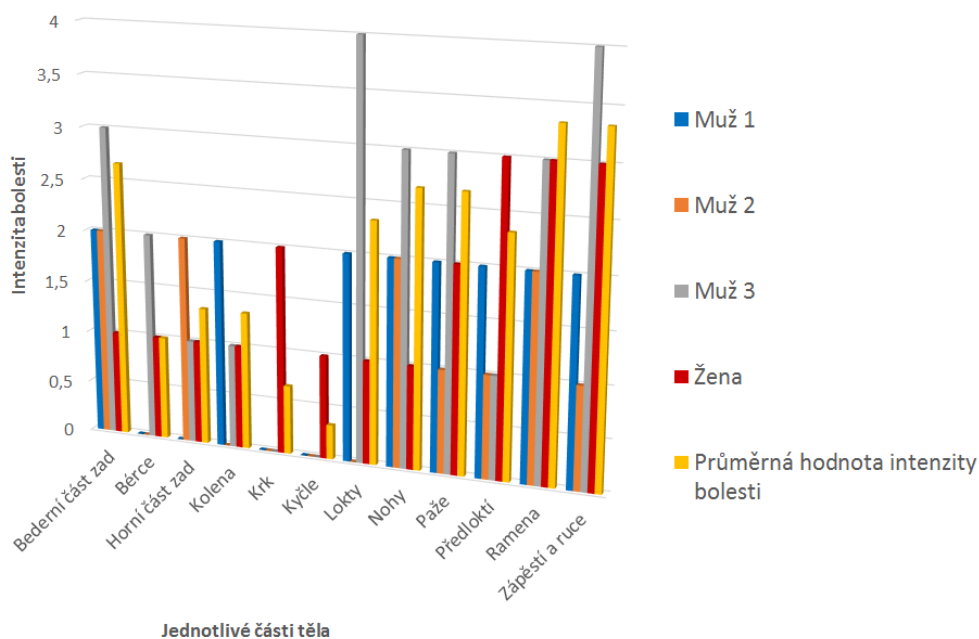
Graf 3.2: Vyhodnocení intenzity bolesti pro věkovou kategorii 21-40 let

Ze skupinového sloupcového grafu 3.2 vyplývá, že pracovníci ve věku od 21 do 40 let vnímají jako nejvíce zatížené části těla zápěstí, ruce a nohy. Vážnost příznaků těchto partií ohodnotili číslem tři, které vyjadřuje pocit silné bolesti. Naopak všichni jako nejméně problémové části těla uvedli kolena a kyčle, kterým přidělili nulovou intenzitu bolesti, tedy nepocítují zde žádnou bolest. Data o intenzitě bolesti pro věkovou kategorii 41-50 let byla znázorněna v následujícím grafu 3.3, v porovnání s předchozí skupinou došlo k výraznému zhoršení výsledků.



Graf 3.3: Vyhodnocení intenzity bolesti pro věkovou kategorii 41-50 let

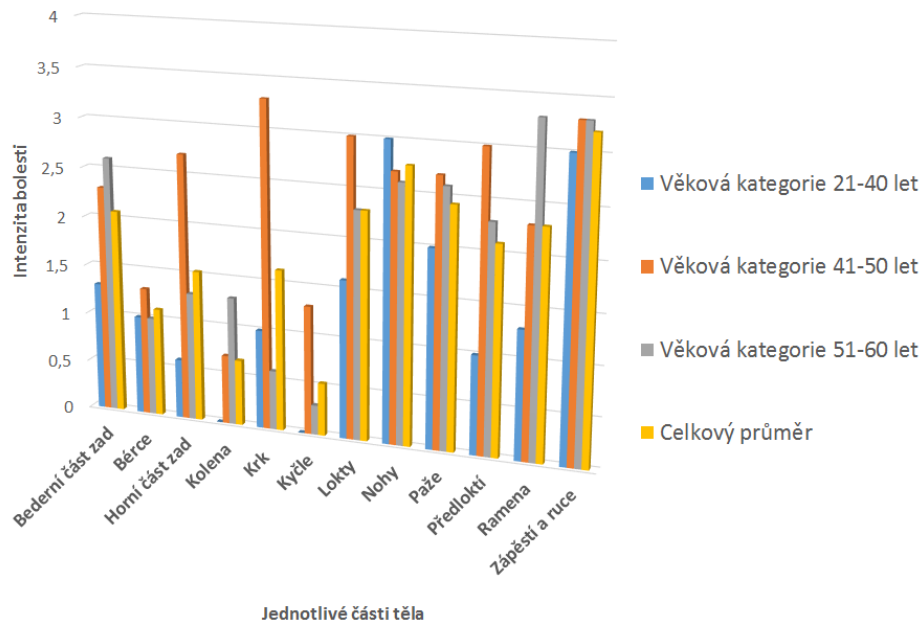
Zápěstí, ruce a krk byly určeny nejvíce zatěžovanými částmi této věkové kategorie, jejich intenzita bolesti byla ohodnocena mezi silnou až nesnesitelnou. Dále v oblasti kolenou, kyčlí, bederní a horní části zad došlo k zhoršení. Tyto následky mohou být způsobené různými příčinami - rostoucí věk, náročnost práce nebo určité dispozice jednotlivců k zdravotním potížím.



Graf 3.4: Vyhodnocení intenzity bolesti pro věkovou kategorii 51-60 let

Poslední věková kategorie od 51 do 60 let opět určila zápěstí a ruce jako velmi problémovou část těla i intenzita pociťované bolesti zůstala ohodnocena shodně mezi silnou až nesnesitelnou. U výsledných dat pro krk byl zaznamenán výrazný pokles intenzity ze silné na mírnou až téměř žádnou. Důvody, které způsobily tuto anomálii, mohou být různé, nejpravděpodobnější příčinou je omezený počet respondentů, kteří se tohoto vyhodnocení zúčastnili.

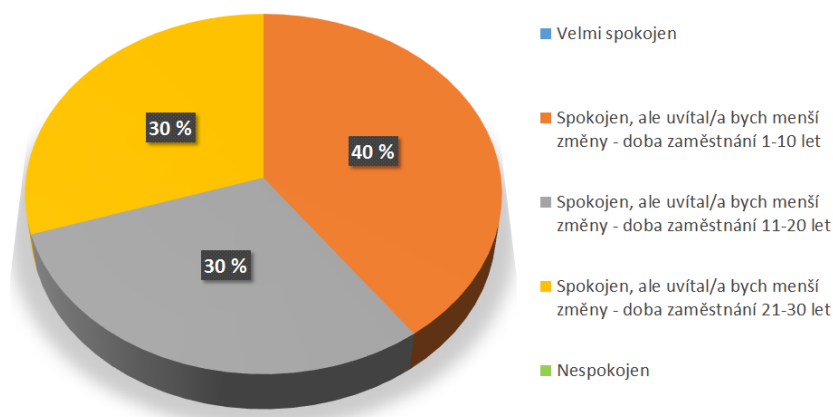
K srovnání výsledných dat hodnocení intenzity bolesti jednotlivých věkových kategorií slouží následující graf 3.5, ze kterého lze zjistit, že nejzatíženější částí těla jsou zápěstí a ruce. Tento výsledek potvrzuje již zmíněnou hypotézu, že nejvíce problémovou partií budou právě ruce, kvůli jejich namáhání během izolování. Zaměstnanci ohodnotili intenzitu bolesti zápěstí a rukou jako silnou bolest.



Graf 3.5: Srovnání věkových kategorií v subjektivním hodnocení intenzity bolesti

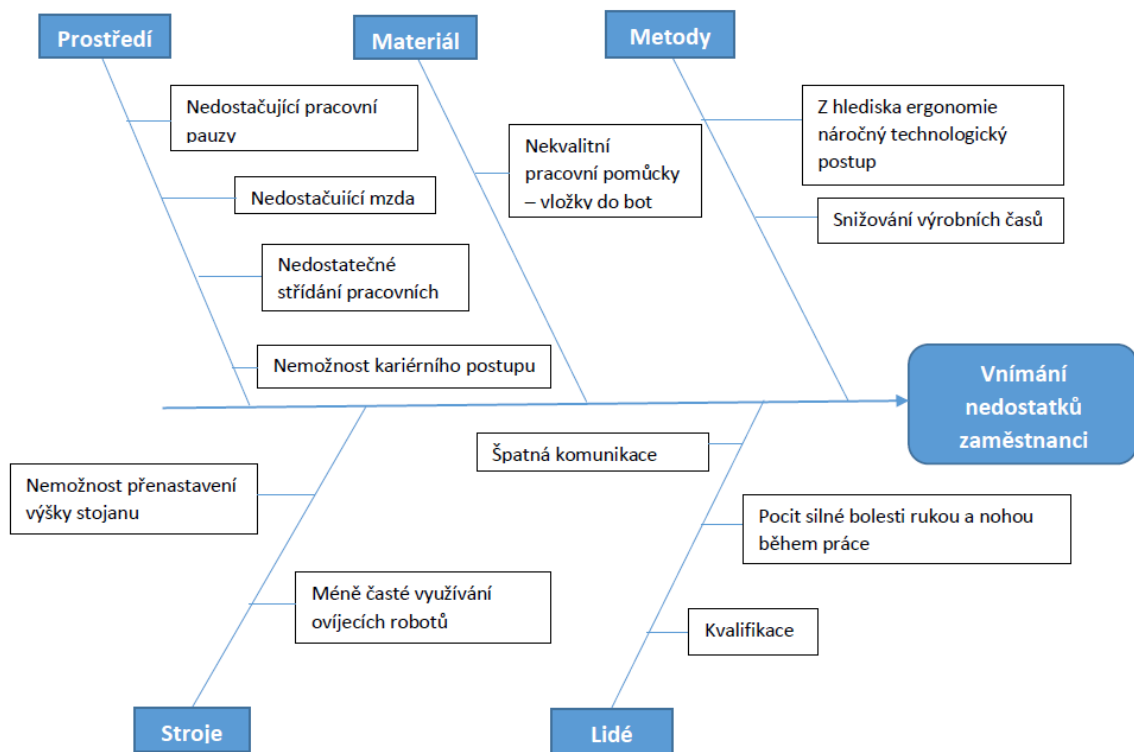
Další problémovou partií jsou dolní končetiny, které byly ohodnoceny mezi průměrnou až silnou intenzitou bolesti. Tento výsledek se rovněž dal očekávat, protože pracovníci při izolování neustále stojí, nelze při této činnosti sedět. Kolena a kyčle byly pracovníky zvoleny jako nejméně problémové části těla.

