

# Návrh na umístění vyvažovacího stroje

Jakub Molda

---

Bakalářská práce  
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta managementu a ekonomiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta managementu a ekonomiky  
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Molda**  
Osobní číslo: **M19600**  
Studijní program: **B0413P050013 Průmyslové inženýrství**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Návrh na umístění vyvažovacího stroje**

## Zásady pro vypracování

### Úvod

Definujte cíle práce a použité metody zpracování práce.

#### I. Teoretická část

- Provedte průzkum literárních pramenů a na jejich základě zpracujte literární rešerši týkající se problematiky projektování výrobních systémů, charakteristiky elektrických točivých strojů a podstaty vyvažování rotorů.

#### II. Praktická část

- Analyzujte současný stav umístění vybraného stroje.
- Popište proces pro návrh umístění vyvažovacího stroje.
- Navrhněte možnosti řešení pro umístění a provoz stroje.

### Závěr



Rozsah bakalářské práce: **cca 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- CHROMJAKOVÁ, Felicita a RAJNOHA Rastislav. *Řízení a organizace výrobních procesů: kompendium průmyslového inženýra*. Žilina: GEORG, 2011, 138 s. ISBN 978-80-89401-26-0.
- DINÇER, Hasan a YUKSEL Serhat. *Innovative managerial thinking in global business economics*. Hershey: IGI Global, 2019, 641 s. ISBN 978-1-5225-7180-3.
- KOŠTURIAK, Ján. *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. Žilina: Žilinská univerzita, 2000, 397 s. ISBN 80-7100-553-3.
- ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony: příručka techniky, volby a užití vybraných strojů*. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 641 s. ISBN 80-7300-092-X.
- SOUČKOVÁ, Ingrid a JERZ Vladimír. *Logistika v odbore*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2019, 153 s. ISBN 978-80-227-4979-4.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Melišík, Ph.D.**  
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Datum zadání bakalářské práce: **11. února 2022**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

L.S.

---

**prof. Ing. David Tuček, Ph.D.**  
děkan

---

**prof. Ing. Felicita Chromjaková, Ph.D.**  
garant studijního programu

Ve Zlíně dne 11. února 2022

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

### Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na elektronickém nosiči v příruční knihovně Fakulty managementu a ekonomiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen přípouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji,

1. že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
2. že odevzdaná verze diplomové/bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 15. 5. 2022

Jméno a příjmení: Jakub Molda

.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce má za cíl navržení nového umístění stroje na vyvažování rotorů za účelem plného využití technologické kapacity v areálu společnosti. Současně s cílem jsou předloženy tři další návrhy vedoucí ke zvýšení produktivity a bezpečnosti práce pro pracoviště vyvažovacího stroje. Rozdělení práce je na teoretickou a praktickou část. Čtenářům je v teoretické části předložena teoretická rešerše na problematiku projektování výrobních systémů, dále zahrnuje oblast elektrických točivých strojů a podstatu vyvažování rotorů. Praktická část zahrnuje zpracování analýzy současného i navrhovaného umístění za účelem bližší specifikace možných umístění v rámci navrhované výrobní budovy. Výsledky daných analýz umožní předložení návrhu na nové umístění vyvažovacího stroje ve společnosti XY.

Klíčová slova: projektování výrobních systémů, elektrické točivé stroje, vyvažování rotorů, produktivita, bezpečnost práce

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis aims to propose a new location of the rotor balancing machine within company's area for the purpose of full use of technological capacity. Along with the main aim, three other proposals are put forward to increase productivity and safety at work for the balancing machine workplace. Thesis consists of a theoretical and a practical part. Readers are presented with a theoretical research on the planning of manufacturing systems, as well as with a subject of electric rotating machines and an essence of rotor balancing. The practical part includes the analysis of the current and proposed location in order to further specify the possible locations within the proposed production building. The results of the given analyses will allow the submission of the proposal for the new location of the balancing machine in the company XY.

Keywords: planning of production systems, electric rotating machines, rotor balancing, productivity, occupational safety

Zde bych rád poděkoval panu Ing. Martinovi Melišíkovi, Ph.D. za jeho ochotu, čas a odborné rady při zpracovávání této bakalářské práce.

Poděkování za cenné rady také patří všem zaměstnancům společnosti XY, kterých se bakalářská práce dotkla.

Dále bych rád poděkoval mé rodině, za oporu při studiu a zpracování této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 PROJEKTOVÁNÍ VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ</b> .....	<b>13</b>
1.1 VÝROBNÍ SYSTÉMY A PRODUKTIVITA .....	13
1.2 ZÁKLADY TECHNOLOGICKÉHO PROJEKTOVÁNÍ VÝROBNÍCH PROCESŮ A SYSTÉMŮ.....	14
1.3 VÝROBNÍ PROCES, JEHO INOVACE A REALIZACE.....	14
1.4 PRŮMYSLOVÉ BUDOVY VE STROJÍRENSKÝCH ZÁVODECH.....	14
1.4.1 Význam.....	15
1.4.2 Rozdělení budov .....	16
1.4.3 Konstrukční materiál pro průmyslové budovy .....	17
1.4.4 Podlahy budov .....	18
1.4.5 Střechy budov .....	19
1.4.6 Základy výrobního zařízení .....	20
1.4.7 Větrání a odsávání .....	20
1.5 VÝPOČET EKONOMICKÝCH ÚČINKŮ PRO HODNOCENÍ NÁVRHU TECHNICKO-ORGANIZAČNÍCH VARIANT VÝROBNÍCH PROCESŮ A SYSTÉMŮ.....	21
1.5.1 Ukazatel růstu produktivity práce.....	22
1.5.2 Nákladová návratnost a stupně nákladové návratnosti .....	22
1.5.3 Investiční náklady na úsporu pracovníka.....	23
1.5.4 Výběr optimální varianty pomocí rozhodovací analýzy.....	23
<b>2 CHARAKTERISTIKA ELEKTRICKÝCH TOČIVÝCH STROJŮ</b> .....	<b>25</b>
2.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA .....	25
2.2 STEJNOSMĚRNÉ STROJE.....	25
2.2.1 Význam a použití .....	25
2.2.2 Princip působení .....	26
2.2.3 Konstrukční provedení.....	26
2.3 ASYNCHRONNÍ STROJE.....	26
2.3.1 Význam a použití .....	27
2.3.2 Princip působení .....	27
2.3.3 Konstrukční provedení.....	28
2.4 SYNCHRONNÍ STROJE .....	28
2.4.1 Význam a použití .....	28
2.4.2 Princip působení .....	29
2.4.3 Konstrukční provedení.....	29
2.4.4 Synchronní stroj s vyniklými póly.....	30
2.4.5 Synchronní stroj s hladkým rotorem.....	30
<b>3 PODSTATA VYVAŽOVÁNÍ ROTORŮ</b> .....	<b>31</b>

3.1	NEVYVÁŽENOST .....	31
3.2	DŮLEŽITOST VYVÁŽENÍ .....	31
3.3	PŘÍČINY NEVYVÁŽENOSTI .....	32
3.4	DŮSLEDKY NEVYVÁŽENOSTI .....	32
3.5	TYPY NEVYVÁŽENOSTI .....	32
3.5.1	Momentová nevyváženost .....	32
3.5.2	Statická nevyváženost.....	33
3.5.3	Dynamická nevyváženost .....	33
3.6	ROTOROVÉ VIBRACE .....	33
3.6.1	Relativní rotorové vibrace .....	33
3.6.2	Absolutní rotorové vibrace .....	34
3.7	KRITICKÁ OBLAST OTÁČEK .....	34
3.8	VYVAŽOVÁNÍ V NÍZKÝCH OTÁČKÁCH DLE ČSN ISO 21940-11 .....	34
3.9	VYVAŽOVÁNÍ VE VYSOKÝCH OTÁČKÁCH DLE ČSN ISO 21940-12 .....	34
3.10	UMÍSTĚNÍ VYVAŽOVACÍCH HMOT .....	35
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU UMÍSTĚNÍ VYVAŽOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>37</b>
4.1	ROZBOR TECHNICKÝCH PARAMETRŮ VYVAŽOVACÍHO STROJE SCHENCK HM 7.....	37
4.2	ANALÝZA SOUČASNÉHO UMÍSTĚNÍ.....	39
4.2.1	Layout haly .....	42
4.2.2	Vliv výrobního procesu .....	43
4.2.3	Mostový jeřáb .....	43
4.2.4	Layout pracoviště stroje HM 7 .....	44
4.3	ANALÝZA INTERNÍHO A KOOPERAČNÍHO VYVAŽOVÁNÍ ROTORŮ.....	49
<b>5</b>	<b>SHRNUTÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PROVEDENÉ ANALÝZY .....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>VOLBA LOKACE PRO NÁVRH UMÍSTĚNÍ.....</b>	<b>52</b>
6.1	PODSTATA.....	52
6.2	KRITÉRIA VÝBĚRU .....	53
6.3	VYHODNOCENÍ VOLBY .....	53
<b>7</b>	<b>PŘEDSTAVENÍ HALY ELEKTROMONTÁŽE III / VN ZKUŠEBNY .....</b>	<b>55</b>
7.1	OBECNÉ INFORMACE .....	55
7.2	PRACOVIŠTĚ A PROSTORY .....	57
<b>8</b>	<b>NÁVRH NA UMÍSTĚNÍ VYVAŽOVACÍHO STROJE.....</b>	<b>59</b>
8.1	PROBLEMATIKA PROJEKTOVÁNÍ VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ.....	59
8.1.1	Metodika přemístění .....	59
8.1.2	Zvýšení bezpečnosti na pracovišti .....	60

8.2	VARIANTA A.....	60
8.3	VARIANTA B.....	62
8.4	VARIANTA C.....	64
<b>9</b>	<b>SHRNUTÍ A VYHODNOCENÍ NAVRHOVANÝCH ŘEŠENÍ .....</b>	<b>67</b>
10.1	NÁVRH UMÍSTĚNÍ C .....	70
10.2	PŘIDÁNÍ BEZPEČNOSTNÍ BARIÉRY .....	71
10.3	POTENCIÁLNÍ PROSTOR PRO UMÍSTĚNÍ VYVAŽOVACÍHO STROJE HM 5.....	73
10.4	OPTIMALIZACE STÁVAJÍCÍHO PRACOVISTĚ.....	75
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>85</b>

## ÚVOD

Cílem bakalářské práce je navržení nového umístění pro stroj na vyvažování rotorů v areálu společnosti za účelem plného využití technologické kapacity stroje.

S návrhem umístění jsou také předloženy tři dodatečné návrhy vedoucí ke zvýšení produktivity a bezpečnosti práce na daném pracovišti vyvažování, z nichž jeden z těchto návrhů byl již realizován v průběhu zpracovávání této práce.

První část práce je věnována teoretické části, jež cílí na předložení teoretické rešerše o pojednávané problematice. Čtenářům bude zprva představeno projektování výrobních systémů, jehož úvod je věnován výrobním systémům a produktivitě, dále navazuje na část s obecnými zásadami o navrhování průmyslových budov a pracovišť. Následující část je vázána s rešerší o elektrických točivých strojích, přičemž čtenářům bude kladen důraz na obecnou charakteristiku a rozdělení. Pro elektrické točivé stroje budou také uvedeny základní poznatky o jejich významu, použití principu působení. Následně je teoretická část zaměřena na obecnou podstatu vyvažování rotorů.

Začátkem praktické části uvedu vyvažovací stroj, o němž tato bakalářská práce pojednává. Následně je provedena analýza současného stavu, kalkulace nákladů na interní a kooperační vyvážení a shrnutí výsledků provedených analýz. Následuje volba lokace v rámci areálu společnosti, ve které budou následně vypracovány tři návrhy. Poté budou zhodnoceny tak, aby se vymezil nejadekvátnější návrh umístění. S návrhem budou uvedeny dva dodatečné návrhy přispívající ke zvýšení produktivity a bezpečnosti práce.



## CÍLE A METODY ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

Cílem bakalářské práce je předložit návrh nového umístění vyvažovacího stroje v rámci areálu společnosti.

Zároveň jsou předloženy tři další návrhy přispívající k lepší optimalizaci, zvýšení produktivity a bezpečnosti práce či jinému zlepšení stávajícího i navrženého pracoviště vyvažovacího stroje.

Ke sběru dat, potřebných pro vypracování návrhu přemístění, budou zpracovány následující body:

- kritická rešerše;
- analýza současného stavu umístění vyvažovacího stroje Schenck HM 7.

Zpracování teoretické části bude provedeno na podstatě studia vztahující se literatury. Za účelem ochrany firemního tajemství bude s interními zdroji a údaji nakládáno s patřičnou rozvahou. K opatření dat, klíčových pro sestavení analýzy současného stavu umístění vyvažovacího stroje, budou konány konzultace s odpovědnými zaměstnanci, jež budou doplněny mými poznatky z průběhu dvouleté odborné praxe v této společnosti. Cílem této analýzy je sběr informací o aktuálním umístění zmíněného pracoviště a jeho navrhovaného přemístění. K vypracování budou použity následující metody:

- analýza současného umístění;
- analýza výrobní budovy pro tři navrhovaná umístění;
- kalkulace nákladů interního a kooperačního vyvažování;
- kalkulace nákladů spojených s přemístěním;
- návratnost investice.

Provedené analýzy objektivně určí návrhy, které přispějí soběstačnosti společnosti XY v oblasti vyvažování rotorů, a také povedou ke zvýšení bezpečnosti a produktivity práce.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 PROJEKTOVÁNÍ VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ

V této části bude čtenářům uvedena problematika projektování výrobních systémů. První část bude věnována výrobním systémům a produktivitě, jelikož se jedná o neodmyslitelnou součást průmyslového inženýrství i plánování výroby.

## 1.1 Výrobní systémy a produktivita

Způsob, jakým lidé vyrábějí, se neodmyslitelně váže k technickému pokroku. Tuto změnu, kdy se postupuje k pokročilejším technologiím oproti těm využívaných v minulosti, nazýváme průmyslovou revolucí. Vývoj technologií ovlivňuje pracovní podmínky i životní styl lidí. (Desouttertools.cz, 2022)

Košuriak (2000, s. 6) doplňuje tvrzení, jsou poznamenány organizační i výrobní struktury podniků. Vysvětluje, že co mohlo být za dob Frederica Winslow Taylora a Henryho Forda zdrojem zvyšování produktivity, je nyní konkurenční nevýhodou a pomyslnou brzdou. Pružná, zákaznický orientovaná výroba vytlačila původní, hromadnou výrobu.

Chromjaková (2013, s. 4) elaboruje činnost F. Taylora jako stanovení základního kamene pro pravidla vědeckého přístupu k růstu výkonnosti podniku, což mělo za účel vytvořit fungující, produktivní systém, na němž je posléze zvyšována kvantita a kvalita.

Košuriak (2000, s. 6) jako zásadní označuje snahu průmyslového inženýrství řídit růst výroby, HDP a rozvoje tak, aby činy neovlivnily následující generace. Apeluje na zdravý hodnotový systém, kdy nejdůležitější součástí nezastává zisk ani objem výroby, ale nepoškozené životní prostředí a pevné zdraví. Proto je esenciální řídit projektování výrobních systémů úsporně a ohleduplně k životnímu prostředí.

Po celém průběhu růstu produktivity by mělo být možné odhalovat plýtvání za účelem nižší spotřeby materiálu, energie a zejména času. Tato činnost může být označena jako snaha produkovat co nejméně odpadu, který naši planetu poškozují. (Košuriak, 2000, s. 6)

Dinçer a Yüksel (2019, s. 127) také apelují na důležitost technologického vývoje a neustálého zlepšování. Uvádějí však, že prozatím neexistuje spolehlivé měřítko inovací kvůli složitosti této problematiky.

Společnosti se nacházejí pod neustálým nátlakem prostředí na efektivitu a výkonnost podnikových procesů. Vývoj v oboru výrobních technologií je proto klíčový. (Chromjaková a Rajnoha, 2011, s. 12)

## 1.2 Základy technologického projektování výrobních procesů a systémů

Pojem technologické projektování lze dle Zelenky a Krále (1995, s. 9) interpretovat následujícím způsobem „Kontinuální činnost technicko-ekonomického charakteru, která je především zaměřena na zpracovávání variant technologií výroby a montáže strojních součástí a technicko-organizačních variant uspořádání výrobních systémů s ohledem na optimální využití všech hmotných zdrojů (materiálů, energií, ploch), prostředků (výrobních, manipulačních, kontrolních) a pracovních sil, které ovlivňují efektivnost a produktivitu výrobního procesu.“

Projektováním technologií se rozumí technologická stavba výrobního závodu za účelem produkce konkrétního výrobku, taková stavba je typická kladeným důrazem právě na technologii. U projektů těchto staveb bývá obtížná organizace prací. (Hlavatá a Janáková, 2019, s. 29)

## 1.3 Výrobní proces, jeho inovace a realizace

Podle Zelenky a Krále (1995, s. 9) se výrobním procesem ve strojírenských závodech rozumí souhrn technologických, manipulačních, kontrolních a řídicích činností, které mají za účel změnit tvar, rozměry, jakost, složení a spojení výchozích materiálů a polotovarů z hlediska požadovaných technicko-ekonomických podmínek vyráběného výrobku.

Také tvrdí, že výrobní proces je uskutečňován pomocí výrobních systémů, ty lze obecně charakterizovat jako věcné, technologicky, časově, prostorově a organizačně jednotné seskupení hmotných zdrojů a pracovních sil daných pro výrobu vybraného sortimentu výrobků. Uvádí také, že technicko-organizační úroveň výrobních systémů, jejich specializační struktura, stupně mechanizace, kooperace a integrace jsou závislé na vzájemném působení řady faktorů.

## 1.4 Průmyslové budovy ve strojírenských závodech

Skalík a Novák (2012, s. 10) uvádí, že systémový přístup je pro navrhování průmyslových budov nejvhodnější. Při řešení nelze prosazovat pouze určitá hlediska, ale tato rozhodující hlediska stanovit objektivně. Poté, zvolit optimální variantu průmyslové budovy na základě variantního řešení.

### 1.4.1 Význam

Dále, Skalík a Novák (2012, s.11) ve své publikaci technologii výroby považují za klíčové hledisko při navrhování průmyslové budovy. Naopak tvrdí, že architekti za klíčové hledisko považují architektonické a urbanistické řešení. Nelze však jednoduše konstatovat, které hledisko má vyšší význam, jelikož výstavba průmyslové budovy je vždy spjata k určitému území, čímž se stává jedinečnou a neopakovatelnou.

