

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ergonomická analýza pracoviště

Autor: **Bc. Ondřej Vlček**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.**

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej VLK**
Osobní číslo: **S21N0034P**
Studijní program: **N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management**
Téma práce: **Ergonomická analýza pracoviště**
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Zásady pro vypracování

1. Úvod do řešené problematiky
2. Charakteristika výrobního systému
3. Analýza současného stavu
4. Návrh řešení
5. Zhodnocení
6. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **0**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. BUREŠ, M. *ŽIVDIG : Tvorba a optimalizace pracoviště*. E-book. Plzeň: ZČU-KPV, 2013. ISBN 978-80-87539-32-3.
2. SHORROCK, Steven. WILLIAMS, Claire. *Human Factors and Ergonomics in Practice Improving System Performance and Human Well-Being in the Real World*. CRC Press, 2017. ISBN 9781472439253.
3. SOARES, Marcelo, M. *Ergonomics in design – methods and techniques*. CRC Press, 2019. ISBN 9780367356903.
4. ŠVÁBOVÁ, Květa a kol. *Vybrané kapitoly z pracovního lékařství*. Díl 1. *Pracovnílékařské služby, pracovní prostředí, nemoci z povolání, ergonomie*. První vydání. Praha: Institut postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví, 2015. 104 stran. ISBN 978-80-87023-32-7.
5. CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. 173 s. ISBN 978-80-01-05173-3.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant diplomové práce: **Ing. Ilona Kačerová**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání diplomové práce: **19. září 2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Michalu Šimonovi, Ph.D. a konzultantce paní Ing. Iloně Kačerové, Ph.D. za jejich čas, odborné vedení a cenné připomínky, které mi při zpracování práce poskytli.

Dále bych rád poděkoval společnosti VALEO AUTOKLIMATIZACE, k.s. za umožnění zpracování diplomové práce a speciálně panu Ing. Pavlu Typoltovi za poskytnutí informací a pokladů nezbytných ke zpracování práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Vlk	Jméno Ondřej	
STUDIJNÍ OBOR	N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Šimon, Ph.D.	Jméno Michal	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Ergonomická analýza pracoviště		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	91	TEXTOVÁ ČÁST	91	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS	Diplomová práce na téma ergonomická analýza pracoviště řeší vhodné navržení ergonomie výrobní linky. První část práce je věnována teoretické rešerši především v oblasti ergonomie. V praktické části práce jsou provedeny vybrané ergonomické analýzy, navrženy úpravy jednotlivých pracovišť a vytvořen re-layout prostorového uspořádání linky. V poslední řadě byly vytvořeny simulace zhodnocující finální návrh linky.
KLÍČOVÁ SLOVA	ergonomie, ergonomická analýza, RULA, NV 361/2007 Sb., prostorové uspořádání

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Vlk		Name Ondřej	
FIELD OF STUDY	N0715A270012 Industrial Engineering and Management			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Šimon, Ph.D.		Name Michal	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR		Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Ergonomics analysis of the workplace			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Industrial Engineering and Management	SUBMITTED IN	2023
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	91	TEXT PART	91	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION	<p>The diploma thesis on the topic of ergonomics analysis of the workplace deals with the appropriate design of the ergonomics of the production line. The first part of the thesis is devoted to theoretical research, mainly in the field of ergonomics. In the practical part of the work, selected ergonomic analyses are carried out, modifications of individual workplaces are proposed and a re-layout of the spatial arrangement of the line is created. In the last row, simulations evaluating the final design of the line were created.</p>
KEY WORDS	ergonomics, ergonomic analysis, RULA, NV 361/2007 Coll., spatial arrangement

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam grafů	11
Seznam rovnic	11
Úvod	13
1 Úvod do problematiky ergonomie	14
1.1 Definice ergonomie	15
1.2 Rozdělení ergonomie	15
1.3 Význam a cíle ergonomie	16
1.4 Legislativní vymezení ergonomie	17
1.5 Nemoci z povolání	18
2 Ergonomie pracoviště a jeho prostorové uspořádání	20
2.1 Základní kritéria a parametry pracovišť	21
2.2 Prostorové uspořádání výroby	23
2.2.1 Předmětné uspořádání	24
2.2.2 Technologické uspořádání	24
2.3 Metody pro tvorbu layoutu	25
3 Moderní metody v hodnocení ergonomických rizik	27
3.1 Metoda RULA	27
3.2 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.	29
3.3 Využití virtuální reality k hodnocení pracovních poloh	31
3.4 Další používané ergonomické metody	31
3.4.1 Měření lokální svalové zátěže (LSZ)	31
3.4.2 Metodika počítání pohybů	32
3.4.3 NIOSH Lifting Analysis	33
4 Zvolené softwarové nástroje	34
4.1 Tecnomatix Jack Human Simulation	34
4.2 Tecnomatix Process Simulate	35
5 Představení podniku a zkoumaného pracoviště	37
5.1 Postoj vybrané společnosti k ergonomii	37
5.2 Současný stav pracoviště	39
5.2.1 Představení zkoumané výrobní linky	39
5.2.2 Mockup model linky	47
6 Ergonomické hodnocení pracovních poloh	49
6.1 Analýza RULA	50
6.2 Metoda NV 361	50

6.3	Realizace metod.....	51
6.3.1	Pozice 1 - Vyjmutí předního krytu kamerky z krabice	51
6.3.2	Pozice 2 - Založení prázdné krabice do regálu	53
6.3.3	Pozice 3 - Odebrání kamerky z výrobní plochy	56
6.3.4	Pozice 4 - Ohyb pro proklad	58
6.3.5	Pozice 5 - Zakládání do pece.....	60
6.3.6	Pozice 6 - Úchop kamery a předního krytu.....	62
6.4	Shrnutí výstupů provedených metod	64
6.5	Návrhy na úpravu pracovišť	66
6.5.1	Návrh na úpravu pracoviště Před-Montáž 1.....	67
6.5.2	Návrh na úpravu pracoviště pece	68
6.5.3	Přidání vozíku s prázdnými proklady na pracoviště VCAS.....	69
6.5.4	Úprava regálů	69
6.5.5	Změna využívaných přepravních vozíků	71
6.6	Shrnutí výstupů RULA před a po úpravách pracovišť	72
7	Prostorové uspořádání linky	74
7.1	Stanovení hodnocených kritérií	74
7.2	Výchozí návrh podniku Valeo	76
7.3	Varianta 1	77
7.4	Varianta 2	78
7.5	Zhodnocení variant prostorového uspořádání	79
8	Simulace výrobního cyklu výrobku ve virtuální realitě	80
8.1	Průběh simulace.....	80
8.2	Výstupy ze simulací.....	81
8.3	Zhodnocení simulací.....	82
9	Výsledné zhodnocení výstupů.....	84
9.1	Výstupy z ergonomických metod	84
9.2	Řešení prostorového uspořádání linky	85
9.3	Výstupy z provedených simulací.....	85
	Závěr.....	87
	Seznam použité literatury	89