V rámci dotazníku měli pracovníci určit svoji míru spokojenosti se současnou pracovní pozicí. V následujícím grafu 3.6 je zobrazena tato míra spokojenosti v závislosti na době zaměstnání v podniku.



Graf 3.6: Míra spokojenosti pracovníků

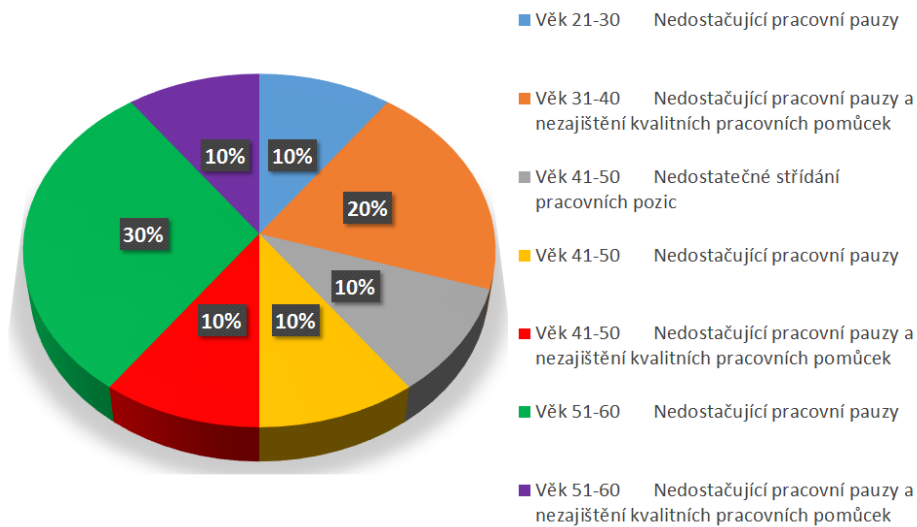
Všichni dotazovaní tento dotaz zodpověděli shodně, pracovníci jsou se svojí prací spokojeni, ale uvítali by menší změny. Z toho vyplývá, že míra spokojenosti zaměstnanců BRUSH SEM s.r.o. nezávisí na délce zaměstnání, pohlaví ani věku. Proto se další otázka zabývala pravděpodobnými příčinami, které vedly pracovníky k tomuto názoru. Volba pravděpodobných důvodů, ze kterých mohli respondenti následně vybírat, byla určena na základě dat z Ishikawova diagramu, který je znázorněn na *obrázku 3.28*.



Obrázek 3.28: Ishikawův diagram - spokojenost zaměstnanců

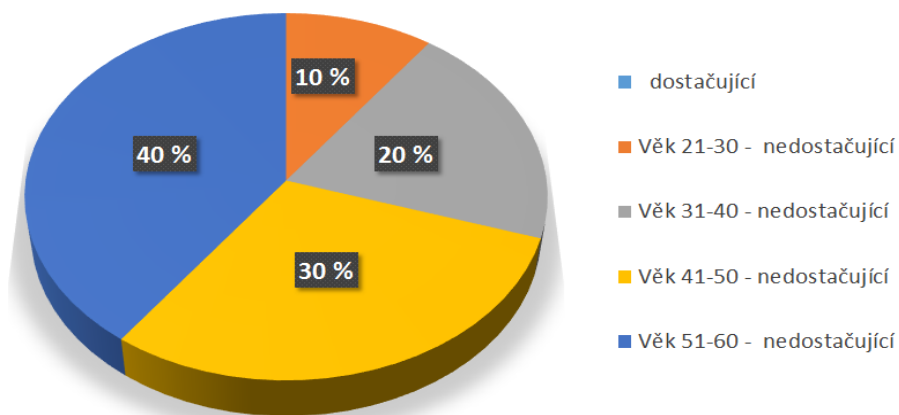
Z Ishikawova diagramu vyplývá, že hlavními důvody mohou být nedostačující pracovní pauzy, nedostatečné střídání pracovních pozic a nezajištění kvalitních pracovních pomůcek, proto byly tyto příčiny zahrnuty do odpovědí v dotazníku. Tyto příčiny byly vybrány s ohledem na ergonomii.

Nejčastěji byly respondenty z navržených možností vybrány odpovědi nedostačující pracovní pauzy a nezajištění kvalitních pracovních pomůcek, které lze i určit jako hlavní příčiny vnímaných nedostatků. Pouze jeden z dotazovaných věkové kategorie 41–50 let uvedl jako hlavní příčinu nedostatečné střídání pracovních pozic, viz *graf 3.7*.



Graf 3.7: Příčiny vybrané respondenty

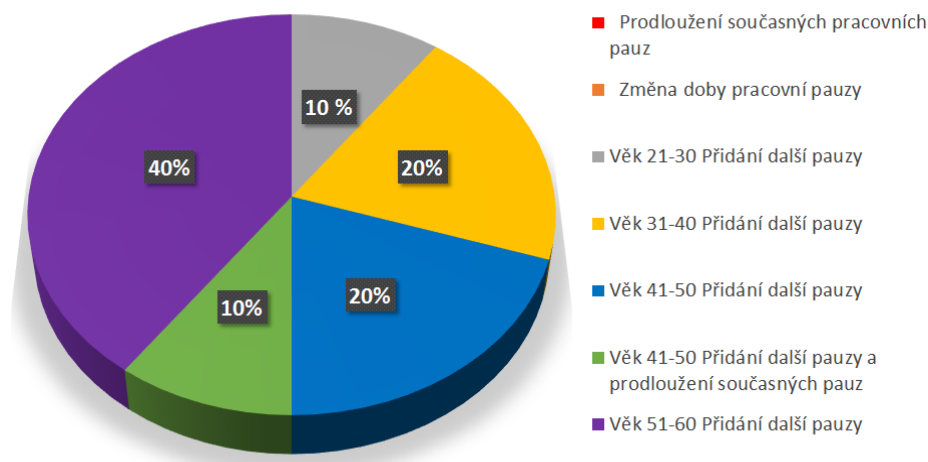
Během takto fyzicky náročné práce je nutné, aby měli zaměstnanci dostatek času na odpočinek. Proto se další otázka zaměřila na názor pracovníků ohledně dostatečnosti současných pracovních pauz. Aby bylo možné porovnat, zda dostatečnost pauz souvisí se stářím dotazovaných, byli zaměstnanci při vyhodnocení rozděleni do čtyř věkových kategorií a celkový výsledek je zobrazen v grafu 3.8.



Graf 3.8: Vyhodnocení dostatečnosti pracovních pauz

Vyhodnocená data byla jednoznačná, pracovní pauzy jsou pro zaměstnance nedostačující. Aby bylo možné identifikovat, co by zaměstnavatel měl pro spokojenost pracovníků v tomto ohledu změnit, měli respondenti vybrat jednu z nabídnutých možností, mezi které byly zahrnuty - změna doby pracovní pauzy, prodloužení současných pauz nebo

přidání další pauzy. Data byla vyhodnocena a znázorněna v grafu 3.9, ze kterého je zřejmé, že pracovníci by přivítali změnu v podobě přidání další pracovní pauzy.



Graf 3.9: Pracovní pauzy - návrhy na zlepšení

Jeden z dotazovaných by chtěl kromě přidání další pauzy i prodlení již zavedených pracovních pauz. Ani jeden z dotazovaných zaměstnanců nezvolil navrhovanou možnost změny doby pracovní pauzy, z toho usuzují, že pracovníci jsou spokojeni s tím, ve kterou hodinu je pracovní pauza zařazena.

4 Doporučení pro praxi

Tato kapitola pojednává na základě praktických poznatků o návrhu změn pro zlepšení analyzovaných procesů společnosti BRUSH SEM s.r.o., především se zabývá možností optimalizace pracovišť z hlediska ergonomie.

4.1 Ergonomie – návrh na zlepšení

Podle výsledků provedených analýz současného stavu ergonomického uspořádání pracoviště izolování základu ho v současné době hodnotím jako nevhodné a měla by být provedena nutná opatření. Pracoviště totiž bylo podle metody RULA vyhodnocené dostupným softwarovým programem zařazeno do kategorie 3-4 pro pravou horní končetinu a 5-6 pro levou horní končetinu. Vyhodnocení celkového skóre metody RULA podle listů Národního referenčního pracoviště pro fyziologii a psychologii práce bylo ohodnoceno stupněm 6 pro pravou i levou horní končetinu, který patří do kategorie 5-6 a upozorňuje na nutnost provedení změn v nejbližší době. Z dotazníků pro subjektivní hodnocení vyplývá, že pracovníci všech věkových kategorií trpí silnými až nesnesitelnými bolestmi zápěstí a rukou. Další negativně hodnocenou částí těla byly dolní končetiny, u kterých byla celková průměrná intenzita bolesti vyhodnocena mezi průměrnou a silnou.

V současnosti je na pracovišti k dispozici předem nastavený stojan, který slouží pro oporu tyče při ovíjení izolačního materiálu pracovníky. Před zahájením prací je totiž na stojanu vedoucími pracovníky čet nastavena určitá výška. U tohoto stojanu spolupracují většinou dva zaměstnanci rozdílné výšky, tudíž hlavním problémem je nerovnoměrnost zatěžování jejich pohybového aparátu. Možné řešení tohoto problému spatřuji ve vylepšení nebo úplné změně již zmíněného stojanu. Tyto stojany by měly být opatřeny minimálně automatickým hydraulickým zvedákem pro možnost nastavení výšky a tedy přizpůsobení se výšce zaměstnanců. U stojanů, které se využívají při izolování čel, bych doporučila kromě hydraulického zvedáku nainstalovat i zařízení pro možnost nastavení výšky čela tyče. Aby bylo dosaženo maximální efektivity, museli by se na tato pracoviště nasazovat pracovníci stejné nebo přibližné výšky.