V kontextu významu průmyslových budov uvádí Součková a Jerz (2019, s. 58) kompletní výrobní logistiku jako třízení vnitropodnikových pohybů materiálů a výrobků od dodavatele až do samotného podniku. Klíčovou roli představují právě průmyslové budovy.

Hlavatá a Janáková (2019, s. 29) definují: „Stavba je chápána jako hmotný objekt spojený s pozemkem, tento objekt je výsledkem sledu činností.“. U budov je pro návrh podstatná lidská iniciativa, nikoliv zapojení strojů či zařízení. Valný návrh by měl zohledňovat jak účelnost, tak i estetické hledisko. Tato náležitost je iniciativa architektů. Technologické stavby, jako jsou průmyslové budovy, řídí strojně-technologický inženýr. Projektování se následně skládá ze tří částí:

- koncepční návrh;
- dokumentace pro povolení stavby;
- provádění dokumentace.

V první fázi se definuje vhodná technologie a zařízení, což je převážně řešeno koupí technologické licence. Dokumentace uvádí technologická schémata, definuje výrobní procesy, zásady měření a regulace a ostatní. Provedenou dokumentací se rozumí takový dokument, dle kterého je možné postavit technologickou stavbu.

V minulosti bylo podle Skalíka a Nováka (2012, s. 10) na průmyslové budovy nahlíženo povětšinou jednostranně. Na budovy bylo nahlíženo jako na pouhé přístřešky pro pracoviště anebo v opačném případě byly budovy dány a provoz a jeho uspořádání se přizpůsobovalo vlastnostem budovy. Dále tvrdí, že v současné době výstavba průmyslových budov odpovídá nejen technologii výroby a stavebním možnostem, ale také i urbanistické koncepci a pracovním podmínkám pracujících. Výstavba mimo jiné nesmí zhoršovat životní prostředí ve svém okolí.

### 1.4.2 Rozdělení budov

Podle Skalíka a Nováka (2012, s. 10) pro strojírenskou výrobu převažuje využití přízemních budov, ale u určitých druhů strojírenských výrob je vhodnější použít budovy vícepodlažní. Pro upřesnění, budovy vícepodlažní jsou vhodné pro místa s lehkou strojírenskou výrobou (optikou, výrobou přístrojů a polovodičů, přesnou mechanikou apod.). Naopak budovy jednopodlažní jsou vhodné pro provozy s těžkými stroji, kvůli kterým vznikají zvýšené nároky na nosnost, otřesy a nárazy. Jednopodlažní výrobní budovy mají dále využití pro takové strojírenské provozy, které s ohledem na organizaci a materiálový tok musí být umístěny v jedné hale (např. montáž automobilů).

Podle Skalík a Novák (2012, s. 10) se v průmyslové výstavbě závodu dělí stavební objekty a budovy na základě funkčních hledisek následujícím způsobem:

- výrobní budovy;
- správně sociální budovy a objekty;
- skladovací objekty a budov;
- dopravní objekty;
- energetické objekty;
- ostatní inženýrské objekty.

### 1.4.3 Konstrukční materiál pro průmyslové budovy

Vzhledem k pokrokům v oblasti zelených technologií se čím dál tím více dbá na užívání stavebních materiálů ohleduplných k životnímu prostředí. Již existuje nespočet udržitelných materiálů pocházejících přímo z průmyslových odpadů, což napomáhá využít potenciál obnovitelných zdrojů. Budovy, ať už bytové nebo průmyslové, jsou zodpovědné za značnou tvorbu skleníkových plynů, degradaci přírody a znečištění ovzduší. (Patil, Boraste a Minde 2022, s. 2)

Pro snížení emisí oxidu uhličitého se pro průmyslové stavby využívají nízkouhlíkové materiály. Avšak tyto emise lze snížit i prodloužením životnosti dané stavby. (Blasco Kuperstein et al, 2021, s. 2)

#### **Dřevo**

Použitím dřeva vzniká dobrá izolační schopnost, zatímco malá trvanlivost a nebezpečí požáru představují značnou nevýhodu. Dřevo je proto z výše zmíněných důvodů používáno výjimečně pro střešní konstrukce a střešní pláště. Využíváno ale bývá pro provizorní stavby. (Skalík a Novák, 2012, s. 15)

Tento stavební materiál je obecně považován za nízkouhlíkový, jejich použití pro stavbu nových budov by tedy mělo snížit dopad na životní prostředí. Výhodou dřeva je jeho regenerační schopnost, vyrovnávají vlhkost uvnitř stavby a zamezují růstu bakterií. Tyto výhody ovšem lze pouze s obtížemi vyjádřit ve finančním pojetí, pokud vůbec. (Blasco Kuperstein et al, 2021, s. 2)

#### **Hliníkové slitiny**

Výhodou představuje nízká hmotnost, dobrý vzhled a zejména odolnost proti korozi. V porovnání s ocelí ale nabízí menší pevnost a menší odolnost proti tření. Využití hliníkových slitin je proto ve většině případů zúženo na okna a fasády. Velkou nevýhodou je také vysoká cena. (Skalík a Novák, 2012, s. 15)

Michna (2005, s. 22-28) upřesňuje využití hliníku ve formě profilů či plechů zejména pro střešní krytinu, opláštění, okapy a podobné. Autor tedy předepisuje úvahu, že hliník utváří estetickou část mnohých budov.

#### **Ocelové konstrukce**

Nejpoužívanější stavební materiál díky svým bezkonkurenčním vlastnostem. Nabízí všestranné využití jak pro průmyslové budovy, tak i pro montované haly, obchodní a

prodejní centra. Její využití je tedy díky její nevyčerpatelnosti a recyklovatelnosti velmi rozšířené. (Unihal.cz, 2014)

Hlavní výhodou zastupuje velká pevnost a pružnost, což představuje možnost využití ocelových konstrukcí pro haly s jeřáby o nosnosti kolem 300 tun. Důležitým faktorem je i solidní montovatelnost umožňující relativně rychlou výstavbu. Ocelové konstrukce lze přizpůsobovat změnám ve výrobě, případně demontovat a využít na odlišném místě, či určit ke šrotaci. Nákladné nátěry pro ochranu ocelových konstrukcí proti agresivnímu prostředí ale představují nevýhodu. (Skalík a Novák, 2012, s. 15)

„Na světě se ročně recykluje 425 milionu tun oceli. Díky tomu se ušetří tolik energie, kolik by stačilo jeden měsíc vytápět, chladit a osvětlovat polovinu budov na celém světě.“. (Ocelarskaunie.cz, 2019)

### **Železobetonové konstrukce**

Vznikají vkládáním různých ocelových prvků, což zlepšuje pevnost v tahu. Prostý beton totiž má, obdobně jako veškeré přírodní kameny, velmi malou pevnost v tahu. Vložením výztuží se konstrukce zesiluje. Tento typ konstrukcí má dalekosáhlou historii a jejich užívání je zcela běžné. (Ebeton.cz, 2021)

Konstrukce ze železobetonu jsou využívány pro vícepodlažní budovy, stejně tak pro administrativní a sociální provozní přístavby. Za účelem úspory oceli se přikročilo k využívání těchto konstrukcí i pro budovy jednopodlažní s nosností jeřábů do 32 tun. Nevýhodou je vyšší citlivost proti rázům a chvění oproti ocelovým konstrukcím. Železobetonové konstrukce se dělí na monolitické nebo montované konstrukce. Pro lodě se šířkou více než 24 metrů se pro střechy zpravidla volí ocelové konstrukce, z důvodu nižší hmotnosti oproti železobetonovým vazníkům. (Skalík a Novák 2012, s. 15)

#### **1.4.4 Podlahy budov**

Žalský (2003, s. 6) podlahy považuje jako neodmyslitelnou součást všech pozemních staveb. Navržení vhodné a ekonomicky přijatelné podlahy označuje jako složitou inženýrskou činnost. Podlahy mohou být navrženy jako prosté desky se spárami, nebo beze spár. Upřesňuje, že materiálová základna podlah může být:

- beton prostý;
- beton železový;



- beton předpjatý;
- drátkobeton;
- vláknobeton.

Skalík a Novák (2012, s. 15) i Žalský (2003, s. 6) se shodují, že výstižný seznam požadavků je pro návrh vhodné průmyslové podlahy esenciální, jelikož má za účel stanovit rozsah a kvalitu díla. Tyto požadavky by měly být součástí smlouvy o dílo, pak lze relevantně rozhodnout o případném nároku na reklamaci.

Výběr podlah průmyslových budov podléhá speciálním požadavkům:

- druh výroby;
- požadavky na nosnost;
- prašnost;
- tvrdost;
- nehořlavost.

U budov jednopodlažních představuje zajištění větší nosnosti podlah jednoduchou úlohu. Oproti tomu u budov vícepodlažních představuje zajištění vyšší nosnosti podlahy zejména vysokou finanční náročnost. (Skalík a Novák, 2012, s. 15)

#### 1.4.5 Střechy budov

Při navrhování strojírenských hal má důležitou úlohu volba střechy. Projektant musí navrhovat vhodný druh světlíků, druh nosné konstrukce střechy a střešního pláště s ohledem na tepelnou izolaci a druh střešní krytiny. Důležitá je také váha střechy a samozřejmě pořizovací náklady. Také je třeba vzít v úvahu vedle tepelné izolace, možnost vhodného přirozeného osvětlení a větrání. (Skalík a Novák, 2012, s. 16)

Trendem posledních let je výstavba takzvané zelené střechy, což představuje střechu pokrytou kombinací tenké vrstvy substrátu a nenáročné vegetace, například sukulentů. Zelené střechy mohou ve svém okolí kladným způsobem ovlivnit kvalitu ovzduší, v podstatě ovzduší profiltrují, a navíc i částečně ochladí. (Tams, Nehlsa a Countinhocalheiros, 2022, s. 10)

#### 1.4.6 Základy výrobního zařízení

Vlček (2007, s. 45) obecně ke všem elektrickým zařízením uvádí, že zařízení při běžném provozu nesmí být tak fyzicky nestabilní, aby představovalo nebezpečí pro operátory a pracovníky technické obsluhy.

Roubíček (2004, s. 121) zastává názor Vlčka, a pro točivé stroje navíc upřesňuje, že musí být na stabilní základ situovány tak, aby bylo zajištěno bezpečné ukotvení. Tím se mechanické vibrace a hlučnost za chodu značně omezí.

Roubíček dále ve své publikaci uvádí, že základový blok, tvořený betonem či železobetonem, by měl mít hmotnost odpovídající při nejmenším troj – až desetinásobku hmotnosti elektrického točivého zařízení. Dále, aby vnější okraje stroje přesahovaly 20 až 30 cm. Tloušťka základového bloku musí odpovídat třetině až polovině své šířky, v opačném případě by blok vykazoval nežádoucí dynamické jevy. Blok by se totiž choval jako pružná deska.

#### 1.4.7 Větrání a odsávání

Je potřeba obstarat, aby pracovníci neutrpěli žádné újmy na zdraví, a to ve všech prostorách závodu. Pomocí určitých opatření ve všech prostorách je tedy zajištěno, aby množství škodlivin nepřekročilo danou mez. Mezi škodliviny patří nadměrné teplo, vlhkost, prach, jedovaté plyny a páry. Zásadní je škodliviny eliminovat přímo na místě vzniku, nebo následně z místa vhodným způsobem odvádět.

V případě, že výše zmíněné způsoby neumožňují dosáhnout vyhovujícího pracovního prostředí, vyžaduje se oddělení těchto pracovišť od ostatních za účelem omezení počtu pobývajících pracovníků. Současně je také vyžadováno dokonalé větrání daných pracovišť.

Důležitým krokem řešení se rozumí automatizace technologických procesů, při nichž dané škodliviny vznikají. Dovoluje-li si to situace, je také žádané u zmíněných automatizovaných pracovišť vyloučit přítomnost obsluhy. (Skalík a Novák, 2012, s. 67-70)

Košuriak (2000, s. 193) naopak tvrdí, že k automatizaci pracovišť lze přistoupit až s určitou sériovostí výroby. Tvrdí tak kvůli skutečnosti, že přešel automatizovaných výrobních systémů využívající roboty a bezobslužné stroje jsou hospodárné až od určité meze sériovosti výroby.

Intenzita výměny vzduchu by měla být probíhat do takové míry, kdy množství škodlivin v místnosti nepřekročí zdravotně přístupnou mez. Dovolené koncentrace lze nalézt

v hygienických předpisech. Přivádění čerstvého venkovního vzduchu by mělo být z míst nejméně znečištěných svým okolím. Ve výjimečných případech lze v chladném, či teplém počasí přivádět po předchozím vyčištění přídatný oběhový (cirkulační) vzduch.

Jelikož by se obsah kyslíku postupně snižoval musí probíhat větrání i v místnostech, kde škodliviny z technologických procesů nevznikají. V provozech se zvýšenou prašností lze vzduch přivádět i z horních oblastí větraného prostoru, ovšem za předpokladu, že v nich nedochází k nadměrnému vývinu tepla. Zatímco provozovny, které by při poruše výrobního zařízení mohly generovat velké množství jedovatých i výbušných látek mají povinnost zřídit havarijní větrací zařízení se zajištěním stálého pohotového pohonu. Zařízení musí fungovat na principu podtlaku, čímž se intenzita výměny vzduchu zněkolikanásobí oproti běžné výměně vzduchu. Stanovená intenzita výměny závisí na nebezpečnosti škodliviny. Havarijní větrání se ve většinou spouští automaticky, nebo jej může spustit obsluha. Spouštěč musí být umístěn jak v místě provozovny, tak i mimo něj. Navíc, měla by být zajištěna možnost otevřít okna těchto provozoven z vnějšku výrobní budovy. (Skalík a Novák, 2012, s. 67-70)

### **1.5 Výpočet ekonomických účinků pro hodnocení návrhu technicko-organizačních variant výrobních procesů a systémů**

Při propočtu ekonomické efektivity se vychází ze vzájemné srovnatelnosti daných hledisek. Efektivnost se posuzuje u jednotlivých variant technologicko-organizačních návrhů pro řešení výrobních procesů nebo projektů výrobních systémů. Mezi zmíněná hlediska patří:

- rozsah a charakter funkcí navrhovaných variant;
- rozsah objemu výroby;
- velikost efektivních časových fondů;
- objektivní stanovení kritéria;
- růst produktivity práce;
- nákladové návratnosti;
- investiční náklady na úsporu jednoho pracovníka;
- zisk na jednoho pracovníka;
- zisková návratnost;

- srovnatelná ekonomická efektivnost;
- kritické výrobní množství. (Zelenka a Král, 1995, s. 344)

### 1.5.1 Ukazatel růstu produktivity práce

Růst produktivity práce lze určit nejen v rámci problematiky projektování výrobních systémů, ale i v širších aspektech České republiky, jak uvádí Český statistický úřad. Ten mimo jiné uvádí průmysl jako klíčový segment tuzemského pracovního trhu ve vztahu k zaměstnanosti. (Czso.cz, 2022)

Zelenka a Král (1995, s. 344) uvádí jako podmínky pro zvýšení produktivity následující:

- snížení pracnosti výroby;
- omezením účasti dělníka ve výrobním procesu.

Zvyšování produktivity obrábění je tedy závislé na růstu hodinové produktivity a časového využití. Již zmíněné vztahy tedy porovnávají technické a technologické možnosti stroje, přesněji funkční vyváženost. Ovšem, pokrývají také odpovědnosti spojené s organizací práce a pracovníky.

Při zavedení nových strojů by bylo možné z výše zmíněných vztahů sledovat změny produktivity práce, a to v závislosti na výrobním množství. Pokud by se zavedením nové metody jednotkový čas snižoval a zároveň dávkový čas zvyšoval, znamenalo by to, že k dosažení vyšších přírůstků produktivity bude docházet až při vyšších dávkách. Poměr kritické velikosti tkví na vzájemném vztahu  $t_{AC}$ ,  $t_{BC}$  u jednotlivých variant, přičemž dávkový čas na jeden vyrobený kus klesá s rostoucím  $d_v$ .

### 1.5.2 Nákladová návratnost a stupně nákladové návratnosti

„Ukazatel nákladové návratnosti (doba úhrady v rocích) vyjadřuje návratnost vložených jednorázových prostředků ve vztahu k dosaženým úsporám.“ (Zelenka a Král, 1995, s. 346)

$$U_n = \frac{I - C_s}{U_r + O_d}$$

Od – průměrné roční odpisy nové investice (Kč/rok)

I – investiční náklady, prostředky (Kč)

C<sub>s</sub> – prodejní cena starých vyřazovaných strojů

U<sub>r</sub> – roční úspora nákladů (Kč/rok), případně roční přírůstek nerozděleného zisku

Dále lze určit stupeň nákladové návratnosti:

$$U_{sn} = \frac{U_n}{Z} < 1$$

$Z$  – technicko-ekonomická životnost nových strojů (roky)

Pro vyhodnocení efektivity při racionalizaci nebo modernizaci mají význam i limitní pořizovací ceny výrobních strojů a manipulačního zařízení, stejně tak i míra požadovaného snížení pracnosti. Avšak za podmínky úspěšného splnění stanovených vstupních podmínek.

Bude-li splněna podmínka:

$$\Delta P_c \leq U_r \cdot U_n$$

$\Delta P_c$  – limitní zvýšení pořizovací ceny stroje, zařízení atd. (Kč)

$U_r$  – roční úspory a realizace jednotlivé varianty (Kč/rok)

$U_n$  – ukazatel návratnosti (roky) (Zelenka a Král, 1995, s. 347)

### 1.5.3 Investiční náklady na úsporu pracovníka

Vyjádření ukazatele investičních nákladů vynaložených na relativní úsporu dělníka:

$$U_{ip} = \frac{I - C_s}{\frac{W_{cr}}{W_s} \cdot L_s - L_{cr}}$$

$W_{cr}$  – výkony v technických nebo peněžních jednotkách v cílovém roce (stroje v trvalém provozu)

$W_s$  – výkony za současného stavu

$L_{cr}$  – počet dělníků v cílovém roce

$L_s$  – počet dělníků v současné době (Zelenka a Král, 1995, s. 347)

### 1.5.4 Výběr optimální varianty pomocí rozhodovací analýzy

Zelinka tvrdí, že systémové pojetí úloh z oblasti technologického projektování zvyšuje jejich složitost z hlediska vztahu jednotlivých prvků. Počet faktorů, které proces výběru optimální varianty ovlivňují, se ostatně zvyšuje. V případě použití empiricko-intuitivní metody se hodnotí výrobní zařízení využívající buďto technologická nebo technicko-ekonomická kritéria. Tato metoda ovšem nezohledňuje veškerá, klíčová hlediska.