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Systém ČTP [4]	14
Obrázek 2.1: Druhy manipulačního prostoru [18]	22
Obrázek 2.2: Sankeyův diagram ve 3D [25]	26
Obrázek 3.1: RULA metoda [30]	29
Obrázek 3.2: NV č. 361/2007 Sb.	30
Obrázek 4.1: Zobrazení Tecnomatix Jack ve spojení s VR [44].....	35
Obrázek 5.1: Logo společnosti Valeo [46].....	37
Obrázek 5.2: Ergonomické standardy pro zóny dosahu [48]	38
Obrázek 5.3: Plánované prostorové uspořádání 2023	40
Obrázek 5.4: Plánované prostorové uspořádání 2026	41
Obrázek 5.5: Pracoviště Před-Montáž 1	42
Obrázek 5.6: 3D model pracoviště Před-Montáž 1	42
Obrázek 5.7: Pracoviště Před-Montáž 2	43
Obrázek 5.8: 3D model pracoviště Před-Montáž 2	43
Obrázek 5.9: VCAS.....	44
Obrázek 5.10: 3D model VCAS.....	44
Obrázek 5.11: Pec	45
Obrázek 5.12: 3D model pece	45
Obrázek 5.13: VCAFT a kamerová kontrola	46
Obrázek 5.14: 3D model VCAFT a kamerové kontroly	46
Obrázek 5.15: 3D model výsledného produktu.....	47
Obrázek 5.16: Mockup model linky 1	48
Obrázek 5.17: Mockup model linky 2	48
Obrázek 6.1: Vstupní parametry RULA	50
Obrázek 6.2: Vstupní parametry metody NV 361	51
Obrázek 6.3: 3D model pozice 1	52
Obrázek 6.4: RULA skóre první pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)	52
Obrázek 6.5: Metoda NV 361 první pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)	53
Obrázek 6.6: 3D model pozice 2	54
Obrázek 6.7: RULA skóre druhé pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo).....	55
Obrázek 6.8: Metoda NV 361 druhé pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)	56
Obrázek 6.9: 3D model pozice 3	56
Obrázek 6.10: RULA skóre třetí pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)	57
Obrázek 6.11: Metoda NV 361 třetí pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)	58
Obrázek 6.12: 3D model pozice 4	58
Obrázek 6.13: RULA skóre čtvrté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)....	59
Obrázek 6.14: Metoda NV 361 čtvrté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)	60
Obrázek 6.15: 3D model pozice 5	60
Obrázek 6.16: RULA skóre páté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)	61
Obrázek 6.17: Metoda NV 361 páté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)	62
Obrázek 6.18: 3D model pozice 6	62
Obrázek 6.19: RULA skóre šesté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)	63
Obrázek 6.20: Metoda NV 361 šesté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)	64
Obrázek 6.21: Návrh na úpravu pracoviště Před-Montáž 1	67
Obrázek 6.22: Návrhy na zlepšení pracoviště pece.....	68
Obrázek 6.23: Návrhy na zlepšení pracoviště VCAS	69
Obrázek 6.24: Upravený návrh regálu	70

Obrázek 6.25: Upravené regály na pracovišti Před-Montáž 2	70
Obrázek 6.26: Příklady možných zvedacích vozíků [49] [50] [52]	71
Obrázek 6.27: Zvedací vozíky v programu Process Simulate	72
Obrázek 7.1: Výchozí návrh prostorového uspořádání	76
Obrázek 7.2: Návrh prostorového uspořádání Varianta 1	77
Obrázek 7.3: Návrh prostorového uspořádání Varianta 2	78
Obrázek 8.1: Simulace [54]	80
Obrázek 9.1: Prostorové uspořádání Varianta 2	85

Seznam tabulek

Tabulka 2-1: Minimální výška haly [18]	21
Tabulka 2-2: Maximální přípustně hmotnostní limity [19]	23
Tabulka 2-3: Výhody a nevýhody předmětného uspořádání [24]	24
Tabulka 2-4: Výhody a nevýhody technologického uspořádání [24]	25
Tabulka 3-1: Hodnocení RULA [28]	27
Tabulka 6-1: Využívané percentily	49
Tabulka 6-2: Hodnocení RULA	65
Tabulka 6-3: Hodnocení NV 361	65
Tabulka 6-4: Výsledné RULA skóre před a po úpravách	72
Tabulka 7-1: Zvolená kritéria	74
Tabulka 7-2: Omezení návrhů prostorového uspořádání	74
Tabulka 7-3: Významnost kritérií Saatyho metoda	75
Tabulka 7-4: Párové porovnání kritérií	75
Tabulka 7-5: Výsledky ze Saatyho metody	75
Tabulka 7-6: Multikriteriální vyhodnocení variant	79
Tabulka 7-7: Výsledné vyhodnocení výsledků	79
Tabulka 8-1: Výstupy ze simulace dle NV 361/2007 Sb. pro první tři pozice	81
Tabulka 8-2: Výstupy ze simulace dle NV 361/2007 Sb. pro poslední tři pozice	81
Tabulka 8-3: Sumární hodnocení první tři pozice	82
Tabulka 8-4: Sumární hodnocení poslední tři pozice	82

Seznam grafů

Graf 1.1: Nemoci z povolání za rok 2020 [15]	19
Graf 1.2: Nemoci z povolání za rok 2021 [15]	19

Seznam rovnic

Rovnice 3-1: Výpočet RWL [38]	33
Rovnice 3-2: Výpočet LI [38]	33
Rovnice 7-1: Výpočet důležitosti kritérií a normalizace vah kritérií [53]	75
Rovnice 7-2: Procentuální splnění jednotlivých kritérií [53]	79