Jelikož je vyhodnocení metodiky RULA lehké a dále časově i finančně nenáročné, doporučila bych, aby tato metodika byla trvale zavedena a používána v dané společnosti.

Velkou výhodou této metody je i možnost provést vyhodnocení pracovních listů za pomoci dostupných softwarových programů.

Z vyhodnocených dat dotazníků vyplývá, že pro větší spokojenost zaměstnanců by bylo dobré zavést ještě jednu pauzu v každé směně, která by trvala zhruba 10–15 minut. Přidání další pauzy hodnotím jako velmi přínosné jak z hlediska spokojenosti zaměstnanců, tak i ergonomického zatěžování pohybového aparátu. Další zlepšení, které by zvýšilo spokojenost zaměstnanců, je v zajištění kvalitních pracovních pomůcek. V cívkárně jsou sice rozmístěny speciální podložky pro odlehčení tlaku na nohy, ale jak vyplynulo z dotazníku, tak nejsou dostačující. Zaměstnanci totiž postrádají podporu společnosti především v zajišťování vložek do bot, které by přispěly ke snížení intenzity bolesti v oblasti dolních končetin. U pracoviště izolování rovné části bych doporučila zakoupení balanční podložky určené speciálně pro židle, která je vhodná při dlouhotrvajícím sezení a příznivě působí proti bolestem zad.



Obrázek 4.1: Příklad balanční podložky Dynair [21]

4.2 Výrobní procesy DAX – návrh na zlepšení

I přesto, že jsou výrobní procesy pomocí systému neustálého zlepšování velmi dobře propracované, doporučila bych pár změn, které by mohly vést k jejich dalšímu vylepšení. Oba dva analyzované výrobní procesy jsou velice složité, z tohoto důvodu bych navrhovala pro jejich zpřehlednění zavést do společnosti používání metodiky ARIS a veškeré výrobní procesy převést na modely přidané hodnoty nebo eEPC diagramy. Tyto modely by pomohly nově přijatým zaměstnancům nebo vedoucím pracovníkům se rychleji zorientovat v jednotlivých operacích procesů.

4.2.1 MUDA - Plýtvání materiálem

Jak bylo popsáno v kapitole 2.2.1, existuje 7 základních druhů plýtvání, které se označují jako MUDA. V případě jejich zamezení se zvýší produktivita a tím i efektivita procesu. Během analýzy činnosti stříhání při výrobních procesech DAX jsem zaznamenala plýtvání materiálem, protože se používají bubny s různým množstvím navinutého materiálu. Bubny s navinutým materiálem se liší v kvalitě a délce navinutého vodiče. Protože se používají materiálu různé délky, tak dochází k plýtvání materiálem. Navíc kvůli častější výměně bubnů s menším množstvím navinutého vodiče také dochází k časovým ztrátám. V případě trochu méně kvalitního materiálu vodiče je zde riziko, že při tvarování popraská opředení vodiče a tím může dojít ke vzniku zkratů. Z tohoto důvodu bych doporučila odběr bubnů se stejným a zároveň maximálním množstvím navinutého vodiče.

4.2.2 Průměrné doby trvání operací procesů – nápravná opatření

Při měření časového vytížení jednotlivých činností těchto operací jsem zaregistrovala časové ztráty při přesunu tyčí mezi jednotlivými pracovišti. Největší ztráta byla zjištěna při přesunu tyče DAX 9 mezi stanovišti pro izolování základu nebo rovné části a vytvrzování. Tento časový přesun činil v průměru 2–4 minuty u každé tyče. Pro snížení časových ztrát nejen pro tento druh tyče bych doporučila, aby pracoviště izolování byly rozmístěny, co nejblíže k jednotlivým lisům a zároveň by všechna pracoviště vytvrzování měla mít svůj ovíjecí stroj.

Ve výrobní hale se nacházejí i dva ruční ovíjecí stroje, které se během analýzy procesů nevyužívaly. Ruční ovíjecí stroje se nepoužívají z důvodu těžké manipulace a zároveň kvůli vysokým nárokům na přesnost ovíjení. Protože tyto stroje nejsou používány, navrhl bych pro lepší využití tohoto místa, zkvalitnění výroby a zvýšení produkce zakoupit dalšího ovíjecího robota podobného nebo stejného typu jako je již současný robot od společnosti Micamation Ltd.

4.2.3 Rozšíření zavedené metodiky 5S

Je nutné podotknout, že firma BRUSH SEM s.r.o. je z hlediska metody 5S vyhovující. Ve výrobní hale cívkárny je hranice hlavní cesty označená žlutou páskou, tato páska slouží pro určení cesty návštěvníkům a zároveň i pro pracovníky, aby měli přehled o prostoru a jeho okolí. Další zavedení této metody lze spatřovat v regálech, ve kterých jsou pomůcky

velice pečlivě roztríděné do určených boxů, které jsou opatřeny štítkem pro rychlejší a snadnější orientaci při hledání náhradních pomůcek a izolačních materiálů.



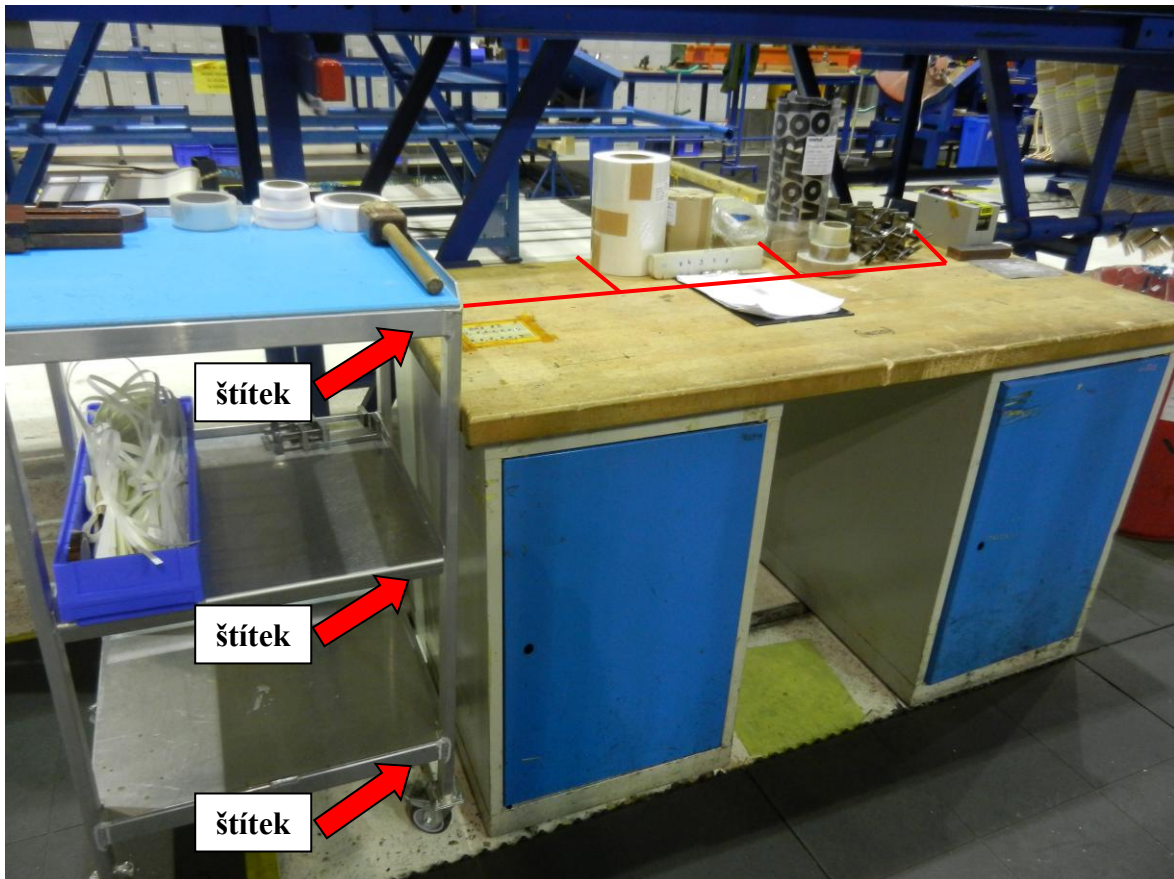
Obrázek 4.2: Zavedená opatření metody 5S – označení hlavní cesty a uspořádání pomůcek

Na obrázku 3.20 je zobrazeno další opatření pro uspořádání pracovních pomůcek na pracovišti tvarování, při kterém byla využita i metodika POKA – YOKE. Tento nápad bude do budoucna velmi spolehlivým opatřením proti zamezení vzniku nepořádku na daném pracovišti. Jediné, co bych ještě doplnila, jsou štítky s názvy jednotlivých pracovních pomůcek k určeným vymezením pro zdůraznění, kam přesně tyto pracovní pomůcky patří. Navíc by štítky s jednotlivými názvy pomohly nově přichozím zaměstnancům se lépe a rychleji zorientovat v pracovních pomůckách používaných pro dané pracoviště.

U pracovišť, kde jsou umístěny dřevěné nebo plastové stoly, na kterých není možné provést zmíněné předchozí opatření POKA - YOKE, bych doporučila zavést barevné pásy, které by ohraničovaly umístění pro jednotlivé pomůcky, tato umístění bych pro přehlednost označila opět štítky s názvy pracovních pomůcek, pro které je dané místo určené.