K posouzení řešení u složitějších úloh je vyžadováno využití multikriteriálního řešení. Poté, jsou vyžadovány metody formulující rozhodovací proces pro výběr varianty jako model zkoumaného systému s kvantitativním vyjádřením vztahů jeho prvků. Konkrétněji se jedná o metody schopné vypracovat algoritmický nebo heuristický model dané úlohy. Rozhodovací analýza představuje jednu z vhodných metod řešení, zejména z důvodu, že

zabezpečuje komplexní hodnocení relativních hledisek včetně rizik. Měření užitečnosti plyne z podmínek jistoty, zatímco při měření rizik vychází z podmínek nejistoty. Tato analýza tedy zahrnuje deterministický i stochastický model. (Zelenka a Král, 1995, s. 344)

## 2 CHARAKTERISTIKA ELEKTRICKÝCH TOČIVÝCH STROJŮ

Tato část teoretické rešerše bude věnována pouze elektrickým strojům točivým. Bude popsána jejich obecná charakteristika, princip působení i konstrukční provedení. Tato část čtenářům poskytne základní znalosti z oblasti této problematiky.

### 2.1 Obecná charakteristika

Elektrické stroje přeměňují elektrickou energii, k čemuž je užito magnetického obvodu s elektrickým vinutím. Dělí se na točivé elektrické stroje (motory, generátory) a stroje netočivé (transformátory). Točivé stroje transformují elektrickou energii na mechanickou a opačně (Konečná a Richter, 2000, s. 2). Elektromotory jsou dle odborného časopisu Elektro (2011, s. 36) stroje doznávající značného rozmachu v průběhu posledních sto let. Všude, kde je nutný pohyb, zasahuje do činností člověka elektrizace. Autor dále specifikuje rozmezí výkonu elektrických strojů od zlomek wattů po stovky megawattů.

U motorů se nachází pevný stator, pohyblivý rotor a vzduchová mezera mezi nimi. Stator je vnější část motoru, v němž je v ložiskách uložený rotor, který se otáčí. Ve výjimečných případech může být uspořádání motoru opačné, přičemž rotuje část vnější. Vnitřní průměr statoru je označován jako průměr vrtání. Hřídel může být vertikální i horizontální a je opatřena vinutím, stejně tak jako stator. (Roubíček, 2004, s. 14)

### 2.2 Stejnoseměrné stroje

Základní rozdělení stejnosměrných točivých strojů je na dva typy, a sice na stejnosměrné motory a dynama. Dynama konvertují mechanickou energii do stejnosměrného proudu a stejnosměrné motory přeměňují stejnosměrný proud na mechanickou energii. Nutno zmínit, že dynama mohou být použity jako stejnosměrné motory bez jakýchkoliv konstrukčních změn. Obecně lze oba typy nazývat jako stejnosměrné stroje. (Abdallah, 2021, s. 2).

Přes to, že je elektrická energie vyráběna a rozváděna zejména formou střídavého proudu, mají stejnosměrné stroje hojně využití v praxi. (Měřička, Hamata a Voženílek, 2000, s. 20)

#### 2.2.1 Význam a použití

Může se jednat o využití jako dynama, motory nebo měniče elektrické energie. Pro své solidní trakční vlastnosti jsou užívány v dopravě pro elektrické lokomotivy, tramvaje a podobně. Schopnost stejnosměrných motorů široce a plynule regulovat rychlost je důvodem,

proč jsou používány pro pohon těžních strojů a válcovacích stolic. (Měřička, Hamata a Voženílek, 2000, s. 20-22)

Abdallahův (2021, s. 34) názor o jednoduché regulaci rychlosti se shoduje s tvrzením Měřička, Hamaty a Voženílka (2000, s. 20-22). Apeluje ovšem, že u stejnosměrných motorů by byla obdobná regulace rychlosti nereálná.

Měřička, Hamata a Voženílek (2000, s. 20-22) i Abdallah (2021, s. 46) konstatují, že význam dynam postupně upadá, jelikož jsou nahrazovány usměrňovači. Důležitým faktem ovšem zůstává, že stejnosměrné motory fungují při brždění jako dynam.

### 2.2.2 Princip působení

Nevýhodou stejnosměrných strojů je komutace a zároveň choulostivý komutátor. (Měřička, Hamata a Voženílek, 2000, s. 20-21) Princip stejnosměrného stroje je založen na magnetickém poli, v němž se otáčí rotor. Magnetické pole je vytvořeno budícím vinutím na hlavních pólech nebo permanentními magnety na statoru. (Abdallah, 2021, s. 4)

Stator stejnosměrného motoru má po obvodu pravidelně prostřídané a navzájem magneticky opačně orientované vyniklé hlavní póly a vyniklé pomocné, komutační póly. Cívky hlavních vyniklých pólů budí magnetické pole motoru, zatímco vyniklé, pomocné komutační póly napomáhají komutaci rotorového vinutí. (Roubíček, 2004, s. 59-61)

Abdallah (2021, s. 21) ve své publikaci uvádí, že se při elektromechanické transformaci energie mění vnitřní elektrický výkon na vnitřní mechanický výkon, což platí pro motory. Pro generátory platí opačný princip. Oba výkony jsou ovšem při absolutní velikosti stejné. (Měřička, Hamata a Voženílek, 2000, s. 20-21)

### 2.2.3 Konstrukční provedení

Stejnoseměrné motory i dynam mají v podstatě shodné konstrukční provedení. Dynam bývají provozována v přívětivém prostředí kvůli jejich odhalené konstrukci. Zatímco stejnosměrné motory pracují ve ztížených podmínkách s výskytem prachu a vlhkosti, což vyžaduje jisté formy odolnosti proti okolním vlivům, jako například odolnost proti prachu. (Abdallah, 2021, s. 2)

## 2.3 Asynchronní stroje

Asynchronní stroje jsou nejrozšířenějšími elektromotory, jelikož jsou v porovnání s ostatními elektromotory nejjednodušší a nejlevnější. Dále, jsou nejspolehlivější a zároveň



nevyžadují náročnou údržbu. K napájení je užitá běžná střídavá trojfázová síť. (Měřička, Hamata a Voženílek, 2000, s. 165)

### 2.3.1 Význam a použití

Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku (2011, s. 37) i Měřička, Hamata a Voženílek (2000, s. 165) se shodují, že klíčovou roli asynchronních strojů zastává jejich využití z důvodu nízké pořizovací ceny a celkové jednoduchosti stroje. Jejich rychlost lze jen s obtíží regulovat, proto v minulost nacházeli využití k pohonu zařízení, při kterém mohli pracovat při konstantní rychlosti. Regulace otáček změnou napětí totiž přináší nevalné výsledky.

Na základě principu fungování nacházejí využití na takových místech, kde je k dispozici střídavé napájecí napětí. Ve spojení s převodovkami jsou asynchronní motory hojně užívány u technologií v průmyslu a stavebnictví, ovšem s výjimkou pohonů v automobilech i v ručních nářadí. (Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku, 2011, s. 37)

Při využití asynchronních generátorů je nutno brát v zřetel fakt, že tyto stroje zatěžují síť jalovým proudem k vytvoření svého magnetického pole. (Měřička, Hamata a Voženílek, 2000, s. 165)

### 2.3.2 Princip působení

Základním principem pro fungování je vzájemné elektromagnetické působení točivého magnetického pole statoru a proudů, které jsou tímto magnetickým polem vytvořeny ve vinutí motoru. Zkráceně řečeno, stroj funguje na indukci napětí a proudů ve vinutí rotoru, díky čemuž získal označení indukční stroj. Toto točivé magnetické pole představuje pole permanentního magnetu, který se otáčí konstantní rychlostí. (Měřička, Hamata a Voženílek, 2000, s. 165)

Asynchronní stroje jsou střídavé a povětšinou trojfázové. Výjimkou jsou malé, jednofázové motory. Točivé magnetické pole je buzeno trojfázovým vinutím, které je rozloženo v drážkách statoru. Vinutím protéká souměrná soustava proudů, což je dáno prostorovým rozmístěním daných fází vinutí. (Roubíček, 2004, s. 15)

Jako důležitou součást uvádí Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku (2011, s. 37) vzduchovou mezeru, která by s ohledem na účinnost motoru měla být co nejmenší. Kvůli vyrobiteľnosti stroje je ovšem nutné učinit jisté technologické ústupky. Autor proto s nadsázkou nazývá vzduchovou mezeru jako nejdražší část stroje. Doplnuje také, že zvětšování vzduchové mezery negativně ovlivňuje vlastnosti asynchronního stroje.

### 2.3.3 Konstrukční provedení

Tématika asynchronních motorů je ovlivňována ekologií jejich provozu. Zhruba od roku 2005 bylo nutné vyrábět a uvádět na trh pouze takové stroje, které splňují dané limity účinnosti zavedené od téhož roku. Výrobci jsou tudíž nuceni upravovat konstrukční uspořádání za účelem splnění dané meze účinnosti, což má zcela nepatrně vliv na technologickou náročnost a výši nákladů. (Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku, 2011, s. 37-38)

Stator indukčního motoru s kroužkovým rotorem má magnetických obvod vložený do nosné kostry. Cívky jsou vyráběny zejména z elektrolytické mědi izolované skelnou izolací, a jejich navíjení může být strojové nebo ruční. U větších strojů má rotor hřídel z ocelového výkovku a u menších strojů z válcované či tažené oceli. (Roubíček, 2004, s. 16-21)

## 2.4 Synchronní stroje

Oproti strojům asynchronním se synchronní motor otáčí stejnými otáčkami jako jeho magnetické pole, které je vyvolané budícími cívkami statoru. Synchronní stroje lze rozdělit dle dvou typů rotorů, a sice na rotory hladké a rotory s vyniklými póly. (Čermák, 2015)

Měříčka, Hamata a Voženílek (2000, s. 230-232) označují synchronní stroje za nejdůležitější elektrické stroje pro výrobu elektrické energie, které v daném případě pracují nejčastěji jako trojfázové generátory, a nazývají se alternátory. Mohou dosahovat výkonů přes 1000MW a jedná se o největší vyráběné elektrické točivé stroje.

### 2.4.1 Význam a použití

Stroje synchronní nacházejí velké uplatnění v elektrárnách, čímž tvoří valnou část výroby elektrické energie. Mají uplatnění i v automobilovém průmyslu nebo ve výše zmíněných elektrocentrálách jako generátory. Výkony synchronních generátorů totiž dosahují značné výše. (Čermák, 2015)

Měříčka, Hamata a Voženílek (2000, s. 230) výše zmíněnou problematiku popsali podrobněji. Značný význam těchto výkonných strojů tkví ve vyšší účinnosti, menších investičních a provozních nákladech. V elektrárnách jsou alternátory poháněny parními turbínami, proto jsou nazývány turboalternátory. Mohou být ovšem poháněny i vodními turbínami, nazývají se hydroalternátory.

Synchronní točivé stroje mají využití i jako motory k pohonu průmyslových zařízení vyžadujících větší výkon. Nevýhodou tvoří obtížnější spouštění i regulace rychlosti, zatímco výhodou je dobrý účinník.

#### 2.4.2 Princip působení

Roubíček uvádí synchronní motory jako střídavé a trojfázové. Existují však i konstrukce se šesti nebo i více fázemi. Dále upřesňuje, že funkce synchronního motoru závisí na přítomnosti točivého magnetického pole ve vzduchové mezeře. (Roubíček, 2004, s. 40-41)

Pro střídavé motory je použit zdroj jednofázový nebo vícefázový, přesněji trojfázový. Třífázové napětí je v průmyslu běžné dostupné. (Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku, 2011, s. 37)

Měřička, Hamata a Voženílek (2000, s. 230-232) doplňují, že vinutí statoru neboli kotva, je tvořeno z tří cívek prostorově natočených o  $120^\circ$  elektrických. Jelikož synchronní stroje disponují velkými výkony a vysokým napětím, nachází se vinutí kotvy na statoru s pevnými vývody. Budící vinutí se nachází na rotoru a je napájeno stejnosměrným proudem ze stejnosměrné sítě nebo z vlastního dynama, respektive budiče. Při napájení trojfázového vinutí statoru trojfázovým proudem dokáže tentýž stroj pracovat i jako motor, jelikož napájení vytvoří točivé magnetické pole.

#### 2.4.3 Konstrukční provedení

Měřička, Hamata a Voženílek (2000, s. 232-235) i Roubíček (2004, s. 41-43) se shodují, že stator synchronního stroje se od asynchronního téměř neliší, skládá se z izolovaných plechů, v drážkách je uloženo střídavé trojfázové vinutí. Toto vinutí se nejčastěji spojuje do hvězdy.

Synchronní motor by mohl být podle Roubíčka (2004, s. 41-43) navrhnout jako stroj s rotorem s vyniklými póly nebo s hladkým (válcovým) rotorem. Jak již bylo zmíněno, v obou případech je stator motoru téměř shodný jako u motoru asynchronního.

#### 2.4.4 Synchronní stroj s vyniklými póly

Pro synchronní stroj s vyniklými póly se užívá název hydrostroj, jelikož často pracují ve spojení s vodními turbínami. Vodní turbíny, zejména Kaplanovy turbíny, jsou pomaluběžné, na rozdíl od turbín parních. Mohou být konstruovány jako horizontální nebo vertikální. (Měřička, Hamata a Voženílek, 2000, s. 232-234)

Rotor s vyniklými póly může mít čtyři a více pólů, ty jsou osazeny přímo na hřídeli. Hřídel má uprostřed tvar čtyř – nebo šestibokého hranolu a je vykován vcelku i s ložiskovými čepy. Pomocí rotorové hvězdice se na střed hřídele usazuje lité nebo kované rotorové jho. K rotorovému jhu jsou užitím rybin, kladiv nebo šroubů připevněny kované vyniklé póly. Póly mohou být zhotoveny z masivní ocelolitiny, nebo se pro vícepólové motory skládají z plechů. Na pólech se nachází budící vinutí. (Roubíček, 2004, s. 41-43)

#### 2.4.5 Synchronní stroj s hladkým rotorem

Synchronní stroj s hladkým rotorem bývá označován jako turbostroj, má rotor tvaru hladkého válce a bývá vykováný z jednoho kusu oceli. Pověšinou skýtá dva, výjimečně až čtyři póly. Rozměry turbomotorů jsou vzhledem k pevnostním a dynamickým poměrům omezeny délkou 7 metrů a průměrem 1,2 metru. Ve válci jsou po části obvodu podélné drážky pro založení budícího vinutí. (Roubíček, 2004, s. 43)

Měřička, Hamata a Voženílek (2000, s. 234-235) poté upřesňují, zhruba ve 2/3 obvodu rotoru jsou vyfrézovány drážky, ve kterých je vloženo budící vinutí. Zbytkem obvodu prochází hlavní magnetický tok a bývá bez drážek.

### 3 PODSTATA VYVAŽOVÁNÍ ROTORŮ

V této kapitole bude uvedena rešerše pojednávající o podstatě vyvažování rotorů, která je pro chápání principu vyvažování klíčová. Čtenáři budou seznámeni s nevyvážeností obecně, důležitosti vyvážení i s typy nevyváženosti. Bude také uveden průběh vyvažování a umístění korekčních hmot.

#### 3.1 Nevyváženost

Nevyváženost je nežádoucí stav, kdy je hmota rotujícího tělesa nepravidelně rozmístěna okolo osy rotace. Na ose rotace se tudíž nenachází těžiště tělesa. Vyjádřeno přesně podle ISO, se hlavní osa setrvačnosti neshoduje s osou rotace. Můžeme také dle ISO rozlišovat různé stavy nevyváženosti závislé na poloze hlavní osy setrvačnosti v poměru k ose rotace. Velikost nevyváženosti přímo ovlivňuje dynamické zatížení na ložiskách, přičemž je dána vzdáleností těžiště od osy rotace a hmotou tělesa. (Schenck.co.uk, 2022)

Vyvažováním označujeme proces kontrolování rozložení hmoty rotoru. Rozložení hmoty se v nutném případě upravuje, aby se eliminovala zbytková nevyváženost a vibrace ložiskových čepů. Nevyvážená rotující součást způsobuje odstředivé síly, hluk a chvění. Se zvyšováním otáček se tyto faktory stupňují a mohou představovat bezpečnostní hrozbu. Jedná se zejména o snahu dosáhnout nejvyšších možných provozních otáček za účelem zvýšení efektivity a výkonu. S neustálým rozvojem se nároky na vyvažování zvyšují, zejména s tendencí zvyšovat provozní otáčky rotorů. (Li et al, 2021, s. 2)

#### 3.2 Důležitost vyvážení

Proces vyvažování se u většiny rotujících součástí stal nutností s ohledem na stále se zvyšující nároky na kvalitu a bezpečnost. Také s postupným zvětšováním rozměrů rotorů, zejména u elektrických generátorů v elektrárnách, se správnému vyvažování klade čím dál větší důraz. (Racic a Hidalgo, 2007, s. 2-3)

Neopomenutelným zůstává fakt, že kvalitní vyvážení zajišťuje prodloužení životnosti rotorů, včetně již zmíněné zvýšené účinnosti a ekonomičnosti. Významnou roli také hrají normy popisující bezpečný proces vyvážení rotorů s ohledem na ekonomickou, i praktickou stránku provozu. (Schenck.co.uk, 2022)

### 3.3 Příčiny nevyváženosti

Plánovaný a skutečný stav technologie výroby a konstrukce rotorů se zpravidla od reálných stavů liší. Dalo by se říci, že nevyváženost tkví v materiálech, jejich zpracování (výrobě), konstrukci a montáži. S jistotou víme, že materiál použitý pro výrobu rotorů není homogenní. Z čehož vyplývá, že má materiál odlišnou strukturu čili i hustotu. (Schenck.co.uk)

Mezi další příčiny může patřit i tepelná deformace, pnutí při odlévání, nepřesnost při montáži a výrobní tolerance. Mezi pokročilé příčiny se řadí degradace rotujících součástí korozí začínaje, nerovnoměrným opotřebením a usazeninami konče. (Li et al, 2021, s. 2-3)

Leader a Malcolm (2016) výše zmíněné tvrzení kvituje a upřesňuje, že se spousta rotorů potýká s nashromážděním usazenin z okolního prostředí, korozí a opotřebením. Předesílá tím úvahu, že tyto faktory způsobují změnu vyváženosti, na kterou se rotory nemohou samovolně přizpůsobit, respektive nemohou provést údržbu sebe samých.