Seznam zkratk

2D	Dvoudimenzionální
3D	Trojdimenzionální
CAD	Počítačem podporované projektování
CATIA	Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application
CRAFT	Computerized Relative Allocation of Facilities Technique
ČSN	České technické normy
ČTP	Člověk technika prostředí
dB	Decibel
Fmax	Maximální svalová síla
IEA	International Ergonomics Association
LI	Index zdvihu
LSZ	Lokální svalová zátěž
lx	Intenzita osvětlení
MOCAP	Motion Capture
NIOSH	Národní institut pracovní bezpečnosti a zdraví
NV	Nařízení vlády
OWAS	System pracovní analýzy Ovako
PCB	Chlorovaný bifenyl
REBA	Rychlé hodnocení celého těla
RULA	Rychlé hodnocení horních končetin
RWL	Doporučený váhový limit
VR	Virtuální realita

Úvod

Význam ergonomie v České republice nabírá stále více na důležitosti. Ergonomie začala být výrobními podniky považována za nástroj, který výrazně zvyšuje jejich konkurenceschopnost a zabezpečuje efektivní výrobu. Navzdory rostoucímu významu ergonomie v České republice je stále velké množství podniků, jenž se základními ergonomickými zásadami neřídí. Za výrazný problém se jeví nedostatek odborníků na ergonomii. S tímto nedostatkem je spojena absence oddělení řešící ergonomii ve většině výrobních podniků. Ergonomické problémy tak připadají na bezpečnostní techniky a průmyslové inženýry, kteří se však v dané problematice příliš dobře neorientují. K řešení rozsáhlejších ergonomických problémů výrobní podniky obvykle využívají služby poradenských a outsourcingových firem, specializujících se na oblast ergonomie. Díky tlaku vyrábět co nejvíce produktů za co nejnižší náklady s co nejvyšším výnosem, jenž je na podniky vyvíjen, tak stále převažuje přístup reaktivní nad proaktivním. Hlavním cílem do budoucna by mělo být tento přístup změnit.

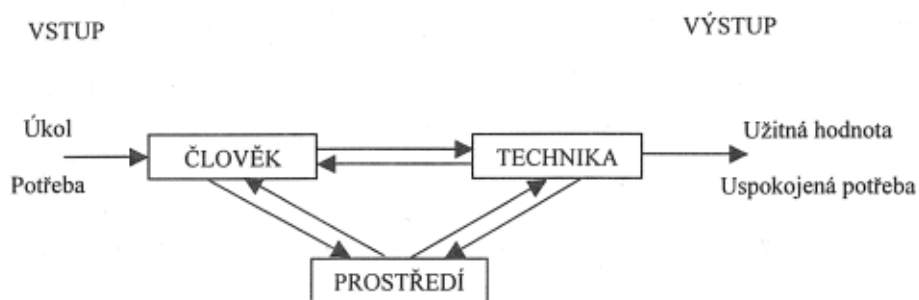
Tématem předložené diplomové práce je „*Ergonomická analýza pracoviště*“. Tato práce si klade za hlavní cíl analyzovat pracoviště vybraného podniku pomocí zvolené ergonomické metody. Pro dosažení hlavního cíle bylo zvoleno pět dílčích cílů. Prvním dílčím cílem je teoreticky vymezit řešenou problematiku. Tohoto cíle bude dosaženo pomocí literární rešerše dostupných sekundárních zdrojů neboli publikací a článků. Dalším dílčím cílem této práce je charakterizovat výrobní systém vybraného podniku na základě osobní návštěvy. V návaznosti s tímto cílem je dílčí cíl třetí, kterým je představení podniku návrhu řešení, který vyplývá z výstupů provedených ergonomických analýz a jenž přispěje podniku k větší efektivitě a konkurenceschopnosti. Posledními dílčími cíli práce je zhodnotit stav výrobního systému před a po provedení ergonomických analýz a navržených řešení a v poslední řadě zhodnotit celý postup řešení v podobě závěrečného shrnutí.

1 Úvod do problematiky ergonomie

Ergonomie je považována za jednu z nejmladších vědních disciplín. Nicméně počátky uplatňování základních ergonomických přístupů je možné nalézt již v raných fázích vývoje lidstva. Již pračlověk si uvědomoval, že si musí pracovní nástroj upravit tak, aby vyhovoval jeho potřebám. Počátky novodobé ergonomie jsou však datovány do 50. let 20. století. S nejvýraznějším vývojem ergonomie je spojena doba po skončení druhé světové války, kdy se rozvinula tzv. tržní společnost, tedy společnost, ve které člověk rozhoduje nad tím, jaké výrobky se budou prodávat a jaké jsou předurčeny k zániku. Přelom 20. a 21. století sebou přinesl ergonomii, jež je známá dnes. Tato ergonomie je spojena s nepřetržitým vývojem technologií. Dominuje zde rozvoj pokročilých systémů automatického řízení náročných technologií, výpočetní techniky a automatiky. S tím souvisejí i pracovní rizika. Důraz je především kladen na pracovní pohodu pracovníků a bezpečnost civilní dopravy. [1]

Samotný pojem ergonomie vznikl spojením dvou slov, a to **ergon** – práce a **nomos** – zákon, pravidlo. Toto spojení mělo za cíl zdůraznění rovnocenné účasti všech disciplín, o které se ergonomie opírala. Ergonomie je považována za multidisciplinární vědní disciplínu, spojující více vědních odvětví dohromady, např. bezpečnost práce a ochrana zdraví pracovníků, pracovní prostředí a polohy při práci, ale také s designem pracoviště či fyziologií a psychologií práce. Poznatky ergonomie lze aplikovat nejen ve strojírenství a ve výrobních podnicích, ale ve velké míře také ve zdravotnictví a letectví. [2] [3]

S ergonomií se úzce pojí **ČTP** – **člověk, technika, prostředí**. Toto spojení lze popsat jako dynamický, otevřený systém, jehož nedílnou součástí je i člověk. Právě člověk je v takovémto systému chápán jako rozhodující, limitující složka systému a výrazně ovlivňuje jeho konečné chování. Takto definovaný systém nabízí zcela nový pohled na analýzu nejslabších článků systému a podmínek výkonnosti člověka. Rovněž je tak člověku umožněno výrazně se podílet na vývoji a plánování technických systémů, a to již v raném stádiu jejich vývoje. Při tom se však musí neustále přihlížet i na sociálně-ekonomické vlivy a ustavičně přehodnocovat rozdělení jednotlivých funkcí člověka, zejména techniky, jelikož její vývoj je považován za nepřetržitý. [4]