Na obrázku 4.3 je zobrazeno, jak by takové pracoviště mohlo vypadat. Zároveň bych u těchto pracovišť zavedla boxy se štítky na pomocné přípravky, jako jsou spony nebo

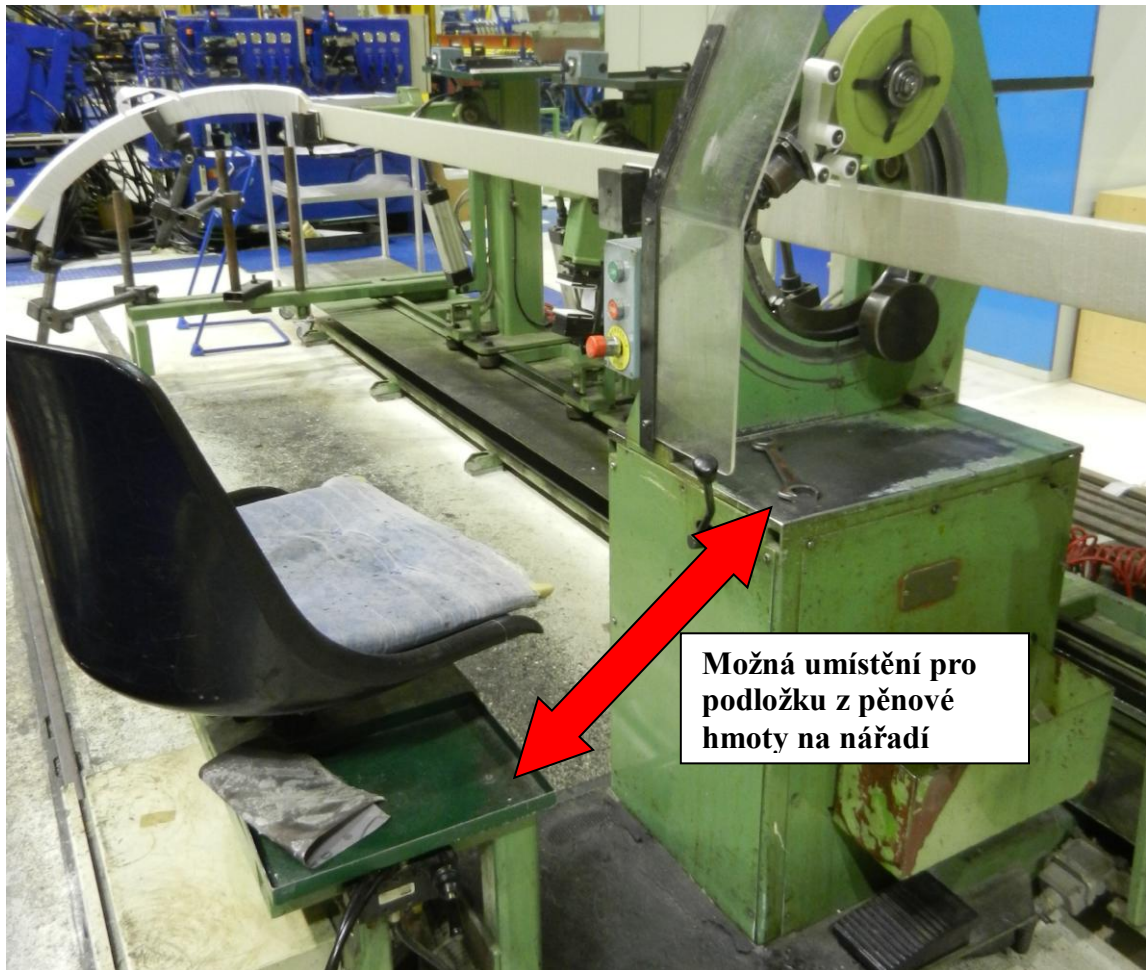
svěrky. U posuvného stolečku bych k jednotlivým regálům umístila štítek, aby bylo názorně vidět, k čemu slouží jednotlivé regály, například poslední regál by mohl být označen štítkem osobní věci pracovníka. Do tohoto regálu by si pracovník mohl umístit svůj kufřík a další věci. Toto navrhované řešení vychází z prostudovaného článku [22].



Obrázek 4.3: Návrh uspořádání pracoviště

4.2.4 POKA – YOKE: Pracoviště izolování rovné části

Další vylepšení s využitím metody POKA - YOKE by bylo možné zavést na pracovišti izolování základu. Během izolování je pracovnice povinna vyměňovat prázdné izolační pásky za nové. Pro provedení této operace musí použít plochý klíč k povolení již spotřebované izolační pásky, která je nahrazena novou. Po nasazení se musí nová páska utáhnout. Plochý klíč je většinou položený na ovíjecím stole, aby ho pracovnice nemusela neustále hledat. Toto umístění je sice vhodné, ale jelikož je klíč pouze položen na stroji, tak to nehodnotím za příliš bezpečné. Navíc další používanou pomůckou na tomto stanovišti je metr, který je umístěný mimo stroj.



Obrázek 4.4: Návrh pro umístění podložky

Aby bylo pracoviště bezpečnější a zároveň přehlednější, doporučila bych zakoupení podložky z pěnové hmoty s možností vyřiznutí přesného obrysu nářadí a pomůcek. Podložka by se pak mohla přilepit na jedno z určených míst podle obrázku 4.4.

5 Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo zanalyzovat a případně namodelovat vybrané výrobní procesy společnosti BRUSH SEM s.r.o., která se zaměřuje na vlastní výrobu turbogenerátorů a navrhnout možná řešení pro optimalizaci těchto procesů.

V první kapitole byl odborně a teoreticky rozebrán důvod zavedení procesního řízení do společnosti. Byl zde uveden popis, klasifikace a životní cyklus procesu. Dále bylo v další kapitole navázáno na tuto problematiku a byl zde uveden přehled a popis jednotlivých metodik používaných při optimalizaci a modelování procesů.

V první polovině praktické části práce byla představena základní charakteristika vybrané společnosti BRUSH SEM s.r.o., čtenáři byli seznámeni s hlavními cíli a vyznávanými hodnotami, předmětem podnikání, organizačním schématem a SWOT analýzou. Druhá část obsahuje analýzu současného stavu vybraných výrobních procesů statorových tyčí DAX. Pro přehlednost zde byly znázorněny procesy pomocí diagramu přidané hodnoty, které byly vytvořeny v programu Aris Express. Další část této kapitoly byla věnována ergonomické analýze rizik na pracovišti izolování základu statorových tyčí. Data byla vyhodnocena na základě metody RULA, která byla speciálně vyvinuta pro zjištění ergonomických rizik na pracovištích, kde se nejvíce zatěžuje horní část těla. Tato metoda byla vyhodnocena pomocí dostupného softwarového programu a listů Národního referenčního pracoviště pro fyziologii a psychologii práce. Dále bylo provedeno vyhodnocení dat z dotazníků pro subjektivní hodnocení zatížení pohybového aparátu zaměstnanců dané společnosti.

V rámci poslední kapitoly praktické části diplomové práce byla na základě vyhodnocených dat z přechodí kapitoly navržena možná řešení pro optimalizaci stavu současných procesů a ergonomii na pracovištích izolování. Jedním z opatření by mělo být zavedení standardního odběru bubnů se stejným a zároveň maximálním množstvím navinutého vodiče. Toto opatření by zamezilo plýtvání materiálu a také časovým ztrátám, které vznikají během časté výměny bubnů. Z výsledných údajů bylo zjištěno, že pro dosažení strategie firmy, tedy 100% spokojenosti všech zainteresovaných stran, je potřeba zavedení kvalitnějších pracovních pomůcek a přidání další pauzy zaměstnancům, kteří

tvoří základní a také hlavní pracovní sílu společnosti. Pro zlepšení ergonomických rizik na pracovištích by bylo vhodné trvale zavést metodiku RULA a investovat kapitál do stojanů pro izolování, u kterých by bylo vhodné minimálně pořídit automatické hydraulické zvedáky, které by usnadnily nastavitelnost výšky stojanu a tím zlepšily přizpůsobitelnost výšce zaměstnanců. Pokud chce společnost dosáhnout v blízké budoucnosti svého vytyčeného cíle, budou tato řešení nezbytná pro jeho naplnění. Investice se společností navrátí v podobě spokojenějších zaměstnanců, lepší motivace a výkonnosti při práci a je pravděpodobné, že se i tak sníží počet chybných rozhodnutí během práce, protože zaměstnanci budou pracovat v příjemnějším a pohodlnějším prostředí.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ŘEPA, Václav. *Podnikové procesy: procesní řízení a modelování*. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007, 281 s. ISBN 978-80-247-2252-8.
- [2] BASL, Josef. *Modelování a optimalizace podnikových procesů: procesní řízení a modelování*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002, 140 s. ISBN 80-708-2936-2.
- [3] BRUSH SEM s.r.o. *Interní dokumenty*. Plzeň, 2015.
- [4] BRUSH-SEM s.r.o.: O nás. [online]. [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://www.brush-sem.cz/o-nas>
- [5] HIROYUKI, Hirano. *5S pro operátory: 5 pilířů vizuálního pracoviště*. Brno: SC&C Partner 2009, 2009. ISBN 978-80-904099-1-0.
- [6] LUKASÍK, Petr, Jaroslav PROCHÁZKA a Vladimír VANĚK. *Procesní řízení: Text pro distanční studium*. Ostrava: Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, Katedra informatiky a počítačů. 90 stran.
- [7] IMAI, Masaaki. *Kaizen: Metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku*. 1. vyd. Praha: Computer Press, a. s., 2011. ISBN 978-80-251-1621-0.
- [8] ikvalita.cz. POKA - YOKE. *Ikvalita.cz: Portál pro kvalitáře* [online]. 2005, 2013 [cit. 25.4.2015]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=139>
- [9] ŘEPA, Václav. *Procesně řízená organizace*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 301 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-4128-4.
- [10] KEŘKOVSKÝ, Miloslav. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 2. vyd. Praha: C. H. Beck, 2009. ISBN 978-80-7400-119-2.
- [11] TŮMOVÁ, Olga a Dušan PIRICH. *Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita v Plzni, 2003, 153 s. ISBN 80-7043-247-0.
- [12] HLÁVKOVÁ, Jana a VALEČKOVÁ, Alena. Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik. *Státní zdravotní ústav* [online]. 19.2.2007 [cit. 25.4.2015]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/ergonomicke-checklisty-a-nove-metody-prace-pri-hodnoceni>
- [13] VALEČKOVÁ, Alena. Moderní metody v hodnocení ergonomických rizik. *JOSRA* [online]. 30.4.2008 [cit. 25.4.2015]. Dostupné z: http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-01-2008/nove_metody_valeckova.html
- [14] *Osmond Ergonomics: RULA – Rappid Upper Limb Assessment* [online]. [cit. 25.4.2015]. Dostupné z: <http://www.rula.co.uk>
- [15] SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 223 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0.
- [16] Tupa, Jiří; Steiner, František; Skočil, Vlastimil. Modelování a optimalizace diagnostických procesů. *Electroscope* [online]. 12.2.2007, [cit. 25.4.2015]. ISSN 1810-4564. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/381/r0c2.pdf>
- [17] Tupa, Jiří; Čengery, Jiří. Přínosy zavádění procesního řízení pro malosériovou výrobu v elektronice. *Electroscope* [online]. 22.11.2007 [cit. 25.4.2015]. ISSN 1816-4564. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/387/r0c1c15.pdf>