### 3.4 Důsledky nevyváženosti

Rotory ovlivněné nevyvážeností dosahují vyšších vibrací a dynamického namáhání ložisek. Při silné nevyváženosti může dojít ke kolizi rotující součásti se statorem. Netřeba zdůrazňovat, že výše zmíněné faktory zřetelně omezují životnost rotujícího zařízení. Proto je žádáno snižování vibrací na přípustné hodnoty odpovídající normám. Přidáním, nebo odebráním vyvažovací hmoty jsou vibrace téměř zcela eliminovány. (Schenck.co.uk)

Rotor se ve stavu pokročilé koroze může vlivem únavy materiálu roztříštit a způsobit havárii, jako tomu bylo v roce 1969 v jaderné elektrárně Hinkley Point ve Velké Británii. (Banaszkiewicz a Rehmus-forc, 2015, s. 66)

### 3.5 Typy nevyváženosti

Existují základní dva druhy nevyváženosti: dynamická a statická. Kombinací obou druhů vzniká nevyváženost obecná. (Kelm, Kelm a Pavelek, 2016, s. 5-7) Následující podkapitoly se zaměří na problematiku daných druhů nevyváženosti.

#### 3.5.1 Momentová nevyváženost

Momentová nevyváženost se projevuje při stavu, kdy hlavní osa setrvačnosti již není totožná s osou rotace. Z toho vyplývá, že mají jeden společný bod umístěný v těžišti rotoru. Můžeme

ji charakterizovat silovou dvojicí, kde jsou 2 stejně velké síly na rovnoběžných nositelkách s opačnou orientací. Tyto síly lze interpretovat jako dvojici stejně velké nevyváhy orientované v rovnoběžných rovinách naproti sobě. Nejvíce se tyto síly projeví až při rotaci, respektive při působení odstředivé síly. Nutno podotknout, že tato síla se projevuje výrazněji při zvyšování otáček rotoru. (Schenck.co.uk)

### 3.5.2 Statická nevyváženost

„Dvě nevyváženosti mohou mít stejnou velikost a polohu a mohou být stejně vzdáleny od těžiště. Stejný stav může nastat při jedné jediné, dvojnásobně veliké nevyváženosti, která působí v těžišti, tedy ve středu rotoru. Uložíme-li takový rotor na dva břity, bude se tak dlouho otáčet (kolébat), až bude jeho "těžké místo" směřovat dolů. Tato nevyváženost působí tedy také bez rotace, a proto ji nazýváme statickou nevyvážeností. Způsobuje posunutí těžiště rotoru z geometrického středu, přičemž rotor za provozu kmitá rovnoběžně ke své ose rotace.“ (Schenck.co.uk)

### 3.5.3 Dynamická nevyváženost

„Reálný rotor nemá pouze jednotlivou nevyváženost, ale teoreticky nekonečný počet nahodile působících nevyvážeností podél osy rotace. Tyto se mohou nahradit dvěma výslednými nevyváženostmi ve dvou libovolných rovinách, které obecně mají rozdílnou velikost a úhlovou polohu. Protože tento druh nevyváženosti se dá kompletně zjistit pouze za rotace, mluví se o dynamické nevyváženosti. Tato nevyváženost se dá rozdělit na statickou a momentovou nevyváženost, přičemž jeden nebo druhý podíl může převažovat.“ (Schenck.co.uk)

## 3.6 Rotorové vibrace

Podle Guly (2017, s. 85-87) je monitorování vibrací elektrických točivých strojů naprosto stěžejním a mělo by stroje doprovázet po celou dobu jejich nepřetržitého provozu. Dále upřesňuje, že se nabízí vícero metod zaznamenávání vibrací. Uvádí, že se jedná buďto o monitorování teploty, chemických změn, úrovně hlučnosti nebo o pouhé zaznamenávání vibrací.

### 3.6.1 Relativní rotorové vibrace

Při zaznamenávání relativních vibrací jsou zachycovány rotorové vibrace oproti ložisku. Umístění snímačů by mělo být směrem na rotor, přičemž uchycení by mělo být na

ložiskových stojanech. Relativní vibrace nejsou pro výpočet zbytkových nedostatků esenciální, i přesto se při vyvažovacím procesu dost často monitorují. (ČSN ISO 10817-1)

### **3.6.2 Absolutní rotorové vibrace**

Pro změření absolutních vibrací je nutné se zaměřit na výchylku ložiskových stojanů oproti základní nosné konstrukci. Vibrace absolutní představují nejpotřebnější hodnotu, jelikož se podle těchto vibrací výpočtem získává hodnota zbytkových nevyvážek. Důležitým aspektem zůstává, že tuhost ložiskových stojanů vyvažovacího stroje by měla odpovídat běžné tuhosti při běžném provozu, jelikož čím citlivější stojan je, tím vyšší mohou být hodnoty absolutních vibrací. (ČSN ISO 10817-1)

### **3.7 Kritická oblast otáček**

V první fázi kritických otáček je rotor nejvíce náchylný vůči nevyváženosti poblíž středu i konce rotoru. Jakmile se rotor blíží ke druhé kritické oblasti, nastane ve středu rotoru bod bez žádných vibrací, tzv. node point. Pro všechny rotory platí, že pro snížení nevyváženosti v průběhu prvních i druhých kritických otáček je kvalitní vyvážení elementární záležitostí.

Pokud byl ale rotor v minulosti opravován, nelze již po nízkootáčkovém vyvážení zajistit uspokojivé vyvážení. Důsledkem již opravovaného rotoru tedy mohou být zvýšené vibrace, které dramaticky narůstají po přechodu prvních kritických otáček do druhých kritických otáček. (Kelm, Kelm a Pavelek, 2016, s. 3-4)

### **3.8 Vyvažování v nízkých otáčkách dle ČSN ISO 21940-11**

U rotoru tuhého je užito dvou vyvažovacích rovin, které jsou umístěny blízko ložiskových rovin. Stav, kdy se na ložiska rotoru přenáší dynamická síla nebo pohyb důsledkem odstředivých sil, se definuje jako nevyvážek a je udáván v jednotce gram/milimetr. Tento součin určuje hodnotu přibližné hmotnosti v gramech, přičemž tato hmotnost musí být přidána do vzdálenosti jednoho milimetru od osy otáčení pro dosažení vyváženého stavu rotoru. Norma udává, že hodnota každého zbytkového nevyvážku v ložiskových rovinách musí být menší, nežli jsou hodnoty uvedeny v příslušné normě. (ČSN ISO 21940-11)

### **3.9 Vyvažování ve vysokých otáčkách dle ČSN ISO 21940-12**

Pro rotory tuhé se vyvažování ve vysokých otáčkách nepoužívá, je určeno zejména pro pružné rotory. Pružné rotory by ovšem bylo možné vyvážit i v nízkých otáčkách za



předpokladu splnění určitých specifík. Princip výběru vyvažovacích rovin se bude odvíjet od dosažených, nebo překročených kritických otáček, platí ale, že minimální počet je  $n$  rovin. Zásadní informací je, že počet vyvažovacích rovin by měl být stanoven již při procesu tvorby konstrukčního návrhu. Doporučená a nejčastěji užívaná hodnota je ovšem  $(n+2)$  rovin. (ČSN ISO 21940-12)

### 3.10 Umístění vyvažovacích hmot

V závislosti na znalostech o pevných rotorech je tvrzeno, že úprava statické nevyváhy může být provedena umístěním korekčních hmot po celé délce hřídele, je ovšem preferováno statickou nevyváhu upravovat poblíž středu daného rotoru. Korekce dynamické nevyváhy je prováděna korekcí ve dvou oddělených rovinách. Jsou-li tyto roviny od sebe značně vzdálené, bude výsledné použití korekční hmoty výrazně nižší.

Vyvažovací stroj při nízkých otáčkách nedokáže určit přesnou polohu nevyváhy, a proto lze množství korekční váhy určit vyloženě na základě zkušeností operátora vyvažovacího stroje. Dá se tedy říci, že operátor určuje, jaké množství korekční hmoty by mělo být na střed rotoru použito. Zároveň je nutno brát v zřetel, že umístění velkého množství korekční hmoty představuje zvýšené riziko. (Kelm, Kelm a Pavelek, 2016, s. 4-5)

Pravděpodobnost potenciálního rizika se zvyšuje v případech, kdy se rotor musí vyvážit při a zejména nad běžnou hodnotou provozních otáček, přičemž vyvstává nebezpečí uvolnění a následné odletění korekčních hmot. V krajních případech se rotor může uvolnit z podstavců, nebo se rozpadnout. (ISO 21940-23:2012)

Běžný postup při korekci statické nevyváženosti spočívá v testování za nízkých otáček a následném umístění korekčních hmot poblíž středu rotoru. Zároveň je nutno upřesnit, že v této fázi se užije pouze kolem 50% skutečné hodnoty korekční hmoty. Zbylých 50 % je umístěno na konec rotoru v průběhu druhé fáze vyvažování. Ve druhé fázi je následně umístěna i korekční hmota pro nevyváženost dynamickou, která se taktéž umísťuje na konec rotoru. (Kelm, Kelm a Pavelek, 2016, s. 5-7)

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU UMÍSTĚNÍ VYVAŽOVACÍHO STROJE

Tato kapitola bude zaměřena na popsání stávajícího stavu pracoviště, potažmo celé haly, ve kterém se vyvažovací stroj nachází. Z důvodu ochrany firemních dat je nepřípustné, aby byl v této práci podrobně popsán areál společnosti XY, a proto budou v rámci mé práce vyobrazeny a popsány pouze nezbytně důležité údaje a skutečnosti. Při vypracování této části jsem se objektivně zaměřil na zhodnocení kladných a negativních ohledů týkajících se haly s aktuálně umístěným vyvažovacím strojem.

### 4.1 Rozbor technických parametrů vyvažovacího stroje Schenck HM 7

Úvodem praktické části jsou uvedeny technické parametry vyvažovacího stroje značky Schenck. Tato společnost produkuje k roku 2022 několik řad vyvažovacích strojů: HM 6, HM 60, HM 7, HM 70, HM 8 a HM 80. Společnost XY, v níž je bakalářská práce vypracována, vlastní stroj řady HM 7. V porovnání s ostatními řadami skýtá průměrné parametry, které však plně uspokojují potřeby společnosti XY v rámci vyvažování rotorů.



Obrázek 1 Pracoviště vyvažování (vlastní zpracování)

Nyní budou uvedeny základní specifikace výše zmíněného stroje. Z údajů je zřejmá maximální přípustná hmotnost vyvažovaného rotoru, řada HM 7 dokáže pracovat s hmotnostmi do 32 tun. Pro porovnání, nejvyšší řada HM 80 je dimenzovaná na úctyhodných

250 tun hmotnosti rotoru. Další položka v seznamu udává maximální průměr odpovídající hodnotě 2 800 mm. Důležitý údaj činní výkon pohonu s hodnotou 55 kW při připojení k třífázovému proudu o napětí 400 V s frekvencí 50 Hz. Stroj může pohánět rotor skrz kardan, nebo využitím řemene i kardanu zároveň. K připojení různých rozměrů rotorů skrz kardan jsou využívány redukce kardanu. K monitorování byl při uvedení na trh používán software CAB 820, jež byl později nahrazen novější verzí CAB 920.

Tabulka 1 Technické parametry vyvažovacích strojů Schenck

(vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Technické údaje	HM 6	HM 60	HM 7	HM 70	HM 8	HM 80
Maximální váha rotoru (kg)	12 500	20 000	32 000	50 000	125 000	250 000
Maximální průměr rotoru (mm)	2 100	2 100	2 800	2 800	3 600	3 600
Průměr ložiskového čepu (mm)	40 - 120	50 - 200	60 - 250	70 - 300	70 - 300	70 - 300
Vzdálenost středu ložisek (mm)	3 150	4 650	5 050	5 050	5 800	5 800
Minimální dosažitelný zbytkový nevyvážek (g/mm)	15	20	32	40	80	120
Výkon pohonu (kW)	22	37	55	75	90	110
Typ pohonu	Třírychlostní: kardan / řemen <i>(volitelné)</i>					
Zdroj napětí	400 V ± 10 %, 3-fázový, 50 Hz					
Nátěr	RAL 7021 / 7035 grafitová šedá / světle šedá					



Obrázek 2 Rotor usazený na vyvažovacím stroji (vlastní zpracování)



Obrázek 3 Průběh vyvažování (vlastní zpracování)

## 4.2 Analýza současného umístění

Je nutno specifikovat, že analýze současného stavu předcházela pravidelná kontrola haly impregnace formou interních auditů. Interní audity jsou ve společnosti XY prováděny oddělením průmyslového inženýrství. Při výkonu praxe v této společnosti jsem na hale

impregnace byl součástí auditového týmu, tvrdím proto, že analýze současného stavu předcházela dalekosáhlejší sběr dat.



Obrázek 4 Areál společnosti, vyznačena budova aktuálního umístění

(vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Vyvažovací stroj H7 je umístěn v hale impregnace, označena číslem 8. Již na první pohled zaměření haly nekoresponduje s předmětem vyvážení. Proces impregnace představuje proces máčení navinutých celků, přesněji rotorů a statorů, do impregnační pryskyřice, po níž následuje vytvrzení.





Obrázek 5 Hala č. 8 (vlastní zpracování)



Obrázek 6 Prostor haly Impregnace (vlastní zpracování)

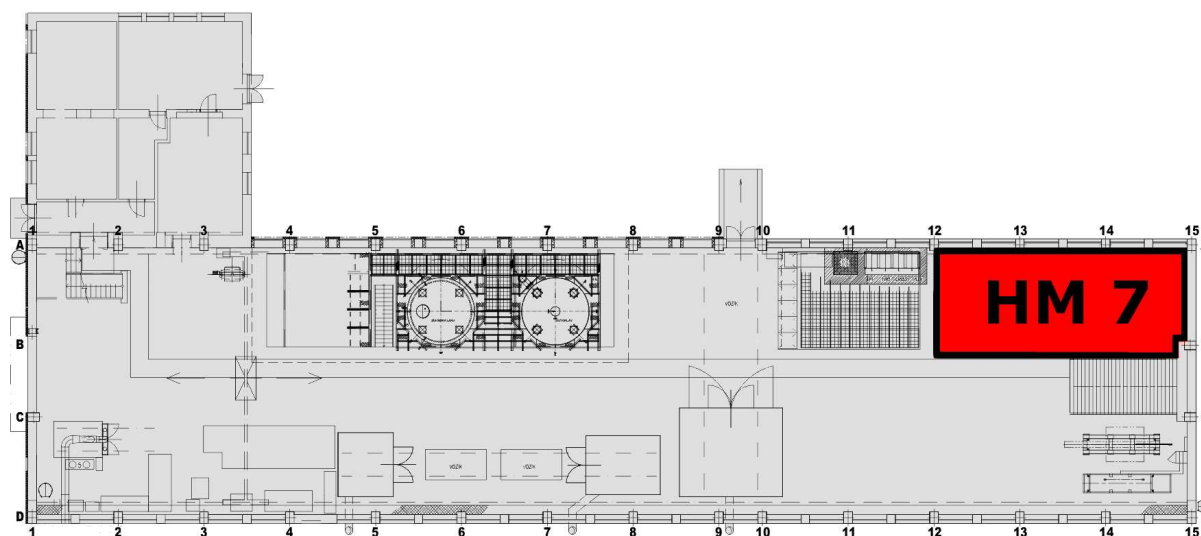
#### 4.2.1 Layout haly

Na impregnační hale se v roce 2022 nachází následující pracoviště, která jsou prováděna jako související činnosti:

- impregnace;
- příprava epoxidových směsí;
- zařízení na bandážování;
- resolvery;
- sklad chemie;
- pec č. 1;
- pec č. 2;
- pec č. 3;
- pec č. 4;
- vyvažování rotorů.

Uvedený layout neuvádí konkrétní rozpořování pracovišť, jelikož se vzhledem k cíli práce jedná o irelevantní údaje. Layout tedy slouží pro vyobrazení umístění pracoviště vyvažování v rámci haly č. 8. Při průběhu zaznamenávání dat jsem registroval a konstatoval, že stav aktuálního umístění vyvažovacího stroje po levém zadním rohu haly je nevalný. Tuto úvahu lze podložit faktem, v případě přesouvání rotoru jeřábem z a na pracoviště vyvažování musí totiž být veškerý provoz na hale dočasně z bezpečnostních důvodů přerušen, čímž se umístění stroje jeví jako nerentabilní. Je také nutné zmínit, že operace vyvažování rotorů je vcelku častá, probíhá v průměru 6krát do týdne. Ročně se tedy ve společnosti XY vyváží přes tři sta tisíc kusů rotorů. Množství nutných pozastavení přidružené výroby tudíž přímo odpovídá bilanci vyvažovacích operací.





Obrázek 7 Layout haly č. 8 s vyznačeným pracovištěm vyvažovacího stroje HM 7  
(vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

#### 4.2.2 Vliv výrobního procesu

Při pohybování se po, i v okolí haly impregnace je možné registrovat typický pach, pocházející z výparů roztoku impregnantu a ostatních látek, jichž jsou z prostorů haly intenzivně odsávány. Ve vnitřních prostorách haly je puch výparů značnější, doprovází tudíž také veškerá pracoviště této haly, přestože je hala intenzivně odvětrávána, jak bylo zmíněno.

Na základě norem je ovšem zjištěno, že množství výparů odpovídá normě, nepředstavují tudíž riziko pro pracovníky. Lze ovšem konstatovat, že snižují kvalitu pracovního prostředí. Zásadní informaci zastává výskyt výparů látky xylen, niž je užita jako ředidlo. Xylen je čirá, bezbarvá kapalina nasládlého zápachu.

Kvůli výskytu par této látky je prakticky celá hala označena zónou „Nebezpečí výbuchu“. Slovní obrat „prakticky“ je užit z důvodu, že pracoviště vyvažovacího stroje je z této zóny vyjmutu. Legislativně je tato skutečnost ošetřena a vyjmutí pracoviště z této zóny jeho stávající umístění umožňuje. V opačném případě by totiž umístění stroje v této zóně bylo neproveditelné. Tento faktor představuje klíčový aspekt při zhodnocení významnosti projektu.