Obrázek 1.1: Systém ČTP [4]

Stejně tak jako systém ČTP je při práci s ergonomií nutné vysvětlit dva základní principy přístupů k ergonomii. **Mechanocentrický přístup** má kořeny v počátku 20. století. Jde o přístup vycházející z taylorismu, který považuje člověka jako součást technického systému a objekt technického řízení. V takovémto systému je výkon strojního zařízení jasně nadřazen nad pracovníkovými potřebami. Na druhé straně je **přístup antropocentrický**, který vznikl v 50. a 60. letech 20. století. Antropocentrický přístup staví člověka na první místo. Tento přístup znamená, že pracovník je brán za vysoce organizované, tvořivé, pružné a nápadité individuuum, jenž v průběhu pracovního procesu projevuje individuální potřeby a zájmy. Člověk

v tomto systému je tedy upřednostňován před strojem a je brán zřetel na jeho fyzické a stejně tak psychické potřeby. [1]

1.1 Definice ergonomie

Ergonomii v průběhu let definovala celá řada odborníků, národních a nadnárodních organizací. Za nejvýstižnější definice jsou považovány např:

- **Ergonomics = making work human**, v překladu **Ergonomie = polidštění práce**. Takto definovanou ergonomii je možné nalézt ve starších publikacích Mezinárodního úřadu práce. Pro dnešní účely je využívána definice Ergonomie = přizpůsobení práce člověku. [5]
- Jednou z nejpoužívanějších a nejvýstižnějších definicí ergonomie je dle **ČSN EN 614-1** definice, jež ergonomii definuje jako: „*Vědeckou disciplínu zabývající se studiem vzájemných vztahů mezi lidmi a dalšími prvky systému. Ergonomie aplikuje teoretické poznatky, zásady, empirická data a metody pro navrhování zaměřené na optimalizaci pohody osob a celkovou výkonnost systému.*“ [6]
- Mezinárodní ergonomická asociace (IEA), jež definuje ergonomii jako tzv. „vědu o práci“, přijala v roce 2000 definici, podle které je ergonomie: „*vědecká disciplína založená na porozumění interakcí člověka a dalších složek systému. Aplikací vhodných metod, teorie i dat zlepšuje lidské zdraví, pohodu i výkonnost. Přispívá k řešení designu a hodnocení práce, úkolů, produktů, prostředí a systémů, aby byly kompatibilní s potřebami, schopnostmi a výkonnostním omezením lidí.*“ [7]

1.2 Rozdělení ergonomie

Ergonomie zahrnuje celou škálu oblastí jejího užívání. Mezinárodní ergonomická asociace rozděluje oblasti ergonomie na **hlavní** a **speciální**.

Hlavní oblasti ergonomie zahrnují oblasti:

- **fyzické,**
- **kognitivní (psychické),**
- **organizační.**

Fyzická ergonomie je v dnešní době nejvýznamnější oblast užívání ergonomie. Tato disciplína je využívána zejména při hodnocení pracovních podmínek a pracovního prostředí vůči vlivu na lidské zdraví. Fyzická ergonomie je výrazně využívána při plánování, projektování a konstrukci nejrůznějších strojních zařízení. Výrazně je při její aplikaci využíváno poznatků z oblastí anatomie, antropometrie, fyziologie, biomechaniky apod. Do škály řešených problémů tímto typem ergonomie je zahrnuta např. manipulace s břemeny, pracovní polohy, opakovatelné pracovní činnosti, uspořádání pracovního místa či profesionálně podmíněná onemocnění.

Kognitivní (psychická) ergonomie je oblast ergonomie, zaměřující se na psychologické aspekty pracovní činnosti, jako jsou např. paměť, usuzování, percepce. Kognitivní ergonomie dále řeší problémy týkající se psychické zátěže, procesů rozhodování, dovedností, výkonnosti a interakce člověka, počítače a stresu.

Třetí oblastí ergonomie, která se zařazuje pod hlavní oblasti, je **organizační ergonomie**, pod jejímž pojmem je skryt obor zabývající se sociální optimalizací. Tím je myšlena optimalizace technických systémů včetně jejich organizačních struktur, strategií a postupů. Tento obor zahrnuje lidský systém v komunikaci, zajištění pocitu komfortu, týmovou práci, sociální klima, režim práce a odpočinku, směnovou práci apod. [5] [8]

Speciální oblasti ergonomie jsou vyčleněny z oblastí ergonomie hlavních a jsou vztaženy ke konkrétním profesním zaměření a jejich systému. Speciální oblasti ergonomie zahrnují oblasti:

- **myoskeletární,**
- **participační,**
- **rehabilitační,**
- **psychologické.**

Oblast **myoskeletární ergonomie** je zaměřena na prevenci profesně podmíněných onemocnění pohybového aparátu. Mezi tato onemocnění jsou zařazena onemocnění páteře a horních končetin. Hlavními důvody těchto onemocnění jsou zejména často opakované pohyby, nadměrné vynakládání sil a nevhodné uspořádání pracovního prostředí.

Participační ergonomie představuje správné rozložení a uspořádání pracoviště je pro pracovníky klíčové a participační ergonomie umožňuje pracovníkům se na těchto klíčových aspektech podílet. Výrazně tak ovlivňuje jejich chápání samotného místa, což může podpořit jejich pracovní výkon a zlepšit ergonomické podmínky pracoviště.

Rehabilitační ergonomie je jednou z nejnověji z uvedených disciplín, řešící přípravu handicapovaných osob, především konstrukční úpravu samotného pracovního místa, nástrojů a strojů, se kterými daný pracovník přichází do styku.