- [18] Löffelmann, Jiří. Trendy a nové metody v oblasti plánování a řízení výroby. *IT Systems* [online] 2001 [cit. 25.4.2015]. Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/clanky/trendy-a-nove-metody-v-oblasti-planovani-a-rizeni-vyroby.htm>
- [19] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. Štíhlý a inovativní podnik. Praha: Alfa Publishing, 2006. ISBN 978-80-86851-38-9.
- [20] Ishikawa diagram. In: svetproduktivity.cz. [online]. [cit. 25.4.2015]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/Ishikawa-diagram.htm>
- [21] Dynair sedací klín – TOGU. In: rehabilitace-sport.cz [online]. [cit. 25.4.2015]. Dostupné z: <http://www.rehabilitace-sport.cz/podlozky-kliny-usece/171-dynair-sedaci-klin-togu-ruzne-varianty.html>
- [22] Machalová, Veronika. 5S v administrativě. *Úspěch – Produktivita a inovace v souvislostech* [online]. 5.3.2009 [cit. 25.4.2015]. Dostupné z: <http://e-api.cz/article/69134.5s-v-administrative/>
- [23] Bařa Tomáš. Řízení procesů. In: managementmania.com [online]. 2.7.2014 [cit. 25.4.2015]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/rizeni-procesu>
- [24] podnikator.cz. Metody ergonomie pro použití v praxi *Podnikator.cz: pomůže Vám v podnikání* [online]. 25.3.2013 [cit. 25.4.2015]. Dostupné z: <http://www.podnikator.cz/provoz-firmy/management/rady-pro-manazery/n:16784/Metody-ergonomie-pro-pouziti-v-praxi>
- [25] LAMBERT M., Douglas, James R. STOCK a Lisa M. ELLARM. *Logistika*. Praha: Computer Press, a.s., 2000. ISBN 80-7226-221-1.

Přílohy

Příloha A – Dotazník subjektivního hodnocení

Příloha B – Listy pro hodnocení dle Národního referenčního pracoviště pro fyziologii a psychologii práce

Příloha C – Tabulky pro vyhodnocení metody RULA

Příloha D – Pracovní listy metodiky RULA pro záznam bodového hodnocení

Příloha E – Tabulky dob trvání jednotlivých operací

Příloha F – Celková analýza výrobního procesu DAX 9

Příloha A – Dotazník subjektivního hodnocení

Dobrý den, jmenuji se Andrea Benešová a jsem studentkou Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Tento dotazník slouží pouze pro zpracování informací do diplomové práce, která se zabývá optimalizací výrobních procesů. Z tohoto důvodu si Vás dovoluji požádat o vyplnění tohoto dotazníku.

Předem Vám děkuji za Vaš čas a ochotu.

Dotazník pro zhodnocení zatížení pohybového aparátu pracovníků BRUSH SEM s.r.o.

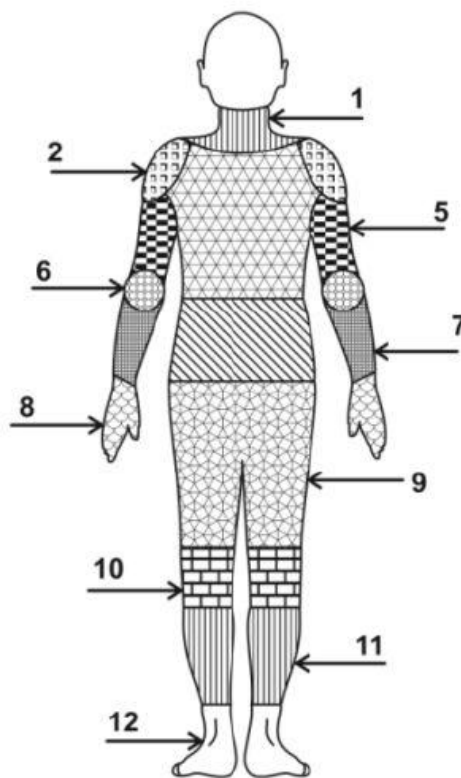
Pohlaví:	
Věk:	
Doba zaměstnání v daném podniku:	
Datum vyplnění dotazníku:	

- 1) Prosím doplňte následující tabulku podle vážnosti příznaků, které pocítíte během práce nebo po práci. Intenzitu bolesti vyjádřete čísly od 0 do 4.

- 0: žádná
 1: mírná
 2: průměrná
 3: silná
 4: nesnesitelná

Tabulka 1: Subjektivní hodnocení zátěže pohybového aparátu [1]

Subjektivní hodnocení zátěže pohybového aparátu		
Označení na obrázku	Část těla	Intenzita bolesti
1	Krk	
2	Ramena	
3	Horní část zad	
4	Bederní část zad	
5	Paže	
6	Lokty	
7	Předloktí	
8	Zápěstí a ruce	
9	Kyčle	
10	Kolena	
11	Bérce	
12	Nohy	



Obrázek 1: Schéma lidského těla [1]

- 2) Jste spokojen s Vaší prací?
- velmi spokojen
 - spokojen, ale přivítal/a bych menší změny
 - nespokojen

- 3) V případě, že jste u předchozí otázky zvolil/a druhou nebo třetí možnost, vyberte prosím jednu nebo více odpovědí z následujících možností nebo písemně uveďte jiný důvod.
- nedostačující pracovní pauzy
 - nedostatečné střídání pracovních pozic
 - nezajištění kvalitních pracovních pomůcek (např. obuv, vložky do bot, špunty do uší)

Jiný důvod:

- 4) Jsou pro Vás pracovní pauzy dostatečné?
- ano
 - ne
- 5) Pokud jste zvolil/a u předchozí otázky odpověď ne, vyberte jednu z následujících možností nebo prosím napište svůj návrh na zlepšení.
- změna doby pracovní pauzy
 - prodloužení současných pracovních pauz
 - přidání další pauzy

Váš jiný návrh na zlepšení:

Seznam literatury:

[1] HLÁVKOVÁ, Jana a VALEČKOVÁ Alena. Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik, In: www.szu.cz [online]. 2007 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/ergonomickechecklisty-a-nove-metody-prace-pri-hodnoceni>

Příloha B – Listy pro hodnocení dle Národního referenčního pracoviště pro fyziologii a psychologii práce

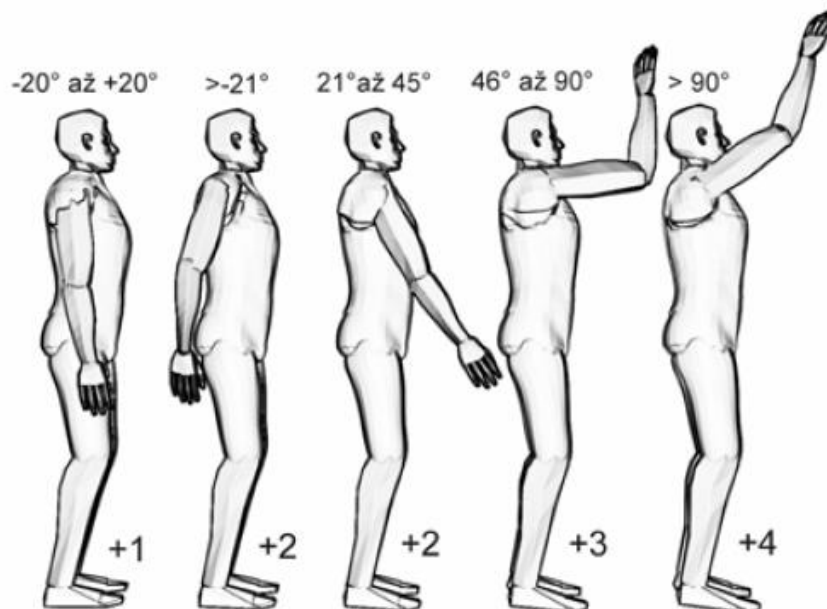
PAŽE

Čtyři základní polohy:

Poloha/rozsah	Skóre
Flexe 0–20°, extenze 0–20°	1
Flexe 21–45°, extenze > 21°	2
Flexe 46–90°	3
Flexe > 90°	4

Dodatečné body (proměnné skóre):

- +1 paže v odtažení
- 1 při opoře váhy paže
- +1 zvednutá ramena nebo nadměrné použití telefonu



Maximální možné skóre paží = 6 bodů

Obrázek 1: List pro vyhodnocení paží [12]