#### 4.2.3 Mostový jeřáb

Za další kritický údaj lze považovat nosnost již zmíněného jeřábu, niž je stanovena na břemeno o hmotnosti 16 tun. Jak je ovšem uvedeno na straně č. 39, může vyvažovací stroj spolupracovat s rotory o maximální hmotnosti 32 tun, přičemž lze nosnost jeřábu označit

jako úzké místo. Z důvodu omezené nosnosti jeřábu na pracovišti impregnace je proto společnost XY nucena rotory těžší 16 tun odesílat na kooperační vyvážení konkurenční společnosti.



Obrázek 8 Mostový jeřáb na hale č. 8 (vlastní zpracování)

Nutno zmínit skutečnost, že využití autojeřábu s vyšší nosností oproti jeřábu osazenému na hale, by nebylo možné z hlediska povahy a půdorysu budovy, a není proto validním řešením pro zmíněné úzké místo. Mohu tedy i za pracovníky společnosti potvrdit, že omezená nosnost jeřábu představuje při posuzování důležitosti projektu podnět s vysokou vahou.

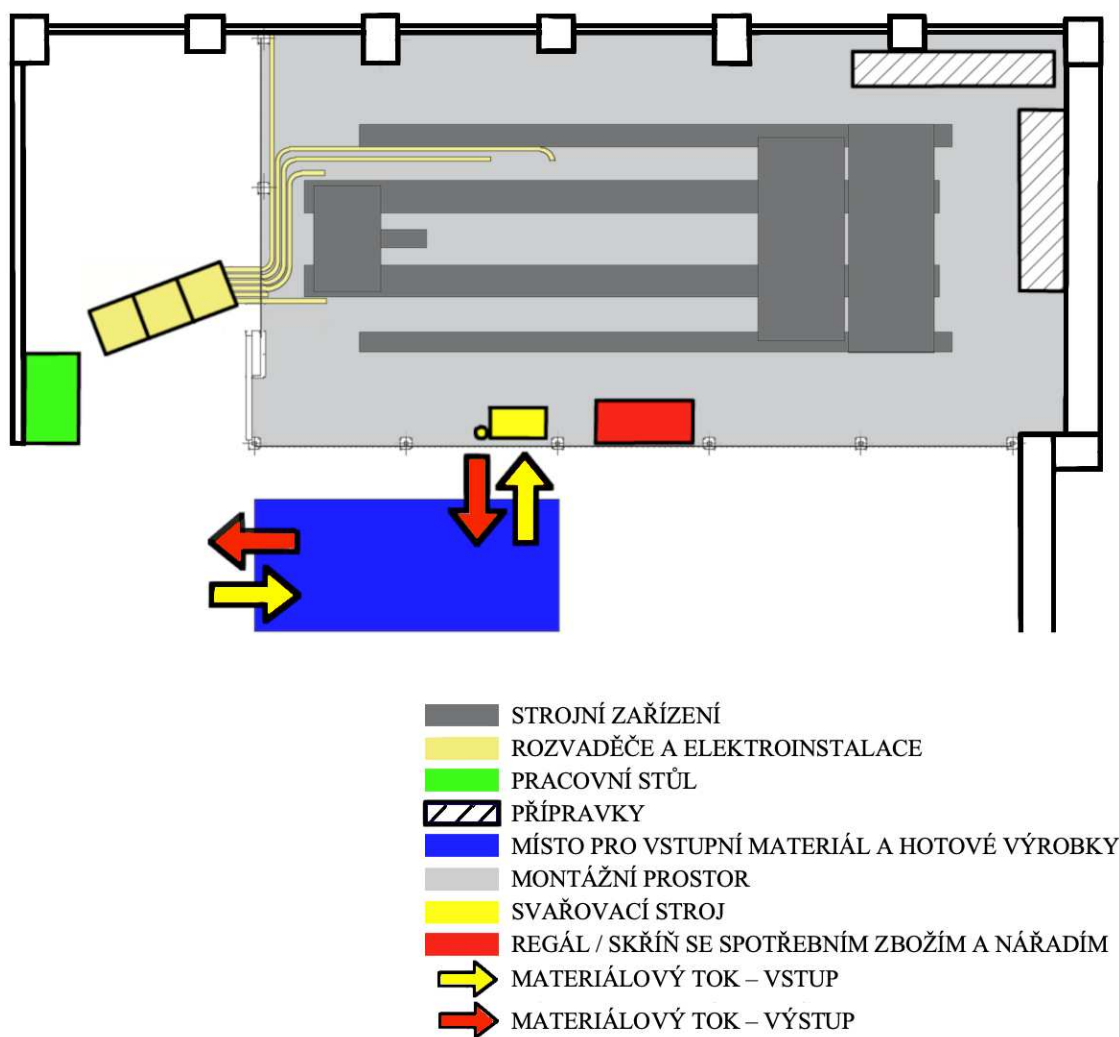
Na otázku, proč se stroj umístil do této pozice, kde se nelogicky snižuje jeho kapacita z 32 tun na 16 tun odpovídají dlouholetí zaměstnanci: „Neexistoval volný prostor, navíc jsme nevyráběli tak velké rotory.“ Situace se však za posledních 10 let změnila, když firma začala vstupovat do segmentu generátorů větších osových výšek, již několikrát se tedy nad přemístěním vyvažovacího stroje uvažovalo.

#### 4.2.4 Layout pracoviště stroje HM 7

V následující příloze je vyobrazen aktuální layout vyvažovacího stroje Schenck HM 7. Po levé straně výkresu se nachází pracovní stůl a rozvaděčová skříň s elektroinstalací. Spodní částí dominuje plocha pro vstupní materiál a hotové výrobky, pro kterou jsou vymezeny

materiálové toky vstupu i výstupu. Velkou část plochy však zastává montážní prostor, ve kterém se nachází strojní zařízení, svařovací stroj, regál se spotřebním zbožím a dva prostory vyhrazené pro přípravky. Čtenářům je nutno uvést, že layout uvedený níže již zaznamenává optimalizované umístění regálu na přípravky, který byl umístěn na protějším pracovišti. Podrobnější popis optimalizace bude následovat kapitolou č. 9.

Stroj se nachází v přímé blízkosti pracoviště bandážování. Pracoviště bandážování přiléhá k manipulační oblasti stroje, čímž je potažmo omezeno v případě zaplnění prostoru manipulace rozměrným rotorem. A dále, při procesu vyvažování je tento prostor vystaven přímému nebezpečí, což si vyžaduje dočasné omezení vstupu na pracoviště. Důvodem je, že se při rotaci z rotoru mohou uvolnit šrouby, nebo se rotor může roztrítit, jak bylo čtenářům uvedeno na straně č. 33.



Obrázek 9 Layout současného stavu vyvažování  
(vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Lze také uvést, že samotný personál by při obsluhování stroje uvítal větší míru ochrany, než je doposud. Přesněji se jedná o zajištění pomocí krycích štítů, které se před procesem vyvažování přisunou po kolejnicích ke středu délky rotoru. Oplocení při vyvažování zabraňuje vstupu obsluhy k vyvažovanému rotoru, neochrání však obsluhu v případě uvolnění šroubu z vyvažovaného rotoru. Při výběru nového umístění proto bude zvýšení bezpečnosti prioritní.



Obrázek 10 Oplocení pracoviště vyvažování (vlastní zpracování)





Obrázek 11 Ochranné kryty na kolejnicích (vlastní zpracování)

Umístění rozvaděče ve stávajícím umístění je nevyhovující, zejména kvůli omezenému přístupu k oběma stranám rozvaděčové skříně. Před prostorem se, jak bylo zmíněno, nachází pracovní stůl, který při obsluhování stroje zčásti překáží. Důležité také je, že se po stranách rozvaděče nachází velmi omezený prostor, přičemž tento stav nesplňuje nařízení vlády o pracovních a obslužných průchodech o minimální šíři 600 mm dle ČSN 73 5105. Je tomu dáno kvůli umístění stěny, ta ohraničuje pracoviště v těsné blízkosti rozvaděče, čímž je znemožněn přístup k zadnímu čelu rozvaděče.



Obrázek 12 Čelní strana rozvaděče (vlastní zpracování)



Obrázek 13 Zadní strana rozvaděče (vlastní zpracování)



Obrázek 14 Kabeláž k vyvažovacímu stroji (vlastní zpracování)

Natočení rozvaděče lze taktéž označit za nevhodné, přičemž na novém umístění bude s největší pravděpodobností umístěn do větší vzdálenosti od stroje. Rozložení vedení kabelů rozvaděče bude taktéž nutno upravit, jak je z obrázku č. 15 patrné. Kabely bude nutno seskupit a vést takovým prostorem, aby neznemožňovaly obsluhu zařízení.

### 4.3 Analýza interního a kooperačního vyvažování rotorů

Nyní čtenářům popíši analýzu, podle které bude vyhodnoceno, zdali je výhodné vyvažovacímu stroji zvolit nové, strategičtější místo, či nikoliv. Následně bude analyzována četnost vyvažování na stroji HM 7, na což naváže porovnání počtu rotorů vyvážených a počtu rotorů zaslaných na kooperační vyvažování externí firmě. Budou také uvedeny náklady spojené s kooperačním vyvážením a jejich podíl na celkové náklady vyvažování.

Výsledky níže popisované analýzy lze interpretovat tak, že drtivou většinu rotorů je možné vyvážit v rámci společnosti XY, a náklady je možné specifikovat následujícím způsobem. Na každých 30 rotorů vyvážených interně ve společnosti připadá 1 rotor, který je nutno vyslat na kooperační vyvážení. Jak bude dále zmíněno, náklady spojené s kooperačním vyvážením jsou ovšem nezanedbatelné.

Nejdříve bylo nutno získat data o tom, jak často vyvažování ve společnosti probíhá a jaké jsou náklady. Data pro analýzu odpovídají hodnotám z roku minulého roku 2021. Na základě těchto dat bylo zjištěno, že v roce 2021 vyvažování proběhlo 321krát ročně, z toho 9krát v rámci kooperace. Průměrné náklady vynaložené k vyvážení jednoho rotoru přímo ve společnosti odpovídají hodnotě 44 900 Kč. Kooperační vyvážení je neúměrně dražší, probíhá na o mnoho větších vyvažovacích strojích. Náklady na jedno kooperační vyvážení se pohybují okolo 499 990,- Kč. V porovnání s náklady ve společnosti XY se jedná o více než desetinásobek.

Ke klarifikaci zmíněného propastného rozdílu je nutno uvést, že vyvažovací stroj H7 společnosti XY má ložiskové stojany s rolnami, rotor se tudíž neupíná do ložiskových domků. Rolny se jednoduše výškově nastaví na potřebný průměr, zatímco při vyvažování v ložiskách je nutno vyrobít pánve, což tvoří podstatnou část ceny. Vyvažovačky podobných rozměrů, které jsou určeny i na odstředování rotorů mají pro příklad i vakuový, betonový bunkr, jež vyžaduje náročnější technologii obsluhy a údržby. V tomto ohledu je pro menší rotory společnost XY v konkurenční výhodě.



## 5 SHRNUTÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PROVEDENÉ ANALÝZY

V rámci první části byla provedena analýza současného stavu, začínaje technickými parametry vyvažovacího stroje Schenck HM 7. Na základě poznatků bylo zjištěno, že ačkoliv je nosnost stroje 32 tun, není možné na dané pracoviště přemístit rotory těžší 16 tun. Tato hmotnost je udána nosností mostového jeřábu na hale impregnace, který nepojme hmotnost vyšší než určených 16 tun. Tento stávající stav byl následně označen jako úzké místo, jelikož značným způsobem omezuje potenciální využití stroje. Čtenářům bylo upřesněno, že užití autojeřábu nepředstavuje možné řešení problému, a rotory těžší 16 tun musí být na vyvážení odeslány kooperačně. Dále bylo apelováno na fakt, že kooperační vyvážení s sebou váže mnohonásobně vyšší náklady.

Následně byla učiněna syntéza dat o četnosti vyvažování z minulého roku 2021, čímž bylo zjištěno, že společnost XY provádí vyvažování rotorů v průměru až třístokrát ročně. Na základě získaných údajů byl následně vypracován finanční rozbor nákladů na kalendářní rok, načež bylo zjištěno, že kooperace tvoří značnou část ročních nákladů na vyvažování přes to, že je tímto způsobem vyváženo pouze 9 kusů z celkových 321 kusů.

## 6 VOLBA LOKACE PRO NÁVRH UMÍSTĚNÍ

Tato část bude věnována celkovému průběhu navrhování nového umístění. Část s sebou obnášela prvotní pohnutky, proces navrhování přes odborné konzultace, až konečné stanovisko po zhodnocení veškerých kritérií. Vzhledem k celkové povaze stroje si přemístění vyžaduje razantní dodržení stanovených norem a předpisů.

### 6.1 Podstata

Prvotní záležitost zastává nutnost učinit rozhodnutí, na jaké pracoviště bude stroj přesunut. V rámci zachování firemního tajemství nelze uvádět podrobné informace. V rámci rétorické otázky, o jaké umístění by se mělo jednat, je nutno ilustrovat aktuální rozložení výrobních hal společnosti XY. Na straně č. 41 již bylo uvedeno, že hala impregnace se nachází v pomyslném středu areálu, tudíž by bylo nejsnazší tento stroj přesunout do libovolné nejbližší haly. Takové lehkomyšlné přemístění by s sebou vázalo více starostí nežli produktivity. Je proto zásadní určit kritéria, ze kterých lze vyvodit smysluplnost přesunutí stroje.



Obrázek 15 Areál společnosti (vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

## 6.2 Kritéria výběru

Pro úplnost je nutno uvést, za jakých okolností probíhal výběr nejvhodnější haly. V rámci volby nového umístění bylo zcela zřejmé, že dané pracoviště musí disponovat jeřábem o vysoké nosnosti. Neopominutelnou okolností jsou dostatečně rozměrná vrata pro přesun rotorů na pracoviště vyvažování a od něj. Důležité také je, aby provoz vyvažovacího stroje neomezoval ostatní pracoviště, jako tomu je při stávajícím umístění. Nebo, pokud možno, omezoval pouze pracoviště využívána okrajově. Jednoduše řečeno, zásadní okolností bylo zajistit takové umístění, které by umožňovalo provoz stroje s částečným nebo absolutně žádným omezením přilehlých pracovišť.

Níže bude vyobrazen rozbor dat v rámci nosnosti jeřábů na všech výrobních halách (vyjma aktuálního umístění). V tabulce je uvedeno, zdali vypsané budovy splňují požadavky na minimální nosnost jeřábu 32 tun.

Tabulka 2 Porovnání nosnosti jeřábů jednotlivých budov (vlastní zpracování)

Hala	Nosnost (t)	Splnění podmínky
č. 3	20	NE
č. 4	16	NE
č. 5	20	NE
č. 9	18	NE
č. 10	20	NE
č. 12	10	NE
č. 18	85	ANO

Z výše uvedené tabulky č. 2 vyplývá, že pouze jediná budova disponuje jeřábem o uspokojivé nosnosti. Jedná se o halu č. 18, Elektromontáže III a Vysokonapěťové zkušebny. Mostový jeřáb této haly nabízí nosnost 85 tun, což je více než pětinasobek oproti nosnosti mostového jeřábu na hale impregnace.

## 6.3 Vyhodnocení volby

Za účelem odůvodněného rozhodnutí byla svolána konzultace s odpovědnými pracovníky společnosti (vedoucí provozu, technolog vyvažování, mistr vyvažování a další). V rámci konzultace, po uvážení výše uvedených okolností a aspektů, jsem jako nejvhodnější umístění navrhnul halu Elektromontáže III / Vysokonapěťové zkušebny. Tento návrh byl následně schválen jako opodstatněný a věcný.



Obrázek 16 Hala č. 8 a hala č. 18 (vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)  
Budova se nachází v přímé blízkosti objektu Impregnace, což by mohlo přinést i relativně nekomplikovaný proces přemístění. Výše zmíněné umístění bylo zvoleno z toho důvodu, že ostatní haly společnosti nenabízejí již zmíněné atributy, protože disponují jeřáby o nosnosti do 20 tun.



Obrázek 17 Budova č. 18 (uprostřed) a budova č. 8 (vpravo)  
(vlastní zpracování)

## 7 PŘEDSTAVENÍ HALY ELEKTROMONTÁŽE III / VN ZKUŠEBNY

Tuto část bude provázet popis specifikací této haly, včetně umístění, rozdělení pracovišť a další. Zaměřit se na podrobnější specifika budovy umožní učinit ucelené rozhodnutí v rámci porovnání jednotlivých variant.

### 7.1 Obecné informace

Je nutno uvést skutečnost, že v čase zavádění vyvažovacího stroje tato hala neexistovala. Úvahy o přemístění vyvažovačky na tuto halu vznikaly až po její dostavbě. Tyto úvahy se ovšem nikdy nerealizovaly.



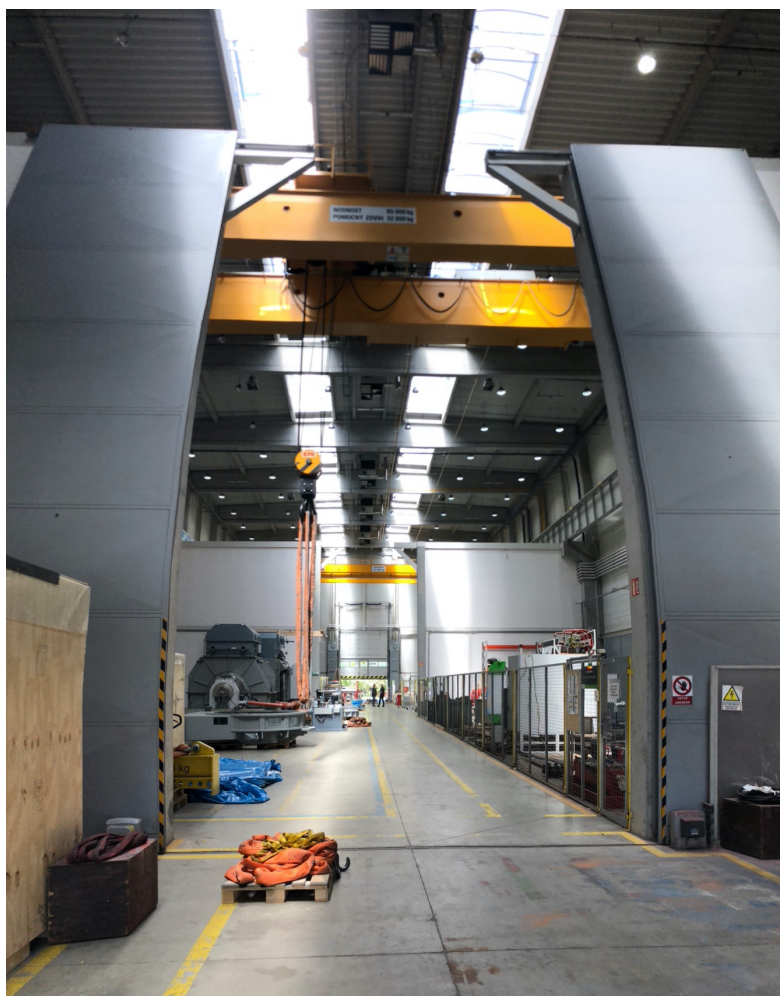
Obrázek 18 Areál společnosti (vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Výše již bylo řečeno, že se tato hala nachází v přímé blízkosti haly impregnace, kde se stroj aktuálně nachází. Výstavba byla dokončena v roce 2013. Prvotní popud vyvažovací stroj přesunout je spjat právě s dostavbou výše zmíněné haly, která po dokončení skýtala dostupné prostory. Vedením firmy bylo ovšem učiněno takové rozhodnutí, které přesunutí vyvažovacího stroje odročilo na úkor důležitějších pracovišť.