Poslední ze speciálních oblastí ergonomie je **psychologická ergonomie**, jež zkoumá požadavky, které jsou kladeny na pracovníky při práci. Tento typ ergonomie je hojně využíván při přiřazování pracovníků na jednotlivá místa a je výrazně propojen s myoskeletární ergonomií. [5] [8]

1.3 Význam a cíle ergonomie

Význam ergonomie spočívá v hledání optimálních vztahů mezi člověkem, technikou a prostředím. Za hlavní cíl si ergonomie klade vytvoření optimálních technických a organizačních podmínek pro práci tak, aby pracovník mohl pracovat co nejefektivněji, zároveň při práci nebyl vystavován nepřiměřené pracovní zátěži a byla tak zvyšována jeho pracovní pohoda. Cíle ergonomie jsou dle Slamkové, Ďuliny a Tabakové (2010) rozděleny na dvě základní oblasti, a to na **cíl humánní** – přizpůsobení práce člověku a **cíl ekonomický** – zakládající se na produktivitě a spolehlivosti práce. V návaznosti na tyto cíle jsou pevně stanoveny efekty, jenž je možno dosáhnout při správné aplikaci ergonomických zásad a principů:

a) **Ekonomické**

- snížení času potřebného k vykonávání pracovní činnosti,
- zvýšení produktivity práce,
- snížení výskytu nemocí z povolání,
- snížení podnikové i mezipodnikové fluktuace.

b) **Humánní**

- zvýšení spokojenosti pracovníka,
- zlepšení jeho zdravotního stavu,
- zlepšení životní úrovně pracovníka. [9] [10]

Jiný pohled na cíle ergonomie nabízí Marek a Skřehota (2009), kteří rozdělují cíle na pět samostatných základních cílů:

- zvyšování efektivnosti pracovníka,
- humanizace techniky,

- racionalizace pracovních podmínek,
- ochrana zdraví člověka při vykonávání pracovních činností a minimalizování negativních vlivů,
- vývoj a návrh pracovních pomůcek, předmětů, nástrojů, zařízení a strojů tak, aby byly pro člověka nejvhodněji navrženy vzhledem k jeho fyzickým parametrům a co nejlépe sloužily pracovníkovi při výkonu jeho práce, s co nejnižším rizikem na pracovníkův zdravotní stav. [11]

1.4 Legislativní vymezení ergonomie

Se zvyšující se důležitostí ergonomie bylo nutné zavést řadu legislativních regulí. Proto je v dnešní době ergonomie spojena s řadou nařízení vlády, zákonů, vyhlášek, mezinárodních předpisů a normativních dokumentů. Za nejdůležitější právní předpisy v České republice jsou považovány následující dokumenty:

- **NV 101/2005 Sb.** – Toto nařízení se týká zajištění bezpečnosti práce a ochrany zdraví na pracovišti a v pracovním prostředí.
- **NV 361/2007 Sb.** – Nařízení upravující předpisy a požadavky ochrany zdraví při práci na pracovišti. V roce 2020 bylo toto nařízení dále specifikováno. V rámci nařízení vlády č. 361/2007 Sb. byly mezi rizikové faktory z hlediska pracovních podmínek zařazeny:
 - rizikové faktory pracovních podmínek, jejich členění, metody a způsob jejich zjišťování a hygienické limity,
 - způsob hodnocení rizikových faktorů z hlediska ochrany zdraví zaměstnance,
 - minimální rozsah opatření k ochraně zdraví zaměstnance,
 - podmínky poskytování osobních ochranných pracovních prostředků a jejich údržby při práci s nejrůznějšími chemickými látkami,
 - některé hygienické požadavky na pracoviště a pracovní prostředí,
 - bližší požadavky na způsob organizace práce a pracovních postupů při zátěži teplem nebo chladem, při práci s chemickými látkami a při fyzické zátěži,
 - některá opatření pro případ zdolávání mimořádné události.

Toto nařízení je jedinečným příkladem propojení legislativních nařízení a virtuální reality, které je podrobněji popsáno v kapitole 3.2. [12]

- **Vyhláška 432/2003 Sb.** – Stanovuje podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty pro psychickou zátěž, zrakovou zátěž, práci ve zvýšeném tlaku vzduchu a práci v prašném prostředí (novelizováno v roce 2013),
- **Zákon č. 258/2000 Sb.** – Zákon o ochraně veřejného zdraví,
- **Zákon č. 262/2006 Sb.** – Tento zákon pozměnil právní vztahy mezi zaměstnanci a zaměstnavateli a zapracoval příslušné předpisy EU do zákoníku práce,
- **Zákon 309/2006 Sb.** – Zákon sloužící k upravení požadavků na bezpečnost a ochranu zdraví při práci,
- **NV 390/2021 Sb.** – Jedno z nejaktuálnějších nařízení vlády vydané v roce 2021, upravující podmínky poskytování osobních ochranných prostředků, mycích, čistících a dezinfekčních prostředků. [13]
- **ČSN Normy** – V rámci českého třídníku norem je problematice ergonomie věnována celá **třída 8335**. Třída 8335 obsahuje celou škálu norem, jsou zde uvedeny normy týkající se techniky prostředí, zahrnující hluchnost, prašnost nebo viditelnost, dále tato třída představuje např. normy týkající se tělesných rozměrů člověka, fyzické výkonnosti pracovníka nebo normy definující mentální pracovní zátěž na pracovišti. [1]

1.5 Nemoci z povolání

Nevhodně navržené pracovní místo negativně působí na pracovníkovu zdraví, kdy v nejhorším případě může dojít až k pracovnímu úrazu či nemoci z povolání. Výskyt nemocí z povolání představuje pro podniky zbytečné vedlejší náklady, mimo to také nemoci z povolání představují riziko nedostatku personálu a jejich výskyt negativně působí na morální stránku ostatních pracovníků. Proto je v dnešní době pro výrobní podniky prioritou tyto nemoci minimalizovat či je v ideálním případě zcela vymýtit. Mezi nejčastěji se vyskytujícími nemocemi z povolání mezi roky 2010 a 2020 patřil např. syndrom karpálního tunelu, alergický ekzém či svrab. [14]

Za nemoci z povolání jsou považovány ty nemoci, jež spadají pod nemoci vymezené platnou legislativou. Je tak přesně dáno, jaké onemocnění a za jakých podmínek je možné označit jako nemoc z povolání. V České republice jsou **nemoci z povolání definovány v nařízení vlády č. 114/2011 Sb.** V rámci tohoto nařízení je definován seznam nemocí z povolání. Tento seznam mimo jiné upřesňuje tři základní předpisy:

1. Nemocemi z povolání se rozumí nemoci způsobené působením chemických, fyzikálních, biologických nebo jiných škodlivých vlivů, a to pouze v případech, kdy jejich vznik přesně splňuje podmínky uvedené v seznamu nemocí z povolání. Akutní otrava chemickými látkami je také považována za nemoc z povolání.
2. Jednotlivé názvy nemocí z povolání jsou formulovány v rámci tohoto nařízení vlády.
3. Pro uznání nemocí z povolání je nutné splňovat zvláštní předpisy. [13]

Samotný seznam nemocí z povolání je dle nařízení vlády č. 114/2011 Sb., rozčleněn do šesti kapitol, které jsou označeny římskými čísly I – VI.