PŘEDLOKTÍ**Dvě základní polohy:****Poloha/rozsah**

Flexe 60–100°

Flexe a extenze > 100°

Skóre

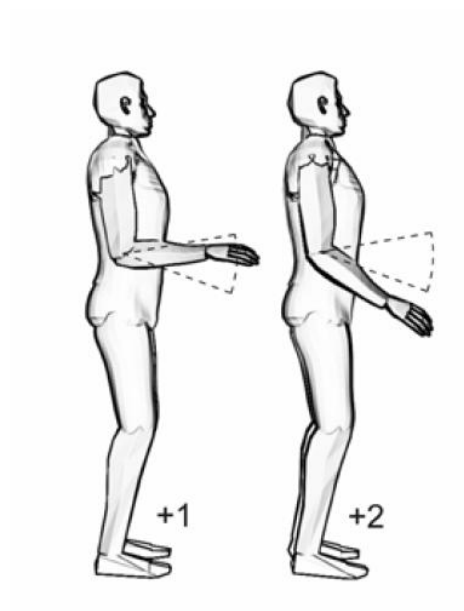
1

2

Dodatečné body (proměnné skóre):

+1 paže křížící střednici nebo ven na stranu

-1 sezení s nízko položenou klávesnicí A negativní naklonění



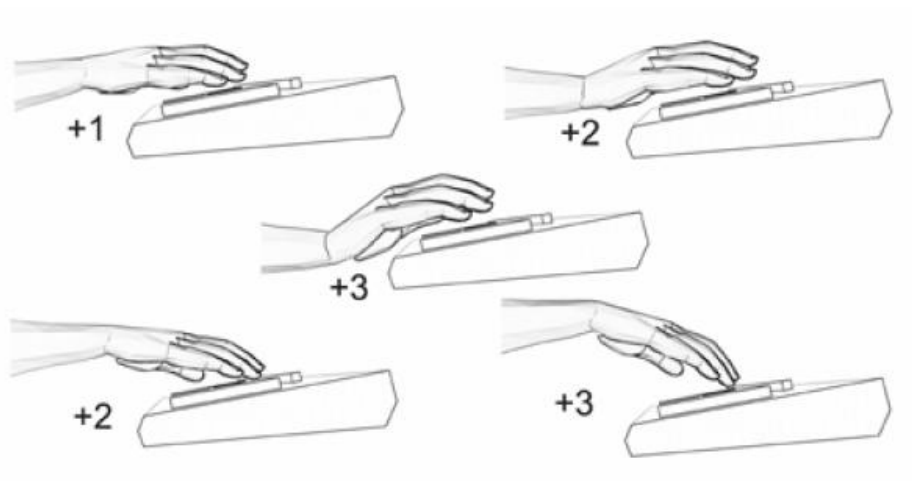
Maximální možné skóre předloktí = 3 body

Obrázek 2: List pro vyhodnocení předloktí [12]

ZÁPĚSTÍ

Dodatečné body (proměnné skóre):

- +1 zápěstí odkloněno (ulnárně/radiálně)
- +1 zápěstí v neutrální poloze nebo stočené ve střední poloze
- +2 téměř krajní rotace zápěstí



Maximální možné skóre zápěstí = 6 bodů.

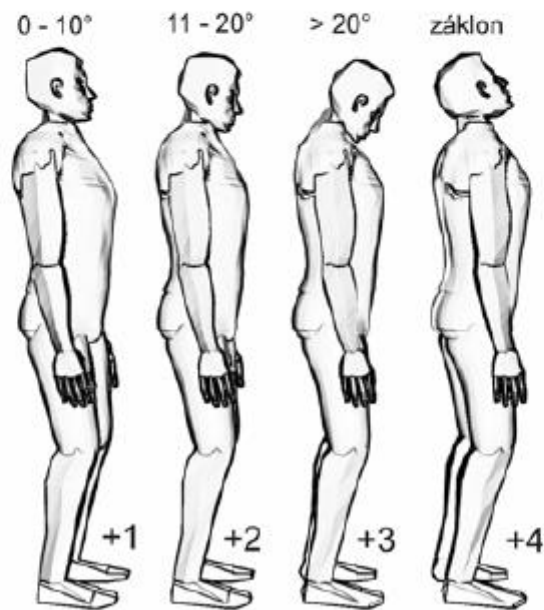
Obrázek 3: List pro vyhodnocení zápěstí [12]

KRK**Čtyři základní polohy**

Poloha/rozsah	Skóre
Flexe 0–10°	1
Flexe 10–20°	2
Flexe > 20°	3
Extenze	4

Dodatečné body (proměnné skóre):

- +1 otočený krk
- +1 krk nakloněný na stranu



Maximální možné skóre krku = 6 bodů

Obrázek 4: List pro hodnocení krku [12]

TRUP

Čtyři základní polohy:

Poloha/rozsah

vzpřímený, dobrá opěra,

úhel kyčel-trup $\geq 90^\circ$

Flexe 11–20°

Flexe 21–60°

Flexe $> 60^\circ$ **Skóre**

1

2

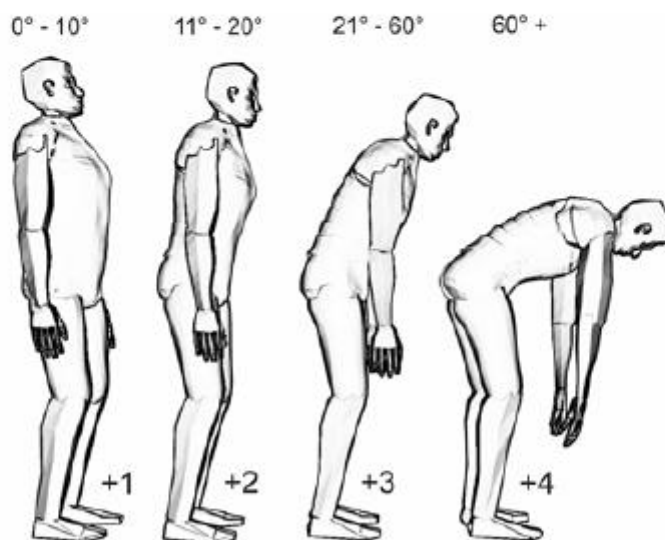
3

4

Dodatečné body (proměnné skóre):

+1 trup otočený na stranu

+1 trup nakloněný na stranu



Maximální možné skóre trupu = 6 bodů.

Obrázek 5: List pro vyhodnocení trupu [12]

Skóre nohou

- +1 nohy a chodidla jsou při sedu dobře podepřeny, vyrovnané zatížení
- +1 stoj s rovnoměrným rozložením na obě chodidla
- +2 nohy/chodidla nepodepřena nebo nerovnoměrně zatížena

Skóre užívané u svalů

- +1 převážně statická poloha u práce (např. držení více jak 1 min. nebo opakování více než 4krát za min.)
- +1 provádějí-li práci ve statické poloze více než 2 hodiny

Poznámky:

Maximální možné skóre nohou = 2 body.

Maximální možné skóre používané u svalů = 1 bod.

Silové – zátěžové skóre

Skóre zohledňuje sílu a zátěž vynakládanou při práci:

- +1 Žádná překážka + méně než 2 kg přerušované zátěže nebo síly
- +1 2–10 kg přerušované zátěže nebo síly
- +1 2–10 kg statická zátěž
- +1 2–10 kg opakující se zátěž nebo síla
- +1 10 kg či více přerušované zátěže nebo síly
- +1 10 kg statická zátěž
- +1 10 kg opakovaná zátěž nebo síla
- +1 náraz nebo prudké zvyšování síly

Pro práci se zobrazovací jednotkou zahrnuje toto skóre časové hledisko:

- +1 ≥ 4 hodiny a ≤ 6 hodin
- +2 > 6 hodin/den

Poznámka:

Maximální možné silové – zátěžové skóre = 2 body.

Obrázek 6: List pro vyhodnocení nohou a zátěže [12]

Příloha C – Tabulky pro vyhodnocení metody RULA

Tabulka 1: Tabulka pro určení skóre polohy horní končetiny [12]

Tabulka A (Skóre polohy horní končetiny)

		Skóre zápěstí							
		1		2		3		4	
		zápěstí	stočení	zápěstí	stočení	zápěstí	stočení	zápěstí	stočení
Paže	Předloktí	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Skóre tabulky A + používané u svalů + silové skóre → Skóre C

Tabulka 2: Tabulka pro určení skóre postavení krku, trupu a nohou [12]

Tabulka B (skóre postavení krku, trupu a nohou)

		Skóre trupu											
		1		2		3		4		5		6	
		skóre nohou		skóre nohou		skóre nohou		skóre nohou		skóre nohou		skóre nohou	
Krk		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9

Skóre tabulky B + používané u svalů + silové skóre → Skóre D

Tabulka 3: Tabulka pro určení celkového skóre [12]

Tabulka C (celkové skóre)

Celkové skóre									
	Skóre D = skóre tabulky B + skóre svalové + síla								
Skóre C*	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	2	3	3	4	5	5	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6	6	6
4	3	3	3	4	5	6	6	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7	7	7
8	5	5	6	7	7	7	7	7	7
9	5	5	6	7	7	7	7	7	7

*Skóre C = postavení horní končetiny dle tabulky A + svalové užití (levé/pravé) + síla (levá/pravá)

Příloha D – Pracovní listy metodiky RULA pro záznam bodového hodnocení

Levá strana:						
Levá HK						<input type="checkbox"/> Zvednuté rameno <input type="checkbox"/> HK v abdukci <input type="checkbox"/> Sklonění nebo podpora váhy paže
Levá HK						<input type="checkbox"/> činnosti přes střednici těla nebo na stranu
Levé zápěstí						<input type="checkbox"/> Zápěstí vytočeno mimo střednici Select if wrist is bent away from midline
Levé zápěstí otočené			Síla & zátěž pro levou stranu ruky VYBĚŘTE JEDNU Z NÁSLEDUJÍCÍCH MOŽNOSTÍ: <input type="checkbox"/> žádná překážka + méně než 2 kg přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 2-10kg přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 2-10kg statická zátěž <input type="checkbox"/> 2-10kg opakující se zátěž nebo síla <input type="checkbox"/> 10kg či více přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 10kg statická zátěž <input type="checkbox"/> 10kg opakovaná zátěž nebo síla <input type="checkbox"/> náraz nebo prudké zvyšování síly			
Užití svalu	<input type="checkbox"/> Poloha převážně statická, např. Držení více jak 1 min. nebo opakování více než 4krát za min.					