Obrázek 19 Hala Elektromontáže III a VN zkušebny (vlastní zpracování)



Obrázek 20 Prostory haly Elektromontáže III a VN zkušebny (vlastní zpracování)

## 7.2 Pracoviště a prostory

Výčet pracovišť hala Elektromontáže III / VN zkušebny:

- montáž;
- navijárna;
- zkušebna;
- lakovna.

Mimo těchto pracovišť se v prostorech haly nachází právě tři prostory, do kterých lze pracoviště vyvažovacího stroje implementovat, jímž bude věnována pozornost později.

Na rozdíl od haly impregnace, která má mostový jeřáb o nosnosti 16 tun, je hala Elektromontáže III / VN zkušebny opatřena mostovým jeřábem o nosnosti 85 tun. Tato skutečnost by umožnila využít maximální přípustnou váhu vyvažovaného rotoru, tedy na rozdíl od původního umístění.



Obrázek 21 Mostový jeřáb haly Elektromontáže III a VN zkušebny (vlastní zpracování)  
Důležité je i to, že hala disponuje vraty na začátku a konci, což umožňuje tok artiklů skrz celou halu. I přesto bývají upřednostňována vrata ze strany od haly impregnace, jelikož jsou rozměrnější a jsou orientované k centru závodu.



Obrázek 22 Vrata z odlehle strany budovy (vlastní zpracování)

Jak je uvedeno na s. 21, stroj musí mít pevné, stabilní základy. Podlaha po celé ploše je tvořena z drátkobetonu o tloušťce 250 mm. Pevnost v tlaku neboli zhutnění, odpovídá hodnotě 80 MPa. Lze tedy tvrdit, že tato podlaha je pro základy vyvažovacího stroje dostačující bez jakýchkoliv úprav.



## 8 NÁVRH NA UMÍSTĚNÍ VYVAŽOVACÍHO STROJE

Po výběru vhodné haly tedy zbývalo navrhnout vhodné umístění v rámci téže haly. Tato část rozhodování měla také své opodstatnění v rámci konzultování s odpovědnými pracovníky. Mnou učiněný návrh skýtal 3 možná umístění, která budou dále podrobněji popsána, včetně výhod a nevýhod. Tyto 3 varianty umístění byly při konzultaci uváženy jako opodstatněné a uskutečnitelné. Jak tedy bylo zmíněno, zaměřím se v následujících částech na objektivní zhodnocení těchto návrhů za účelem výběru toho nejvhodnějšího.

### 8.1 Problematika projektování výrobních systémů

Samotný projekt přemístění s sebou váže příslušné činnosti, které je nutné brát v zřetel za účelem posouzení výhodnosti navrhovaného řešení. Popíši proto základní metodiku, podle kterého by se projekt přemístění měl orientovat. Každá činnost si mimo jiné vykazuje příslušné náklady. Ekonomické zhodnocení přesunutí bude následovat stranou č. 68.

#### 8.1.1 Metodika přemístění

Základní činnosti v rámci přemístění jsou následovné:

- stavební úpravy;
- demontáž;
- přesunutí z původního na navrhované umístění;
- montáž;
- kalibrace.

Prvním krokem se rozumí upravit navrhované umístění tak, aby do něj stroj mohl být umístěn. Rozsah stavebních úprav se v rámci jednotlivých variant liší, čímž se variují náklady, přičemž se obecně jedná o nejnáročnější část přemístění. Poté nastává demontáž strojního zařízení, včetně jeho součástí. Bude se tedy jednat o demontáž stroje HM 7, ochranných krytů včetně kolejí, výpočetní techniky, kabeláže, regálu s přípravky a oplocení. Následuje přesun stroje a jeho součástí do předpřipravených prostor nového umístění. Při montáži je stroj včetně kolejí usazen na podlahu z pevnostního betonu, jež splňuje pevnostní nároky. Koleje budou osazeny na chemické kotvy adekvátního typu. Budou také namontovány veškeré ostatní součásti. Poslední, neopomenutelnou součástí bude stroj

zkalibrovat pro zajištění optimální funkce, což mimo jiné provádí výrobce Schenck RoTec GmbH.

### 8.1.2 Zvýšení bezpečnosti na pracovišti

Na s. 47 byla čtenářům uvedena taková skutečnost, že se obsluha zařízení cítí před vyvažovaným rotorem být nedostatečně chráněna, například v případě uvolnění šroubu. Stroj Schenck HM 7 sice disponuje ochrannými kryty, ty však nenabízí příliš vysokou míru ochrany. Bylo tak zjištěno při analýze současného stavu po rozhovoru s obsluhou stroje. V návaznosti na informace získané z analýzy současného stavu jsem se proto rozhodnul tento prvek do plánování nového umístění zahrnout. Finanční náročnost opatření bude součástí kalkulace nákladů jednotlivých variant, která je uvedena v 9. kapitole.

## 8.2 Varianta A

V rámci první varianty se nabízí možnost stroj umístit naproti vysokonapěťové zkušebně. Tento prostor nemá přesněji definovaný způsob využití. Je využit na externí balení, montáž větších celků, či na skladování.

Návrh vypovídá, že by stroj byl orientován podélně napříč lodi. Oproti ostatním variantám nabízí velkou míru „Crane availability“, i přesto je téže umístění postihnuto zásadní nevýhodou. Zmíněná dobrá přístupnost jeřábem odpovídá parametru „Crane availability“, což je dostupnost jeřábu pro daný prostor pracoviště a jeho okolí.

Tento prostor odpovídá lokaci uprostřed haly, což umožňuje snadnou manipulaci s velkými břemeny uprostřed otevřeného prostoru, tento otevřený prostor by ale mohl být využit efektivněji. Nahrazení externího balení, montáže a skladování by navíc nebylo náročné na stavební úpravy.

Čtenářům již byl zmíněn fakt, kdy je tato varianta zatížena značnou stinnou stránkou. V průběhu vyvažování by osa rotace směřovala k pracovišti vysokonapěťové zkušebny. Bylo by tedy nutné z bezpečnostních důvodů pozastavit veškerou výrobu na ovlivněném pracovišti. V rámci této možnosti je nutno čtenářům specifikovat, že otočení stroje o 90 stupňů by daný nežádoucí stav neeliminovalo. V takovém případě by se totiž osa rotace stýkala s ostatními, více vytiženými pracovišti, nežli je jedna vysokonapěťová zkušebna.



Obrázek 23 Prostor návrhu umístění A (vlastní zpracování)



Obrázek 24 Pracoviště vysokonapěťové zkušebny (vlastní zpracování)



Obrázek 25 Vysokonapěťová zkušebna (vlevo) a navrhované umístění A (vpravo vzadu) (vlastní zpracování)

### 8.3 Varianta B

V pořadí druhá varianta nabízí umístění v nejzazší části lodi. Dle návrhu je zřejmé, že pracoviště zaujímá prostor v rohu haly. Toto umístění aktuálně využívá pracoviště montáž-zapojení. Na rozdíl od varianty druhé ovšem nabízí omezenou „Crane availability“.

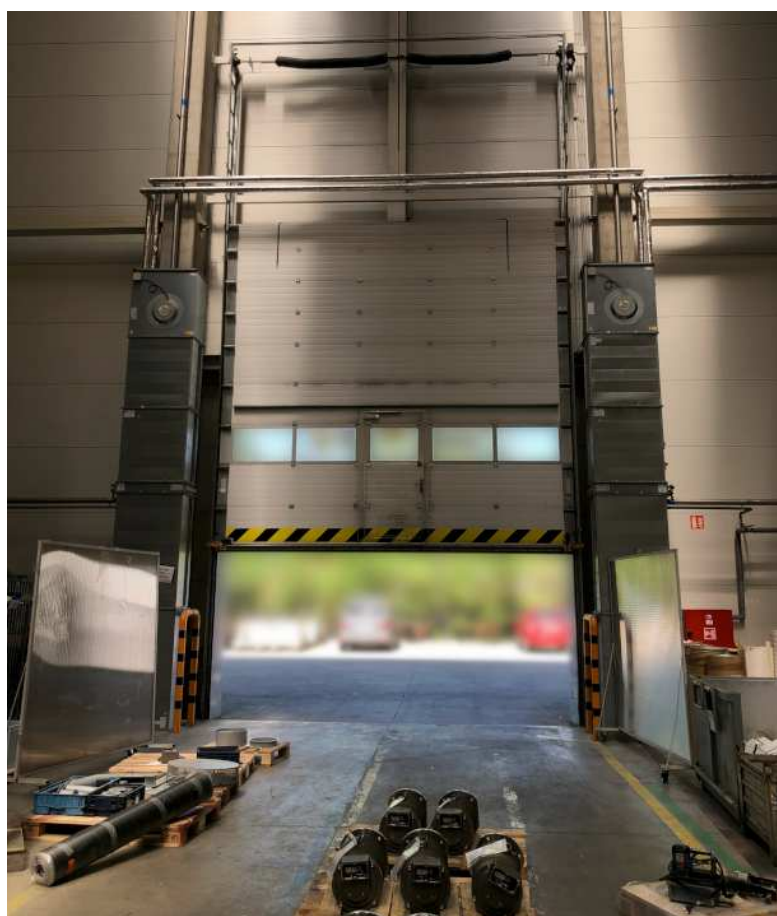
Přesněji, umístění v nejvzdálenějším rohu s sebou přináší patřičná omezení. Již bylo zmíněno, že je preferován přísun artiklů ze strany přivrácené středu areálu. Je to dáno orientací stěny, u níž je v této variantě stroj umístěn, a to z toho důvodu, že je tato strana odvrácená od centra areálu a je k ní obtížnější přístup kamionové dopravě. V případě rozměrnějších rotorů by mohla nastat komplikovaná situace s přemístěním, a to také z důvodu omezené dostupnosti jeřábu v rohu lodi.

Obdobně jako u varianty předchozí lze i u této vyčíst patřičná úskalí spojená s orientací stroje. V případě, že by osa rotace rotoru vyvažovaného rotoru směřovala podélně napříč lodí, znamenalo by to omezení provozu takřka po celé délce haly, což je nepatřičné. V úvahu připadá orientace stroje tak, aby osa rotace rotoru směřovala do protilehlého rohu, kde se nachází další pracoviště.





Obrázek 26 Pracoviště montáže a zapojování (vlastní zpracování)



Obrázek 27 Prostor u vrat u pracoviště návrhu B (vlastní zpracování)

## 8.4 Varianta C

Poslední variantu činí umístění stroje v blízkosti pracoviště lakovna. Lakovna, jež se nachází na opačné straně lodi oproti variantě dvě, skýtá nevyužitý prostor, který v době sběru dat nenacházel efektivní využití.

Podobně, jako u dvou předchozích se i u této varianty uvažovala dvě možná řešení, jak stroj orientovat v rámci přiděleného prostoru. Původní návrh byl jej umístit do volného prostoru bez nutné úpravy pracoviště, to by ale znamenalo, že rozvaděč bude orientován do prostoru blíže k vratům. Takový způsob orientace sice reprezentuje kvalitní, možnou variantu umístění, ale stále se nabízí výhodnější řešení, které si však vyžaduje pokročilou stavební úpravu.



Obrázek 28 Prostor návrhu umístění C (vlastní zpracování)





Obrázek 29 Vrata u prostoru lakovny (vlastní zpracování)



Obrázek 30 Pracoviště lakovna (vlastní zpracování)

Po uvážení vyhodnocení veškerých kritérií jsem vypracoval adekvátnější návrh. Jedná se o takový návrh, kdy bude stroj orientován na délku podél zdi ve volném prostoru naproti lakovně. V tomto případě bude nutné vytvořit otvor v přilehlé zdi, která odděluje prostor lakovny a hlavní částí haly.

Tato varianta by nabízela zvýšenou míru bezpečnosti práce, částečným umístěním stroje do otvoru ve zdi by znamenalo, že ovládací panely stroje budou od vyvažovaného rotoru ve větší vzdálenosti. Osa rotace se taktéž nachází odděleně od prostoru s ovládacími prvky. Pro upřesnění by tyto ovládací panely byly v prostoru u čelní strany stroje, tedy blíže k středu haly. Ovládací panely by, což je podstatné, nepřekážely ostatním pracovištím.



## 9 SHRUTÍ A VYHODNOCENÍ NAVRHOVANÝCH ŘEŠENÍ

V této kapitole se budu věnovat shrnutí výsledků na základě uskutečněných analýz. Ke všem uvedeným variantám lze vztáhnout skutečnost, že pracoviště nahrazená vyvažovacím strojem bude nutné přemístit. Platí tedy tendence se nahrazení pracovišť vyhnout, umožňují-li to konkrétní návrh. Prostor haly Elektromontáže III již neskýtá téměř žádný volný prostor, nejméně vytiženým zůstává prostor naproti pracovišti lakovny, jak bylo uvedeno. V tomto ohledu by tedy byla logičtější varianta C.

Je potřeba provést kalkulaci celkových nákladů spojených s přesunutím. Z uvedených hodnot je patrné, že nejvyšší část nákladů tvoří stavební úpravy navrženého umístění. Dále, v tabulkách jsou již zaznamenány náklady na výstavbu bezpečností stěny s průzorem. Je nutno brát v potaz i náklady spojené s přemístěním nahrazených pracovišť uvažovaných variant, jež jsou zahrnuty do stavebních úprav. Shrnuto, celkové náklady za variantu C vypovídají nejvyšší hodnotě oproti variantě B a C. Nejnižší náklady má varianta B. Je důležité čtenářům upřesnit, že vyšší počáteční náklady nemusejí nutně indikovat nevýhodné umístění. Realizace nejlevnější varianty B stojí polovinu toho, co nejdražší varianta C. Varianta B skýtá však ztíženou logistickou přístupnost, jak bude uvedeno dále. S variantou C se bude logicky pojit nejdelší doba návratnosti.

Tabulka 3 Kalkulace celkových nákladů na přesunutí variant A, B, C  
(vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Položka	Náklady (Kč bez DPH)		
	A	B	C
Stavební úpravy	113 990	96 990	839 990
Bezpečností bariéra	159 990	159 990	159 990
Demontáž	107 990	107 990	107 990
Přesunutí	287 990	269 990	269 990
Montáž	174 990	153 990	174 990
Kalibrace	56 990	56 990	56 990
<b>Celkem</b>	<b>901 940</b>	<b>845 940</b>	<b>1 609 940</b>

Níže uvedená tabulka č. 4 zahrnuje obecné údaje v rámci nákladů uvedených v tabulkách výše. Uvádí taktěž bariéry a přínosy vztažené k jednotlivým návrhům.

Tabulka 4 Náklady, bariéry a přínosy jednotlivých variant  
(vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Návrh	Náklady (Kč bez DPH)	Bariéry	Přínos
<b>Varianta A</b>	901 940	Značné omezení protilehlého pracoviště	Snadnější manipulace jeřábem
<b>Varianta B</b>	845 940	Ztížený logistický přístup	Nejnižší náklady investice
<b>Varianta C</b>	1 609 940	Náročná stavební úprava	Zvýšení bezpečnosti

Za účelem kalkulace plánované úspory je nejdříve nutno uvést roční kalkulaci nákladů na vyvažování ve stávajícím umístění, pro která budou určena upravená data z roku 2021. Kalkulaci současných celkových nákladů na vyvažování a podíl interního a externího vyvažování uvádí následující tabulka č. 5.

Tabulka 5 Kalkulace nákladů na vyvažování ve stávajícím umístění pro rok 2021  
(vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Náklady		Jednotka
Interní vyvážení	44 900	Kč/kus
Kooperační vyvážení	499 900	Kč/kus
Množství interně vyvážených rotorů	312	Ks/rok
Množství kooperačně vyvážených rotorů	9	Ks/rok
Náklady na interní vyvážení	14 008 800	Kč/rok
Náklady na kooperační vyvážení	4 499 100	Kč/rok
<b>Současné celkové náklady</b>	<b>18 507 900</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Podíl kooperačního vyvážení dle ročního objemu</b>	<b>2,88</b>	<b>%</b>
<b>Podíl kooperačního vyvážení dle celkových ročních nákladů</b>	<b>32,12</b>	<b>%</b>

Výpočet plánované úspory umožní lépe posoudit snížení výrobních nákladů na základě stanovené varianty. Tabulka č. 6 uvádí plánovanou roční úsporu jak v českých korunách, tak i v procentech. Úspora odpovídá 4 095 000 Kč, respektive 22,13 % za rok.

Tabulka 6 Plánovaná roční úspora (vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Náklady		Jednotka
Současné celkové náklady	18 507 900	Kč/rok
Navrhované celkové náklady	14 412 900	Kč/rok
<b>Plánovaná finanční úspora</b>	<b>4 095 000</b>	<b>Kč/rok</b>
<b>Plánovaná procentuální úspora</b>	<b>22,13</b>	<b>%/rok</b>

Důležité hledisko při volbě je také návratnost investice, která může odpovídat řadě měsíců, pravděpodobněji řadě let.