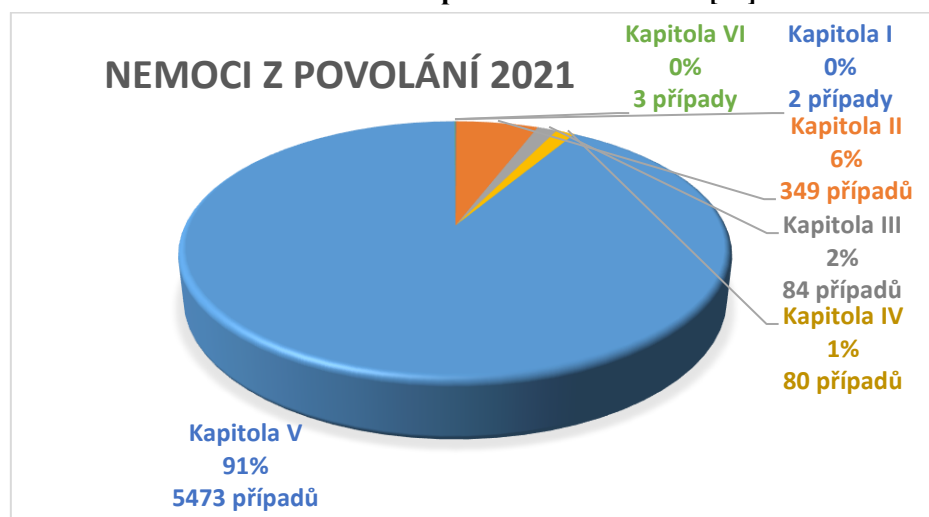
- **Kapitola I** zahrnuje nejvíce položek, a to celkem 58 – obsahuje zejména nemoci **způsobené chemickými látkami**. Široká škála položek této skupiny zahrnuje obsáhlé množství nejrůznějších chemických látek s rozdílným chemickým složením a různou koncentrací. Otrav zapříčiněných chemickými látkami značně ubývá. V současné době tato skupina obsahuje pouze 2–4 % všech hlášených nemocí z povolání za rok.
- **Kapitola II** zahrnuje 12 položek – je rozdělena dle **fyzikálních faktorů** způsobující nemocí z povolání. Mezi těmito položkami jsou zahrnuty nemoci způsobené elektromagnetickým zářením, hlukem, vibracemi či nemoci zapříčiněné dlouhodobým přetěžováním horních i dolních končetin. Nemoci tohoto typu meziročně zapříčiní okolo 40 až 50 % z celkových případů nemocí z povolání.
- **Kapitola III** zahrnuje také 12 položek – patří sem nemoci z povolání, týkající se dýchacích cest, plic, pohrudnice a pobřišnice. Takovéto nemoci jsou vyvolány především prachem a alergenními účinky. 15–20 % z celkových ročních případů nemocí z povolání je zapříčiněno onemocněním dýchacích cest.
- **Kapitola IV** zahrnuje jednu položku – jedná se o kožní nemoci z povolání. Toto onemocnění bývá způsobené především chemickými látkami, ačkoliv tyto nemoci mohou vyvolávat také příčiny fyzikální nebo biologické. Kožní nemoci způsobují přibližně 14–18 % ze všech nemocí z povolání.
- **Kapitola V** zahrnuje 3 položky – představující nemoci z povolání přenosné a parazitární. Nejčastějším typem přenosných nemocí jsou nemoci přenosné z člověka na člověka. Dalším typem mohou být nemoci přenosné ze zvířete na člověka, tento typ je však spíše ojedinělý. Nejběžnějším případem parazitárních onemocnění jsou nemoci způsobené zákožkou svrabovou. Přenosné a parazitární nemoci ročně způsobí 14–17 % všech případů.
- **Kapitola VI** zahrnuje pouze jednu položku, kterou jsou nemoci způsobené ostatními faktory a činiteli. V současnosti se jedná pouze o poškození hlasivek a fonastenie. Výskyt takovýchto onemocnění je zcela sporadický (do 5 případů ročně). [13]

Seznam hlášených nemocí z povolání je každoročně zveřejňován na stránkách Státního zdravotního úřadu. Na grafech 1.1 a 1.2 jsou znázorněny údaje nemocí z povolání z posledních dvou let.

Graf 1.1: Nemoci z povolání za rok 2020 [15]



Graf 1.2: Nemoci z povolání za rok 2021 [15]



Na výše uvedených grafech je znázorněno obsazení a jednotlivé počty nemocí z povolání pro roky 2020 a 2021. V roce 2020 nejvíce onemocnění z povolání zapříčinila onemocnění druhé kategorie, tedy nemoci způsobené nadměrným hlukem, vibracemi a nadměrným přetěžováním končetin. Oproti trendu posledních let mírně vybočují nemoci páté kategorie, kde průměrně ročně zapříčinily 14–17 % z celkových případů. Za nárůstem na 28 % stojí především začátek pandemické situace (onemocnění COVID 19). To se naplno projevilo až v roce 2021, kdy přenosné nemoci, a to konkrétně z člověka na člověka zapříčinily rekordních 5473 případů, způsobené z drtivé většiny právě onemocněním COVID 19. Nemoci, které jsou zahrnuty v páté kapitole, tak obsadily více než 91 % z celkového počtu nemocí z povolání. Výsledky nemocí z povolání za rok 2021 tak zcela vybočují z trendu posledních let. Nemoci z povolání čeká v České republice v roce 2023 k 1.1. rozšíření o onemocnění bederní páteře. Předpokládá se, že toto rozšíření výrazně ovlivní počet celkových hlášení nemocí z povolání, jelikož je toto onemocnění hojně se vyskytujícím problémem v řadě výrobních podniků. Zároveň je předpokládán růst nemocí z povolání u karpálního syndromu.