Obrázek 7: Pracovní list pro vyhodnocení levé horní končetiny [12]

Krk					
Otočený krk		Neck is twisting			
Krk nakloněný na stranu		Neck is side-bending			
Trup					
Trup otočený		Neck is twisting			
Trup nakloněn na stranu		Trunk is side-bending			
Dolní končetiny		DK a chodidla jsou dobře podepřena a v rovnoměrně vyvážené poloze		DK a chodidla NEJSOU rovnoměrně vyvážené a podepřené	
Síla & zátěž pro krk, trup a dolní končetiny	VYBERTE JEDNU Z BANÍZENÝCH MOŽNOSTÍ: <input type="checkbox"/> žádná překážka + méně než 2 kg přerušované zátěže <input type="checkbox"/> 2-10kg přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 2-10kg statická zátěž <input type="checkbox"/> 2-10kg opakující se zátěž nebo síla <input type="checkbox"/> 10kg či více přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 10kg statická zátěž <input type="checkbox"/> 10kg opakovaná zátěž nebo síla <input type="checkbox"/> náraz nebo prudké zvyšování síly				
Užití svalů	<input type="checkbox"/> Poloha převážně statická, např. Držení více jak 1 min. nebo opakování více než 4krát za min.				

Obrázek 8: Pracovní list pro vyhodnocení polohy krku, trupu a nohou [12]

Příloha E – Tabulky dob trvání jednotlivých operací

Tabulka 4: Měření doby trvání operace tvarování DAX 7

Měření doby trvání operace tvarování (DAX 7) - 2 pracovníci							
Operace	Jednotlivé činnosti	1. měření		2. měření		3. měření	
		Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2
Složení lamel do tyče	naskládání lamel na sebe	0:05	0:31	0:11	0:09	0:10	0:07
	ohyb lamel						
	srovnání, upevnění a svázání lamel do tyče	2:29		2:01		1:53	
Přenos tyče do tvarovače	čekání na jeřáb	0:51		1:34		2:29	
	přenos tyče do tvarovače	0:32		0:35		0:34	
Tvarování a označení tyče	upevnění tyče a vyznačení středu	0:55			0:31	0:57	
	srovnání rovné části		0:26	0:50			0:32
	ruční tvarování čela	0:10	0:14	0:11	0:12	0:15	0:11
	dotvarování pomocí nástrojů	0:28	0:23	0:23	0:17	0:26	0:29
	proložení nomexovými vložkami	0:55	0:53	0:59	0:56	0:52	0:56
	tvarování čel	20:15	21:58	22:19	23:40	31:45	28:37
	svázání čela	0:55	0:59	0:38	1:13	1:37	1:25
	sundání upevnění horního ohybu	0:19	0:13	0:17	0:29	0:24	0:38
	svázání horního ohybu	0:09	0:33	0:11	0:16	0:17	0:21
	označení tyče	0:15			0:20	0:35	0:22
Přenos tyče na stojan	čekání na jeřáb	4:21		1:14		0:23	
	přenos tyče na stojan	1:19		1:52		1:48	
Vyplnění štítku		0:58		0:41		0:47	
Celkový čas operace:		37:17		36:43		46:53	
Naměřený celkový čas:		37:55		43:24		47:48	

Tabulka 5: Měření doby trvání operace izolování základu DAX 7

Měření doby trvání operace izolování základu (DAX 7) - 2 pracovníci									
Operace	1. měření			2. měření			3. měření		
	Pracovník - 1	Pracovník - 2		Pracovník - 1	Pracovník - 2		Pracovník - 1	Pracovník - 2	
Oprava poškozených míst	ovin v místě ohybu - E23	9:18	6:56	7:19	8:33		10:21		7:41
	kontrola a vyspravení izolace		2:03	3:01					1:22
Přenos tyče do stojanu		1:23		1:39					1:12
Naizolování základu	ovin páskou H9	2:10			4:25		2:55		
	proložení lamel a připojení k transformátoru	4:14	4:42	0:22	0:19		4:27		4:38
	ohřev tyče		4:48		2:53				1:26
	naizolování základu		14:23		17:22				13:39
Přenos tyče do tvarovače		1:19		1:27					1:08
Dotvarování	založení a upevnění tyče	1:21		1:26					0:50
	přerovnění rovné části	0:27		0:31					1:26
	dotvarování čel	1:40		1:36					2:14
Vyplnění štítku			0:42		1:13		1:23		
Přenos tyče na pracoviště vytvrzování		2:03		1:45					2:12
Celkový čas operace:		46:19		45:13			44:46		
Naměřený celkový čas:		47:23		46:05			45:58		

Tabulka 6: Měření doby trvání operace vytvrzení základu DAX 7

Měření doby trvání operace vytvrzení základu (DAX 7) - 3 pracovníci				
Operace	Jednotlivé činnosti	1. měření	2. měření	3.měření
Vložení tyče do lisu a vytvrzení základu	obalení tyče separační folií	2:35	3:10	2:06
	přenos tyče pro vytvrzení a zapnutí lisu	0:20	1:12	1:17
	proložení lamel a upevnění k transformátoru	2:56	1:59	2:10
Vyjmutí tyče a kontrola rozměrů	vypnutí	0:09	0:11	0:11
	otevření lisu a odpojení od transformátoru	0:35	0:38	0:37
	odstranění separační fólie	0:39	0:31	0:36
	odstranění K101	2:27	3:04	2:38
	kontrola rozměrů	0:44	0:51	0:49
Vyplnění štítku		0:20	0:23	0:21
Celkový čas operace:		10:45	11:59	10:45
Naměřený celkový čas:		11:26	12:08	10:54

Tabulka 7: Měření doby trvání operace izolování čel DAX 7

Měření doby trvání operace izolování čel (DAX 7) - 2 pracovníci							
Operace	Jednotlivé činnosti	1. měření		2. měření		3. měření	
		Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2
Naizolování čel tyče	založení tyče do stojanu	0:58		0:51		1:02	
	proložení lamel a připojení transformátoru	1:25		1:11		1:50	
	vyznačení délky zesílení	1:00		0:33		0:54	
	ovín - H9	0:32		1:02		0:33	
	ohřev tyče	5:53		4:16		9:01	
Přenos tyče do tvarovače	naizolování čel	16:04		34:05		15:41	
Dotvarování	založení a upevnění tyče	0:59		0:58		0:49	
	dotvarování čel		3:12		3:09	9:23	
Vyplnění štítku			1:31		2:24	3:07	
		1:07		1:22		0:57	
Celkový čas operace:		32:41		49:51		43:17	
Naměřený celkový čas:		36:42		52:46		44:01	

Tabulka 8: Měření doby trvání operace izolování rovné části DAX 7

Měření doby trvání operace izolace rovné části (DAX 7) - 1 pracovník				
Operace	Jednotlivé činnosti	1. měření	2. měření	3.měření
Seřízení ovíjecího stroje	příprava stroje pro tyče DAX 7	7:59		
Naizolování rovné části ovíječkou	přesun tyče a založení do ovíjecího stroje	1:40	2:07	1:47
	kontrola tyče	0:27	0:57	3:12
Navinutí vodivé pásky	odvinutí separační pásky	0:46	0:45	1:23
	izolování - H9	2:08	2:46	4:26
	označení míst pro izolování	0:21	0:23	0:24
	příprava materiálu	1:36	2:00	1:50
	izolování včetně výměň pásek	8:58	8:54	8:01
	proměření šířky a označení	1:41	1:31	2:56
	ovin páskou E8	4:26	2:35	5:18
	ovin separační páskou	7:58	4:31	6:59
Vyplnění štítku		2:15	2:34	2:01
Přenos tyče na pracoviště vytvrzování		1:20	1:43	1:25
Celkový čas operace:		41:35	30:43	39:42
Naměřený celkový čas:		48:15	31:43	43:44

Tabulka 9: Měření doby trvání operace vytvrzení hlavního ovinu DAX 7

Měření doby trvání operace vytvrzení hlavního ovinu (DAX 7) - 3 pracovníci				
Operace	Jednotlivé činnosti	1. měření	2. měření	3. měření
Vložení tyče do lisu a vytvrzení základu	obalení tyče separační folií	2:09	1:54	1:13
	založení tyče do lisu a zapnutí lisu	1:00	1:10	1:24
Dotvarování čel a kontrola rozměrů	vypnutí	0:58	0:20	0:32
	otevření lisu a přenos tyče na stojan	0:15	0:19	0:16
	kontrola vytvrzovacích pravítek	0:22	0:44	0:17
	odstranění separační fólie	1:37	1:00	2:53
	odstranění tkaniny F2	1:37	2:17	1:25
	kontrola rozměrů	1:00	0:45	1:01
	přenos tyče do tvarovače a dotvarování tyče	0:28	0:43	1:13
Navinutí ochrany proti koruně	vyznačení délky ovinu	0:12	0:10	0:33
	ovin ochrany proti koruně	4:33	6:58	4:59
	přesun tyče na stojan	0:12	0:32	0:38
Vyplnění štítku		0:12	0:16	0:16
Celkový čas operace:		14:35	17:08	16:40
Naměřený celkový čas:		14:50	17:16	16:49