Výpočet návratnosti investice v měsících lze vyjádřit: Celkové náklady investice / Roční úspora.

$$\text{Návratnost investice} = \frac{\text{Celkové náklady na investici}}{\text{Roční úspora}}$$

$$\text{Návratnost investice A} = \frac{901\,940}{4\,095\,000} = 0,22 \text{ let} = 2,64 \text{ měsíců}$$

$$\text{Návratnost investice B} = \frac{845\,940}{4\,095\,000} = 0,21 \text{ let} = 2,52 \text{ měsíců}$$

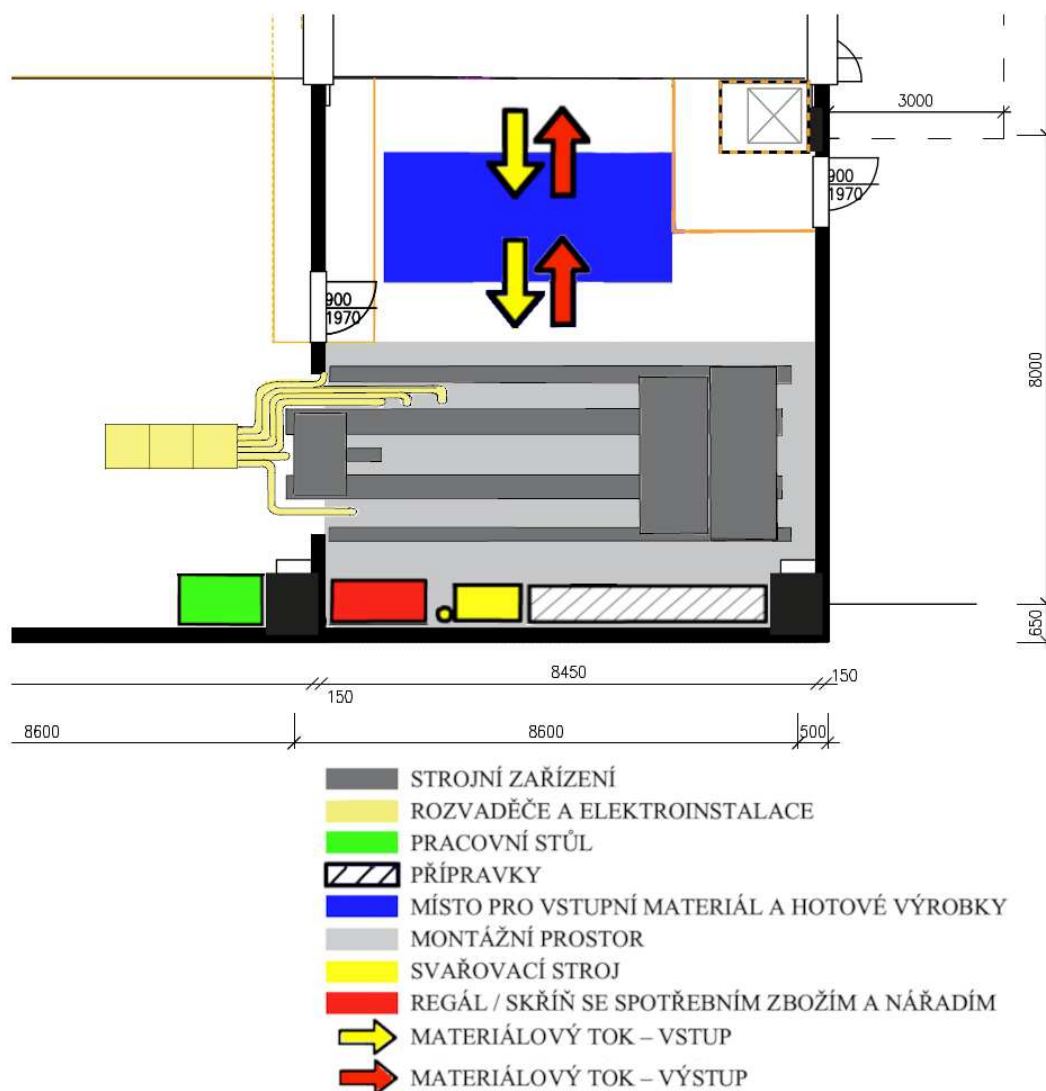
$$\text{Návratnost investice C} = \frac{1\,609\,940}{4\,095\,000} = 0,39 \text{ let} = 4,68 \text{ měsíců}$$

## 10 NÁVRH NA UMÍSTĚNÍ VYVAŽOVACÍHO STROJE

Kapitoly v této části jsou zaměřeny na popis návrhu umístění, který byl zvolen jako nejadekvátnější. Součástí návrhu umístění jsou i dva návrhy na zlepšení produktivity a bezpečnosti práce.

### 10.1 Návrh umístění C

K výše zmíněnému návrhu mohou čtenářům uvést, že se z bezpečnostního hlediska jedná o krok kupředu. Přestože se stroj sestává i z ochranných krytů, bude tato varianta bezpečnější z toho ohledu, kdy se osa rotace nachází odděleně od prostoru ovládacích panelů. Tedy na rozdíl od aktuálního umístění, či ostatních variant, kdy se ovládací panely nacházejí v přímé blízkosti stroje. Podrobný layout pracoviště vyvažování při volbě návrhu C je uveden v obrázku č. 32.



Obrázek 31 Layout návrhu umístění (vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

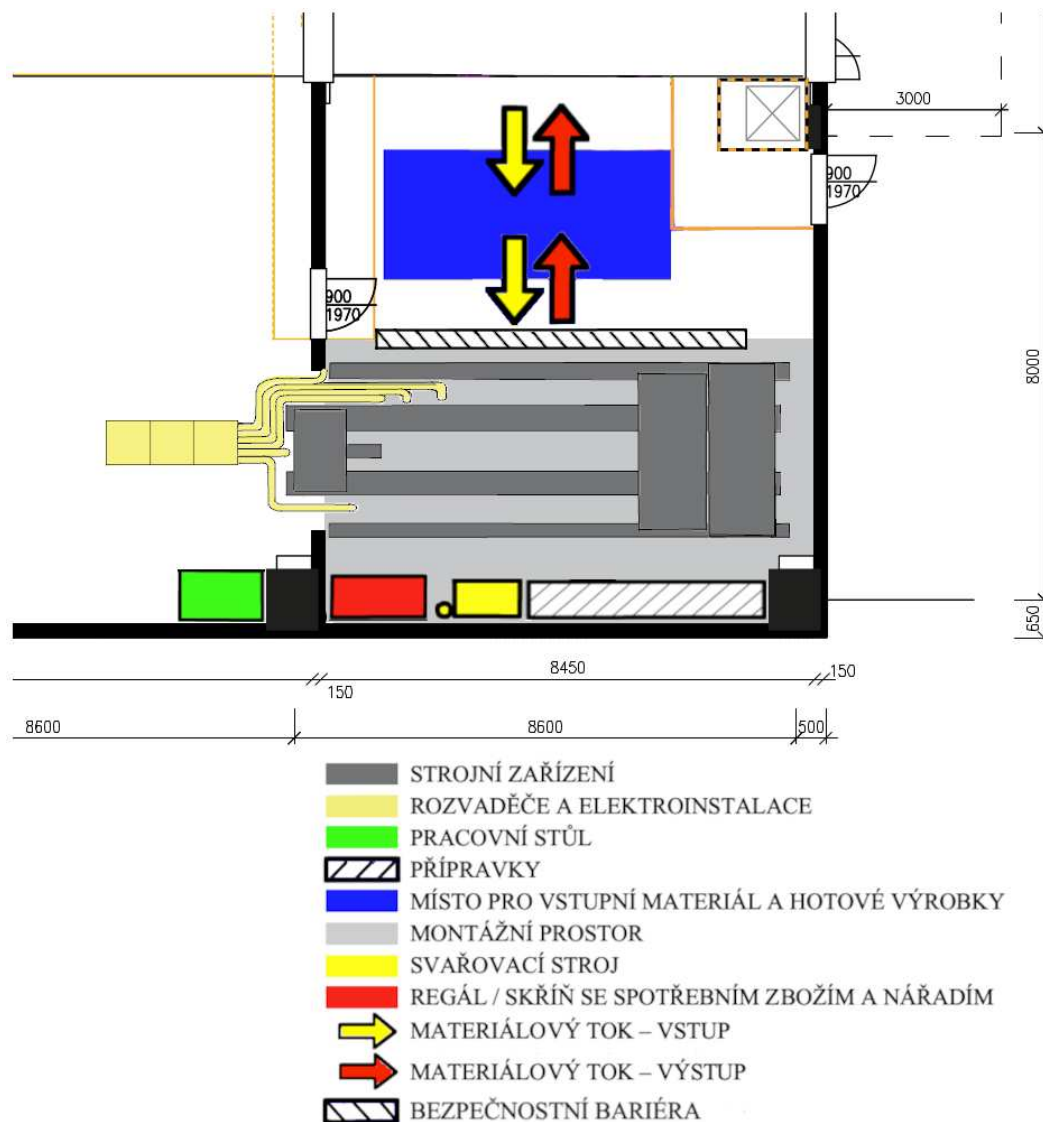
Pro upřesnění by se stroj nacházel, jak je uvedeno v layoutu, v prostoru lakovny za zdí, přičemž ovládací panely by byly nainstalovány vedle čelní části stroje v oblasti hlavní haly. Takové řešení by významným způsobem přispělo bezpečnosti personálu při provozu zařízení. Ovládací panely by ostatnímu provozu na hlavní hale nepřekážely, což se nesmí opomenout.

V rámci pracovního prostoru je ověřena přístupnost jeřábu v rámci přesouvání vyvažovaných rotorů. Přístupnost jeřábu, označená „Crane availability“, je zanesena ve výkresech. Je patrné, že v případě tohoto řešení je dostupný relativně časově přívětivý přesun právě těchto rotorů na a z vyvažovacího stroje. V prostorách lakovny se, jak bylo zmíněno, nachází dostatečně rozměrná vrata umožňující jednoduchou manipulaci jeřábem i přístup pro nákladní dopravu.

Při provozu stroje bude s jistotou omezeno pouze pracoviště lakovny, které ovšem není nikterak vytížené, což nabízí dostatečný čas, při kterém průběh vyvažování nebude zmíněné pracoviště omezovat.

## 10.2 Přidání bezpečnostní bariéry

Na straně č. 47 bylo uvedeno, že navrhuji přidání bezpečnostního prvku za účelem zvýšení bezpečnosti na pracovišti vyvažování. Po konzultaci s odpovědnými pracovníky bylo určeno, že se jedná o možné řešení. Upřesňuji tedy, obsluha vyvažovacího stroje se obávala ohrožení zdraví, například pokud by se uvolnil některý ze šroubů na rotujícím rotoru. Bylo také zmíněno, že při stávajícím umístění není obsluha v podstatě nikterak chráněna. Tato skutečnost byla zjištěna při analýze současného stavu, na základě rozhovorů s obsluhou stroje. Na základě dostupných informací jsem se rozhodnul do plánování nového umístění zahrnout navržené bezpečnostní prvky.



Obrázek 32 Layout návrhu umístění s bezpečnostní bariérou

(vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Pro upřesnění, navrhuji přidání bezpečnostního prvku za účelem zvýšení ochrany pracovníků při provozování stroje, který mimo jiné přispívá k suverenitě a soběstačnosti v rámci problematiky vyvažování rotorů ve společnosti XY. Po zvážení možných variant a konzultaci s odpovědnými pracovníky bylo přistoupeno k návrhu s výstavbou bezpečnostní bariéry, respektive stěny s průzorem. Výška bariéry by dosahovala 2 metrů a šířky přes 6 metrů. Bariéra by nabízela značně zvýšenou ochranu personálu, i přesto by se jednalo o relativně nízkonákladové opatření.

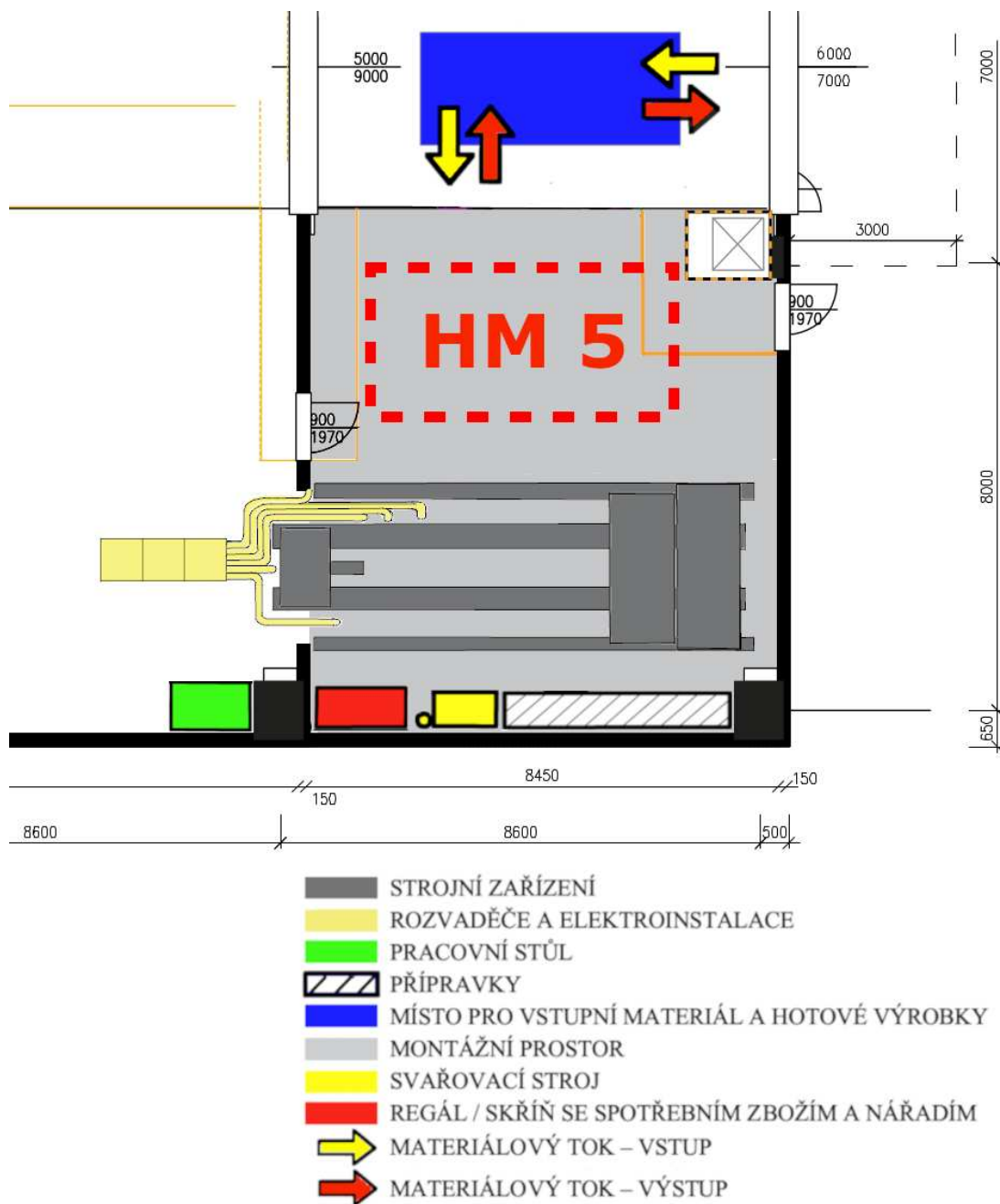
Na základě aktualizovaných výpočtů k březnu 2022 náklady na výstavbu bezpečnostní bariéry dosahují výše 159 990 Kč. Vzhledem ke stávající situaci ve stavebním průmyslu se mohou náklady v časovém horizontu následujících měsíců navýšit i o několik procent.

### 10.3 Potenciální prostor pro umístění vyvažovacího stroje HM 5

Za relevantní informaci by se dala považovat skutečnost, že společnost XY vlastní ještě jeden vyvažovací stroj. Přesněji se jedná o menší variantu stroje, o kterém se v této práci pojednává. Jedná se o vyvažovací stroj značky Schenck HM 5. Čtenářům pro porovnání uvádím, že může vyvažovat rotory o maximální hmotnosti 5,5 tun, zatímco HM 7 vyvažuje rotory o hmotnosti do 32 tun.

Podotýkám ovšem, že tento stroj není aktuálně využit, protože neexistuje prostor, kam by jej bylo možné umístit. Je proto umístěn v odložišti, mimo provoz. Myšlenka tyto dva stroje umístit v přímé blízkosti vznikla při plánování umístění C, které bylo zvoleno jako vhodné k realizaci. Konzultací s odbornými pracovníky byl vypracován následující návrh umístění obou strojů. Zmiňuji, je možné umístit nejprve původně zamýšlenou HM 7, zatímco HM 5 může být umístěna až s odstupem času. Bylo by však nutné vzít v potaz, že navrhovaná bezpečnostní bariéra by mezi stroji být nemohla, což by znamenalo, že by její výstavba byla provedena až po umístění druhého stroje. Možné umístění HM 5 však narušuje průchod ke dveřím. Umístění bezpečnostní bariéry by se v této variantě mírně lišilo.



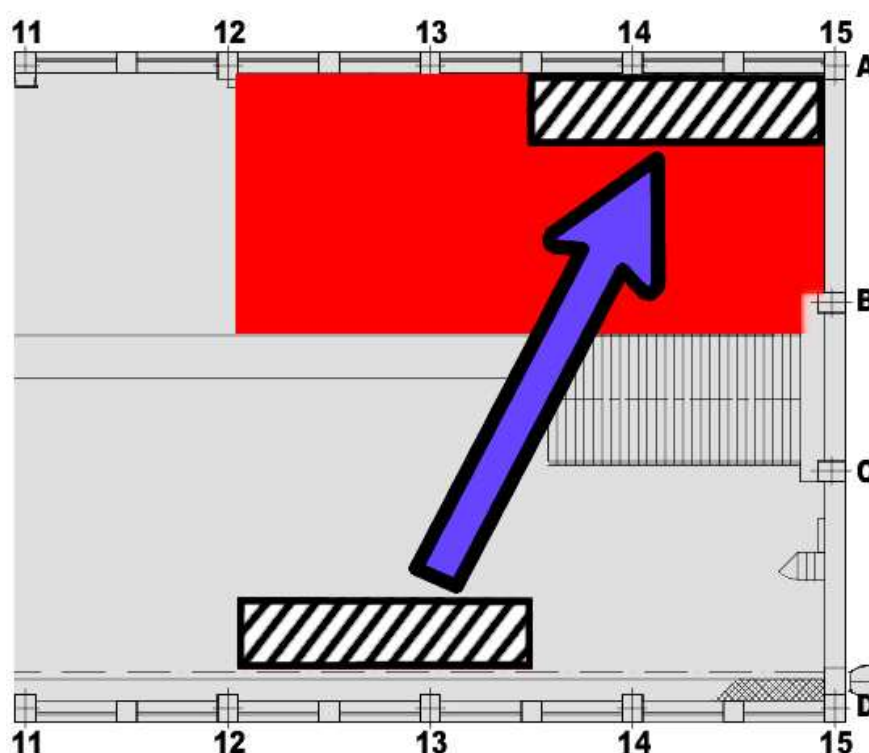


Obrázek 33 Potenciální prostor pro vyvažovací stroj HM 5  
(vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Umístění těchto strojů na stejné pracoviště by mělo nesporný vliv na produktivitu práce. Oba stroje vyžadují téměř shodné příslušenství, mohly by tudíž (alespoň částečně) užívat společné příslušenství a zejména obsluhu. Případná realizace uvedeného návrhu bude vyžadovat dodatečné stavební úpravy.