2 Ergonomie pracoviště a jeho prostorové uspořádání

Pracovní místo je definováno kombinací pracovního vybavení a jeho uspořádáním v daném prostředí za určených podmínek pracovními úkoly. Jinak řečeno, pracovní místo je část pracoviště, na němž zaměstnanec vykonává požadovanou právní činnost a zahrnuje mimo technologických zařízení další podpůrné předměty a prostory. V praxi jsou rozlišovány tři typy pracovních míst:

- **trvalé**, na němž se pracovník zdržuje delší dobu než polovinu pracovní směny,
- **přechodné**, na němž pracovník tráví méně než polovinu pracovní směny,
- **vedlejší**, sloužící pouze pro krátkodobější pomocné práce.

Hlavní zásadou vhodného pracovního místa je vytvořit takové pracovní místo, jež neobsahuje žádné rušivé, škodlivé a obtěžující vlivy a zároveň také vytvořit takové pracovní podmínky, aby bylo dosaženo co nevyššího pracovního pohodlí. Stěžejní částí při prohlídce pracovního místa je analyzovat kritická místa a zjistit tak příčiny a nedostatky, vedoucí k pocitu nespokojenosti, diskomfortu, nemocí z povolání, zrakových potíží atd.

Cílem ergonomie ve vztahu k pracovišti je navržení a vytvoření takových pracovních podmínek, aby byla maximálně omezena nepřiměřená pracovní zátěž. [16]

Před samotným provedením ergonomického návrhu pracoviště je nezbytné se seznámit s plánem zřízení nového pracoviště či je nutné provést vlastní analýzu stávajícího pracoviště. Takováto analýza by měla obsahovat:

- analýzu pracovního prostoru – dostatek místa pro pohyb a manipulaci s materiálem, rozmístění strojů a zařízení,
- analýzu pracovního prostředí – osvětlení, mikroklima, hluk,
- organizaci práce – pracovní doba, úkoly, přestávky,
- náplň práce – pohlaví, zdravotní stav, věk, dispozice konkrétního pracovníka,
- školení – systém předávání informací (vstupní a opakovaná školení, výcvik, předávání informací o změnách, opatřeních). [3]

Přínosy ergonomie na pracovišti jsou výrazným faktorem, motivujícím výrobní podniky pro zavádění základních ergonomických principů. Za ty nejvýraznější z nich jsou považovány:

- **snížení nákladů** – systematickým snižováním ergonomických rizikových faktorů se předchází nemocím z povolání,
- **zvýšení produktivity** – navržením přijatelnější polohy pro lepší držení těla je snížena námaha při práci a množství pohybů nutných pro provedení pracovní činnosti, což vytváří pracoviště efektivnějším,
- **zlepšení kvality** – špatně navržená ergonomie vede k vyšší únavě pracovníků a snížení jejich morálky. Při fyzicky náročnějších pracovních úkonech nemusí pracovník vykonávat svou práci tak, jak byl vyškolen. Zvýšení kvality ergonomie pracoviště může vést ke zlepšení jejich zdravotního stavu a celkové spokojenosti pracovníka, který následně dosahuje lepších výkonů,
- **zvýšení zapojení zaměstnanců** – při zapojení zaměstnanců do zlepšení ergonomické situace pracoviště výrazně roste jejich morálka při práci,
- **zlepšení bezpečnosti** – hlavním cílem ergonomie je zajištění bezpečného pracovního místa. Kumulativním efektem všech předchozích čtyř přínosů a zajištěním ergonomicky bezpečných pracovišť, je zvýšení výkonu pracovníků skrz celým výrobním podnikem. [17]

2.1 Základní kritéria a parametry pracovišť

Základem hodnocení pracovních systémů je znalost jednotlivých kritérií a parametrů pracovišť. Ve spojení s pracovištěm je zmiňována řada parametrů. Prvním z nich je minimální využitelná **podlahová plocha** na jednoho pracovníka, která při denním osvětlení činí 2 m². Bez denního osvětlení tato plocha musí být minimálně 5 m². V raných počátcích projektu musí být správně zvolena tzv. **světlá výška pracoviště**. Stejně tak jako u podlahové plochy je rozlišována minimální výška pracoviště za denního a umělého osvětlení. Zároveň jsou dalšími důležitými kritérii také rozměry výrobní haly. [18]

Tabulka 2-1: Minimální výška haly [18]

Plocha [m ²]	Výška [m]	
	Denní osvětlení	Umělé osvětlení
<50	2,5	-
<100	2,7	3
<2000	3,5	3,5
>2000	3,25	4,5

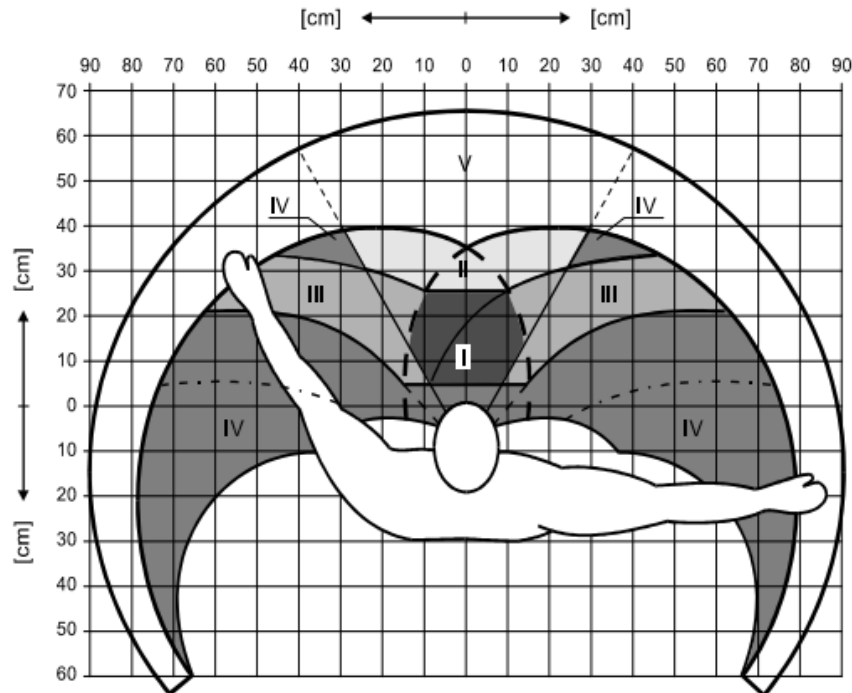
Dalším z důležitých parametrů je **vzdušný prostor** na jednoho zaměstnance. Při denním osvětlení musí být minimální vzdušný prostor při práci ve stoje 15 m³. U umělého osvětlení musí mít pracovník pracující ve stoje k dispozici 30 m³. [18]