Tabulka 10: Měření doby trvání operace stříhání DAX 9

Měření doby trvání operace stříhání (DAX 9) - 2 pracovníci							
Operace	Jednotlivé činnosti	1. měření		2. měření		3. měření	
		Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2
Roebí: nastříhání vodiče na lamely	nastříhání lamel na délku pro jednu polovinu tyče	16:58		16:50		16:59	
Zhotovení permutace poloviny tyče		4:44		4:57		3:28	
Složení lamel do tyče a označení	složení polovin do tyče	2:32		2:46		1:17	
	překlepání permutované části a svázání tyče	3:12		2:48		2:53	
	označení tyče		0:13		0:15	0:36	
Proložení řad izolací	odstranit provizorní svázání		0:34		0:34	0:42	
	vložit izolaci řad	7:10		7:55		8:19	
	svázání		2:29		3:00	2:51	
Vyplnění štítku		1:00		0:58		1:00	
Celkový čas operace:		38:52		40:03		38:05	
Naměřený celkový čas:		43:09		45:03		42:18	

Tabulka 11: Měření doby trvání operace tvarování DAX 9

Měření doby trvání operace tvarování (DAX 9) - 2 pracovníci						
Operace	1. měření		2. měření		3. měření	
	Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2
Jednotlivé činnosti	založení a upevnění tyče v tvarovacího přípravku					
	2:09		1:32		2:18	
	3:19	3:24	2:00	2:15	2:48	2:39
	přetvarování čel					
	1:27		1:03		1:50	
	přesun tyče do formeru					
	0:33	2:27	1:18	0:35	0:39	0:51
	upevnění tyče ve formeru					
	0:41			1:04		1:11
	srovnání rovné části					
Tvarování a označení tyče	tvarování čel					
	39:02	44:49	44:06	43:28	36:39	39:08
	svázání čela					
	2:27	1:55	1:38	1:45	1:33	2:08
	označení tyče					
	0:08	0:10	0:13	0:19	0:36	2:45
	nastříkání elektroizolačního laku					
	0:09	0:13	0:10	0:12	0:10	0:11
	vyplnění štítku					
	0:47		0:55		1:36	
Přenos tyče na stojan	čekání na jeřáb					
	3:14		3:13		3:42	
přenos tyče na stojan						
3:16						
1:05:12						
Celkový čas operace:		1:02:15		1:01:35		
Naměřený celkový čas:		1:02:29		1:05:42		

Tabulka 12: Měření doby trvání operace izolování základu DAX 9

Měření doby trvání operace izolování základu (DAX 9) - 2 pracovníci							
		1. měření		2. měření		3. měření	
Operace	Jednotlivé činnosti	Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2
Vložení izolace řad	vložení izolace řad v místech ohybu	0:43	0:49	0:49	0:44	0:36	1:28
Oprava poškozených míst lamel	oprava míst lamel L76	6:30	5:32	10:54	10:03	13:08	15:55
	svázání	4:00	4:12	1:32	1:58	1:10	1:40
Vložení izolace přechodu	odstranění provizorního svázání rovné části	2:51		2:47		2:55	
	příprava izolace		0:19		0:16		0:15
	vložení izolace přechodu	2:17		2:50		2:00	
Vyrovnání permutace	vyrovnání permutace	13:01	8:02	13:29	14:42	12:58	13:07
	svázání	0:15		1:44		0:59	
Izolování základu	naizolování základu H9		8:24		9:37		8:49
	založení tyče do stojanu	3:16		3:22		3:26	
	proložení lamel a připojení k transformátoru	1:29	1:14	0:44	0:59	1:12	1:15
	ohřev tyče	3:07		5:02		6:11	
	izolace základu	31:56		23:08		22:35	
Dotvarování	založení tyče do tvarovacího přípravku	1:55		2:10		1:55	
	upnutí tyče a přerovnání rovné části	2:24		2:43		2:21	
	dotvarování čel	7:27		4:15		5:31	
Přenos tyče na pracoviště vytvrzování:	3:54		4:02		3:31		
Celkový čas operace:		1:34:04		1:32:18		1:33:53	
Naměřený celkový čas:		1:41:33		1:35:42		1:37:21	

Tabulka 13: Měření doby trvání operace vytvrzení základu DAX 9

Měření doby trvání operace vytvrzení základu (DAX 9) - 3 pracovníci				
Operace	Jednotlivé činnosti	1. měření	2. měření	3. měření
Vložení tyče do lisu a vytvrzení základu	obalení tyče separační folií	2:08	1:51	2:12
	přenos tyče pro vytvrzení a zapnutí lisu	2:34	2:12	1:56
	rozehnutí lamel	2:55	3:17	0:53
Vyjmutí tyče a kontrola rozměrů	vypnutí lisu	1:50	0:55	0:43
	otevření lisu a přenos tyče na stojan	1:16	1:49	1:45
	odstranění separační fólie	0:50	0:42	0:47
	odstranění K101	3:34	4:26	2:32
	kontrola rozměrů	0:35	3:17	3:18
Vyplnění štítku		1:02	0:49	0:43
Celkový čas operace:		17:46	19:18	14:49
Naměřený celkový čas:		18:24	20:52	15:09

Tabulka 14: Měření doby trvání operace izolace čel DAX 9

Měření doby trvání operace izolování čel (DAX 9) - 2 pracovníci							
		1. měření		2. měření		3. měření	
Operace	Jednotlivé činnosti	Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2	Pracovník - 1	Pracovník - 2
Naizolování čel tyče	založení tyče do stojanu	2:05		1:58		2:01	
	odstranění tkanice F2	1:32		1:16		1:23	
	oprava poškozených míst	3:53		5:27		4:38	
	ovin - H9		1:23		1:17		1:21
	proložení lamel a připojení k transformátoru	2:01		2:07		2:15	
	ohřev tyče	5:16		8:59		7:29	
	naizolování čel	28:10		36:36		32:41	
Dotvarování	založení tyče	1:36		1:28		1:39	
	upevnění a dotvarování čel	10:02		10:29		10:19	
Vyplnění štítku			0:59		0:56		1:02
Celkový čas operace:		56:55		1:10:26		1:03:48	
Naměřený celkový čas:		1:01:20		1:11:03		1:05:24	

Tabulka 15 : Měření doby trvání operace izolace rovné části DAX 9

Měření doby trvání operace izolace rovné části (DAX 9) - 1 pracovník				
Operace	Jednotlivé činnosti	1. měření	2. měření	3. měření
Seřízení ovíjecího stroje	příprava stroje pro tyče DAX 9	16:14		
Naizolování rovné části ovíječkou	přesun tyče a založení do ovíjecího stroje	2:01	3:45	4:12
	kontrola tyče	1:03	1:44	0:52
Navinutí vodivé pásky	odvnutí separační pásky	1:31	1:32	1:39
	izolování - H9	4:34	6:19	4:42
	označení míst pro izolování	0:39	0:33	0:36
	příprava materiálu	1:14	1:37	1:23
	izolování včetně výměň pásek	18:11	15:56	18:03
	proměření šířky a označení	2:12	2:24	2:16
	ovin páskou E8	4:34	8:01	7:46
	ovin separační páskou	7:59	10:39	8:30
Vyplnění štítu		1:31	2:12	1:22
Přenos tyče na pracoviště vytvrzování		2:32	2:27	2:46
Celkový čas operace:		1:04:17	57:09	53:07
Naměřený celkový čas:		1:06:56	58:26	54:23

Tabulka 16: Měření doby trvání operace vytvrzení hlavního ovinu DAX 9

Měření doby trvání operace vytvrzení hlavního ovinu (DAX 9) - 3 pracovníci				
Operace	Jednotlivé činnosti	1. měření	2. měření	3. měření
Vložení tyče do lisu a vytvrzení základu	obalení tyče separační folií	2:34	4:20	2:58
	založení tyče do lisu a zapnutí lisu	2:12	1:40	3:26
Dotvarování čel a kontrola rozměrů	vypnutí	0:12	0:15	0:28
	otevření lisu a přenos tyče na stojan	2:23	1:48	1:43
	kontrola vytvrzovacích pravítek	0:29	0:16	0:37
	odstranění separační fólie	1:26	3:13	3:10
	odstranění tkaniny F2	1:07	1:01	0:55
	kontrola rozměrů	1:06	1:47	1:18
	přenos tyče do tvarovače a dotvarování tyče	1:32	1:19	1:52
Navinutí ochrany proti koruně	vyznačení délky ovinu	0:07	0:08	0:17
	ovín ochrany proti koruně	5:28	4:24	3:56
	přesun tyče na stojan	1:24	0:55	1:17
Vyplnění štítku		1:59	0:21	1:09
Celkový čas operace:		21:59	21:27	21:49
Naměřený celkový čas:		22:06	22:32	22:09

Příloha F – Celková analýza výrobního procesu DAX 9

Tabulka 17: Celková analýza výrobního procesu DAX 9

Proces výroby DAX 9				
vstup	činnosti	výstup	potřebné zdroje	měřitelné metriky
bubny s navinutými vodiči	stříhání a permutace	lamely	roebel, lidské, bubny s navinutými vodiči	čas, délka lamel
lamely	složení do tyče a proložení izolací řad	provizorně svázaná tyč s vloženou izolací řad	Izolační materiál, lidské, náradí	čas
provizorně svázaná tyč s vloženou izolací řad	tvárování a nástřik elektroizolačního laku	vytvarované lamely s provedeným elektroizolačním nástřikem	tvárovací přípravek, lidské, náradí, lak	čas
vytvarované lamely s provedeným elektroizolačním nástřikem	izolace řad čel a přechodu	svázané lamely do tyče s proloženou izolací	lidské, izolační a tvárovací přípravky	čas
svázané lamely do tyče s proloženou izolací	izolace základu a dotvarování tyče	naizolovaný a dotvarovaný základ tyče	lidské, izolační materiál, tvárovací přípravek, náradí	čas, tvar tyče
naizolovaný a dotvarovaný základ tyče	vytvrzování	vytvrzený základ tyče	lidské, lis	čas, rozměry tyče
vytvrzený základ tyče	Izolování a dotvarování čel	naizolovaná čela tyče	lidské, izolační a tvárovací přípravky	čas
naizolovaná čela tyče	izolování rovné části	naizolovaná rovná část tyče	lidské, ovíječka, izolační pásky	čas, kvalita naizolování čel
naizolovaná rovná část tyče	vytvrzování	hotová tyč	lidské, lis	čas, rozměry tyče