## 10.4 Optimalizace stávajícího pracoviště

Na obrázcích níže jsou vyfoceny regály s přípravky potřebnými pro provozu stroje. Že byly přípravky v regálech nepřehledně uloženy, nerespektující standard 5S jsem registroval při provádění interního auditu v rané fázi rozpracovanosti této práce. Navíc přípravky, přesněji redukce kardanu a v regálech byly umístěny příliš vysoko. Vliv neuspořádanosti regálu má na efektivitu práce nesporný vliv. Pro regál by bylo vhodnější umístění u stěny proti dosavadnímu umístění. Přemístěním se uvolnil patričný prostor protějšího pracoviště, který lze obsadit efektivněji.



Obrázek 34 Znáornění změny umístění regálu s přípravky  
(vlastní zpracování, interní zdroje společnosti)

Z důvodu, že se stávající stav regálu jevil jako velmi nestandardní a neefektivní, bylo nápravné opatření učiněno již v počáteční fázi této práce. Dosavadní stav mohl být optimalizován triviálním řešením. Tato změna byla učiněna i přesto, že se pojednává o přesunutí stroje na jiné umístění. Důvodem bylo nutné zvýšení bezpečnosti a efektivity práce. Po konzultaci s pracovníky stanoviště vyvažování bylo zjištěno, že původní umístění přípravek pro obsluhu představuje zbytečnou fyzickou námahu.



Obrázek 35 Původní umístění přípravků (vlastní zpracování)



Obrázek 36 Nové umístění přípravků (vlastní zpracování)

V nápravném opatření byl zajištěn nový regál, následně byla zajištěna i změna umístění. Jak lze vidět na obrázku č. 37, regál je oproti dosavadnímu stavu přehlednější a odpovídá již standardu 5S. Realizace tohoto opatření přináší úsporu přípravného času nejen na vyvažování, ale i na případné úpravy. Optimalizace ovšem cílila zejména na snížení fyzické námahy při obsluze stroje, kterou nelze přímo peněžně vyčíslit.

$$\text{Roční úspora v Kč} = \text{úspora času na 1 kus} \times \text{počet kusů za rok} \times \text{hodinová sazba stroje}$$

Hodnotu časové úspory pro interní vyvážení jednoho kusu rotoru byla následně na základě konzultace s průmyslovými inženýry vyčíslena na 15 minut. Realizace byla vyčíslena na 27 490 Kč bez DPH. Roční úsporu času lze při 312 vyvážených kusech ročně vyčíslit na 78 hodin/rok, což při hodinové sazbě stroje 790 Kč/hod činí úsporu 61 620 Kč za rok.

$$\text{Návratnost investice} = \frac{\text{Celkové náklady na investici}}{\text{Roční úspora}}$$

$$\text{Návratnost investice} = \frac{27\,490\text{ Kč}}{61\,620\text{ Kč}}$$

Při použití vzorce lze návratnost investice vyčíslit na 0,45 roku = 6 měsíců.

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navržení nového umístění pro stroj na vyvažování rotorů v rámci areálu společnosti. Součástí cíle této práce bylo předložení tří návrhů vedoucích ke zvýšení produktivity a bezpečnosti práce na pracovišti vyvažování. Jeden z těchto návrhů byl realizován v průběhu zpracovávání této práce.

První část práce byla věnována teoretické části, která byla zaměřena na předložení teoretické rešerše dané problematiky. Nejprve byla představena problematika projektování výrobních systémů, výrobním systémům a produktivitě, na což navazovala část s obecnými zásadami navrhování průmyslových budov a pracovišť. Následně byla uvedena rešerše z oblasti elektrických točivých strojů, kde byla uvedena obecná charakteristika, rozdělení, význam a princip působení. Poté byla teoretická část zaměřena na obecnou podstatu vyvažování rotorů.

V praktické části byl uveden vyvažovací stroj HM 7, o kterém se v této bakalářské práci pojednávalo. Poté byla provedena analýza současného stavu, kalkulace nákladů na interní a kooperační vyvážení. Následně jsem shrnul výsledky provedených analýz. Zaměřil jsem se posléze na volbu lokace v rámci areálu společnosti, ve které byly vypracovány tři možné návrhy umístění. Návrhy umístění byly zhodnoceny za účelem výběru toho nejvhodnějšího.

Po zhodnocení výsledků provedených analýz je následně předložen doporučený návrh na umístění vyvažovacího stroje. Následně jsou na základě výsledků provedených analýz uvedeny tři návrhy přispívající ke zvýšení bezpečnosti, produktivity či jinému zlepšení pracoviště vyvažování. Návrhy umístění obsahují zhodnocení bariér, přínosů a celkových investic. Je také uvedena doba návratnosti a náklady spojené s konkrétními variantami.

Po provedené analýze a syntéze dat je společnosti XY předložen doporučený návrh na umístění vyvažovacího stroje, jehož součástí jsou čtyři návrhy na zlepšení pracoviště vyvažování, z nichž jeden návrh byl již realizován v průběhu zpracování této práce. Na základě kalkulace nákladů byly uvedeny celkové náklady na realizaci navrhovaného umístění 1 609 940 Kč. Z údajů z předešlého roku 2021 byla vypočtena plánovaná roční úspora 4 095 000 Kč neboli 22,13 %. Bylo tedy zjištěno, že realizací přemístění by se eliminovaly náklady spojené s kooperačním vyvážením rotorů ve výši 4 499 100 Kč. Návratnost této investice byla vyčíslena na 4,68 měsíců. Realizované opatření s přemístěním regálu ve stávajícím umístění plánuje roční úsporu 61 620 Kč a návratnost 6 měsíců.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ABDALLAH, Amr Tarek. DC MACHINES: Basic Structure of Electrical Machines. Researchgate.net [online]. 2021 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/356264098\\_DC\\_MACHINES\\_Basic\\_Structure\\_of\\_Electrical\\_Machines](https://www.researchgate.net/publication/356264098_DC_MACHINES_Basic_Structure_of_Electrical_Machines).

BANASZKIEWICZ, Mariusz a REHMUS-FORC Anna. Stress corrosion cracking of a 60MW steam turbine rotor. *Engineering Failure Analysis* [online]. Elsevier, 2015 [cit. 2022-04-25]. ISSN 1350-6307. Dostupné z: doi:10.1016/j.engfailanal.2015.02.015.

BLASCO KUPERSTEIN, Deborah et al. Wood material selection in school building procurement – A multi-case analysis in Finnish municipalities. *Journal of Cleaner Production* [online]. Elsevier, 2021 [cit. 2022-05-11]. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2021.129474.

Časové řady základních ukazatelů statistiky práce – leden 2022. *Czso.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/casove-rady-zakladnich-ukazatelu-statistiky-prace-leden-2022>.

ČERMÁK, Jiří. Synchronní stroje – konstrukce, princip a použití. *Oenergetice.cz* [online]. 2015 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektroenergetika/synchronni-stroje-konstrukce-princip-a-pouziti>.

ČSN ISO 10817-1. *Zařízení pro měření vibrací rotujících hřídelů – Část 1: Relativní a absolutní snímání radiálních vibrací*. Český normalizační institut, 2000. Dostupné také z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-iso-10817-1-011418-158822.html#>.

ČSN ISO 21940-11. *Vibrace – Vyvažování rotorů – Část 11: Postupy a tolerance pro rotory v tuhém stavu*. Praha, 2017. Dostupné také z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-iso-21940-11-011449-158903.html#>.

ČSN ISO 21940-12. *Vibrace – Vyvažování rotorů – Část 12: Postupy a tolerance pro rotory v pružném stavu*. Praha, 2017. Dostupné také z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-iso-21940-12-011449-158904.html#>.

DINÇER, Hasan a Serhat YÜKSEL. *Handbook of Research on Managerial Thinking in Global Business Economics* [online]. IGI Global, 2019, 641 s. [cit. 2022-05-07]. ISBN 978-1-5225-7181-0. Dostupné z: doi:10.4018/978-1-5225-7180-3.

GUL, Waheed. State of the Art Vibration Analysis of Electrical Rotating Machines. *Journal of Electrical Engineering* [online]. 2017 [cit. 2022-05-15]. ISSN 1335-3632. Dostupné z: doi:10.17265/2328-2223/2017.02.004.

HLAVATÁ, Miluše a JANÁKOVÁ Iva. *Projektování technologií* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2022-04-25]. ISBN 978-80-248-4375-9. Dostupné z: <https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/546/.content/galerie-souboru/Studijni-materialy/Projektovani-technologie.pdf>.

CHROMJAKOVÁ, Felicita a RAJNOHA Rastislav. *Řízení a organizace výrobních procesů: kompendium průmyslového inženýra*. Žilina: GEORG, 2011, 138 s. ISBN 978-80-89401-26-0.

CHROMJAKOVÁ, Felicita. *Průmyslové inženýrství: trendy zvyšování výkonnosti štíhlým řízením procesů*. Žilina: GEORG, 2013, 116 s. ISBN 978-80-8154-058-5.

Jak se dělá elektromotor. *Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. Praha: FCC PUBLIC, 2011, (2) [cit. 2022-05-02]. ISSN 1210-0889. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/obsah-cisla-02-2011--205>.

KELM, Ray, KELM Walter a PAVELEK Dustin. *Rotor Balancing Tutorial* [online]. Texas A&M Engineering Experiment Station, 2016 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: [doi:10.21423/R1G59R](https://doi.org/10.21423/R1G59R).

KONEČNÁ, Eva a RICHTER Aleš. ELEKTRICKÉ STROJE. *Elearning.tul.cz* [online]. 2000 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=191718&forceview=1>.

KOŠTURIÁK, Ján. *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. Žilina: Žilinská univerzita, 2000, 397 s. ISBN 80-7100-553-3.

LEADER, P.E. a MALCOLM E. A Practical Guide to Rotor Dynamics. *Dokumen.tips* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://dokumen.tips/documents/a-practical-guide-to-rotor-dynamics-this-paper-will-introduce-the-basics-of.html?page=1>.

LI, Liqing et al. Review of Rotor Balancing Methods. *Machines* [online]. MDPI, 2021 [cit. 2022-04-11]. ISSN 2075-1702. Dostupné z: [doi:10.3390/machines9050089](https://doi.org/10.3390/machines9050089).

MĚŘIČKA, Jiří, HAMATA, Václav a VOŽENÍLEK, Petr. *Elektrické stroje*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2000, 311 s. ISBN 80-01-02109-2.

MICHNA, Štefan. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, 2005, 700 s. ISBN 80-89041-88-4.

OCEL. *Unihal.cz* [online]. 2014 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.unihal.cz/materialy/ocel>.

PATIL, Monika, BORASTE Samrudhi a MINDE Pravin. A comprehensive review on emerging trends in smart green building technologies and sustainable materials. *Materials Today: Proceedings* [online]. Elsevier, 2022 [cit. 2022-05-10]. ISSN 2214-7853. Dostupné z: [doi:10.1016/j.matpr.2022.04.866](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.866).



Průmyslová revoluce – Od Průmyslu 1.0 k Průmyslu 4.0. *Desouttertools.cz* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.desouttertools.cz/prumysl-4-0/novinky/563/prumyslova-revoluce-od-prumyslu-1-0-k-prumyslu-4-0>.

RACIC, Zlatan a HIDALGO Juan. *Practical Balancing of Flexible Rotors for Power Generation* [online]. 2007 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: doi:10.1115/DETC2007-34333.

Recyklace oceli v Česku ušetří ročně tolik energie, kolik se jí za stejnou dobu vyrobí z obnovitelných zdrojů. *Ocelarskaunie.cz* [online]. 2019 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/recyklace-oceli-v-cesku-usetri-rocne-tolik-energie-kolik-se-ji-za-stejnou-dobu-vyrobi-z-obnovitelnych-zdroju/>.

ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony: příručka techniky, volby a užití vybraných druhů*. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 191 s. ISB 80-7300-092-X.

SKALÍK, Pavel a NOVÁK Josef. *Základy projektování: učební text* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012 [cit. 2022-04-18]. ISBN 978-80-248-2678-3.

SOUČKOVÁ, Ingrid a JERZ Vladimír. *Logistika v odbore*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2019, 153 s. ISBN 978-80-227-4979-4.

TAMS, Laura, NEHLSA Thomas a COUTINHOCALHEIROS Cristina Sousa. Rethinking green roofs – natural and recycled materials improve their carbon footprint. *Building and Environment* [online]. Elsevier, 2022 [cit. 2022-05-13]. ISSN 0360-1323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2022.109122.

VLČEK, Jiří. *Bezpečnost elektrických zařízení: příručka pro konstruktéry*. Praha: BEN – technická literatura, 2007, 109 s. ISB 978-80-7300-222-0.

Why is balancing so important?. *Schenck.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.schenck.co.uk/why-balancing/introduction.html>.

ZELENKA, Antonín a KRÁL Mirko. *Projektování výrobních systémů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995, 365 s. ISBN 80-01-01302-2.

ŽALSKÝ, Petr. *PRŮMYSLOVÉ BETONOVÉ PODLAHY* [online]. Praha, 2003 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://adoc.pub/obsah-titulni-list-1-obsah-2-pouite-znaky-4-uvod-6-1-podloi-.html>. Disertace. České Vysoké Učení Technické, Fakulta stavební. Vedoucí práce Jaroslav Procházka.

Železobeton – Železový beton. *Ebeton.cz* [online]. 2021 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/zelezobeton-zelezovy-beton/>.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

DPH Daň z přidané hodnoty

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Pracoviště vyvažování (vlastní zpracování).....	37
Obrázek 3 Rotor usazený na vyvažovacím stroji (vlastní zpracování) .....	39
Obrázek 4 Průběh vyvažování (vlastní zpracování).....	39
Obrázek 5 Areál společnosti, vyznačena budova aktuálního umístění .....	40
Obrázek 6 Hala č. 8 (vlastní zpracování) .....	41
Obrázek 7 Prostor haly Impregnace (vlastní zpracování) .....	41
Obrázek 8 Layout haly č. 8 s vyznačeným pracovištěm vyvažovacího stroje HM 7.....	43
Obrázek 9 Mostový jeřáb na hale č. 8 (vlastní zpracování) .....	44
Obrázek 10 Layout současného stavu vyvažování.....	45
Obrázek 11 Oplocení pracoviště vyvažování (vlastní zpracování) .....	46
Obrázek 12 Ochranné kryty na kolejnicích (vlastní zpracování) .....	47
Obrázek 13 Čelní strana rozvaděče (vlastní zpracování) .....	48
Obrázek 14 Zadní strana rozvaděče (vlastní zpracování).....	48
Obrázek 15 Kabeláž k vyvažovacímu stroji (vlastní zpracování).....	49
Obrázek 16 Areál společnosti (vlastní zpracování, interní zdroje společnosti) .....	52
Obrázek 17 Hala č. 8 a hala č. 18 (vlastní zpracování, interní zdroje společnosti).....	54
Obrázek 18 Budova č. 18 (uprostřed) a budova č. 8 (vpravo) .....	54
Obrázek 19 Areál společnosti (vlastní zpracování, interní zdroje společnosti) .....	55
Obrázek 20 Hala Elektromontáže III a VN zkušebny (vlastní zpracování).....	56
Obrázek 21 Prostory haly Elektromontáže III a VN zkušebny (vlastní zpracování) .....	56
Obrázek 22 Mostový jeřáb haly Elektromontáže III a VN zkušebny (vlastní zpracování). 57	
Obrázek 23 Vrata z odlehlé strany budovy (vlastní zpracování) .....	58
Obrázek 24 Prostor návrhu umístění A (vlastní zpracování) .....	61
Obrázek 25 Pracoviště vysokonapěťové zkušebny (vlastní zpracování) .....	61
Obrázek 26 Vysokonapěťová zkušebna (vlevo) a navrhované umístění A (vpravo vzadu) (vlastní zpracování) .....	62
Obrázek 27 Pracoviště montáže a zapojování (vlastní zpracování) .....	63
Obrázek 28 Prostor u vrat u pracoviště návrhu B (vlastní zpracování).....	63
Obrázek 29 Prostor návrhu umístění C (vlastní zpracování).....	64
Obrázek 30 Vrata u prostoru lakovny (vlastní zpracování).....	65
Obrázek 31 Pracoviště lakovna (vlastní zpracování) .....	65
Obrázek 32 Layout návrhu umístění (vlastní zpracování, interní zdroje společnosti).....	70
Obrázek 33 Layout návrhu umístění s bezpečnostní bariérou.....	72
Obrázek 34 Potenciální prostor pro vyvažovací stroj HM 5 .....	74

Obrázek 35 Znázornění změny umístění regálu s přípravky .....	75
Obrázek 36 Původní umístění přípravků (vlastní zpracování) .....	76
Obrázek 37 Nové umístění přípravků (vlastní zpracování) .....	76

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Technické parametry vyvažovacích strojů Schenck .....	38
Tabulka 2 Porovnání nosnosti jeřábů jednotlivých budov (vlastní zpracování) .....	53
Tabulka 3 Kalkulace celkových nákladů na přesunutí variant A, B, C.....	67
Tabulka 4 Náklady, bariéry a přínosy jednotlivých variant .....	68
Tabulka 5 Kalkulace nákladů na vyvažování ve stávajícím umístění pro rok 2021 .....	68
Tabulka 6 Plánovaná roční úspora (vlastní zpracování, interní zdroje společnosti) .....	69