Vhodný **pracovní prostor**, jinými slovy manipulační rovina, je důležitou součástí správně navrženého pracoviště. Při navrhování se musí dbát na různé fyzické aspekty jednotlivých pracovníků. Základem je dostatek místa pro pohyb a manipulaci s materiálem. [19]

Manipulační prostor je možné rozdělit do tří základních kategorií:

- **Optimální manipulační prostor** – prostor sloužící zejména pro často užívané předměty, jenž je definován do vzdálenosti předloktí. Pohyby v takovémto prostoru jsou prováděny s vysokou přesností, rychlostí, silou a malou únavou.
- **Normální pracovní prostor** – tento prostor se nachází od pracovníka po dosah středu dlaně při natažených pažích. Pracovník tuto dosahovou zónu využívá pro těžší a méně používané předměty.
- **Maximální pracovní prostor** – prostor umístěný nejdále od pracovníka, ohraničený dosahem jeho konečků prstů při maximálním sklonu těla do 15°. Tento prostor je pro pracovníka nejrizikovějším a je třeba dbát zvýšené pozornosti při výskytu v tomto prostoru. [18]

Obrázek 2-1 znázorňuje výše popisované tři druhy manipulačního prostoru, který pracovník využívá. Nejdále od pracovníka se nachází maximální prostor, kam je pracovník schopen dosáhnout, blíže k němu je prostor normální a nejbližší a v zorném úhlu pracovníka je prostor optimální. [18]



Obrázek 2.1: Druhy manipulačního prostoru [18]

Manipulační rovinou se rozumí výška pracovní roviny nad podlahou. Tato výška by měla být pro práci v sedě stejná, jako ve stoje, a to v rozmezí mezi 95 cm a 120 cm v závislosti na parametrech pracovníka. [5]

Pracoviště musí pracovníkovi umožňovat vhodné podmínky pro přirozené **pracovní pohyby**. Pohyby by neměly vybočovat ze zorného pole pracovníka. Důležité je také, aby byly pohyby plynule navazující, jednoduché a rytmické. [18]

Teplota, hlučnost, prašnost a viditelnost na pracovišti také výrazně ovlivňují pracovníkův psychický a fyzický stav. Vhodná teplota se liší v závislosti na ročním období. V zimě je vhodná teplota 20 °C, v létě se teplota pohybuje okolo 23 °C. Akustické podmínky, neboli hlučnost, jsou velmi významným faktorem. Limitní hodnotou hlučnosti je hladina 85 dB, nad kterou už se srozumitelnost komunikace výrazně snižuje. U viditelnosti se obecně udává, že by hodnoty na trvalém pracovišti při umělém osvětlení neměly být nižší než 300 lx. [5]

V roce 2022 byla vláda donucena reagovat na energetickou krizi. V rámci novely bylo upraveno vládní nařízení č. 361/2007 Sb., které stanovuje limitní hodnoty teplot na pracovišti. Drtivé většiny výrobních podniků se tak týká snížení minimální teploty na klimatizovaných pracovištích. Minimální teplota v kancelářích je stanovena na 18 °C a ve výrobních prostorách na 16 °C. Toto snížení teplot by dle dostupných hygienických poznatků nemělo mít negativní vliv na lidský organismus, nicméně za ideální teploty na pracovišti jsou považovány teploty uvedené v prvním odstavci. [20]

Manipulace s břemeny

Manipulace s břemeny je velmi diskutované téma, závislé na vlastnostech jednotlivých pracovníků. Ačkoliv je maximální kumulativní zátěž zvedání břemen za směnu pevně stanovena, musí se dbát mimo jiné na pracovníkovi individuální vlastnosti. Do jisté míry je možné fyzickou zdatnost jednotlivého jedince natrénovat, nicméně je velmi snadné určité svaly přetížit, a tím i zvyšovat riziko zranění. Ke snížení zátěže ruční manipulace s břemeny jsou doporučena různá opatření, kterými jsou:

- snížení hmotnosti břemene – např. snížením počtu najednou přenášených jednotek,
- změna způsobu přenášení – dodržování zásad správného přenášení a pevného úchopu,
- změna způsobu přemístování břemene – použití pomůcek či technických prostředků,
- kontrola ukládání břemen,
- kontrola rozmístění skladů,
- kontrola manipulace s břemeny na pracovišti. [19]

Tabulka 2-2: Maximální přípustně hmotnostní limity [19]

Manipulace	muži	ženy
občas	50 kg	20 kg
často	30kg	15 kg
kumulace	10 000 kg	6 500 kg
vsedě	5 kg	3 kg
tažení	280 N	250 N
tlačení	310 N	220 N

V tabulce 2-2 jsou znázorněny přípustné hmotnostní limity při manipulaci s břemeny pro muže a ženy. V tabulce jsou zobrazeny maximální limity pro občasnou a častou manipulaci s břemeny. Mimo to také tabulka obsahuje maximální kumulativní součet zvedaných břemen za 8 hodinovou pracovní dobu. Maximální kumulativní hodnota pro muže činí 10 tun za osmihodinovou směnu, pro ženy je tato hodnota 6,5 tuny. [19]

2.2 Prostorové uspořádání výroby

Obsahem této podkapitoly jsou typy prostorového uspořádání výroby, neboť jedním z cílů empirické části práce je navrhnout a doporučit zvolenému podniku nejvhodnější řešení uspořádání nové výrobní linky.

Snahou každého výrobního podniku je vyrábět co nejefektivněji, tedy s cílem dosáhnout co největšího ekonomického prospěchu. Proces výroby lze charakterizovat jako: „*transformaci výrobních faktorů do ekonomických statků a služeb, které pak procházejí spotřebou.*“ Za výrobní faktory, někdy uváděné jako výrobní zdroje, je považován kapitál, práce, přírodní zdroje a informace. Výrobu tedy lze chápat jako proces, při kterém se vstupy přeměňují za pomoci zdrojů na požadovaný produkt, výrobek či službu a v jehož průběhu dochází ke vzniku přidané hodnoty. [11] [21]

Pro zobrazení prostorového uspořádání se využívá tzv. **layout pracoviště**, který se označuje jako grafické rozvržení dané plochy pracoviště a jež znázorňuje rozmístění jednotlivých výrobních prostorů, skladů a dílen a také definuje materiálové toky a jejich intenzitu. [22]

Po návrhu prostorového uspořádání výroby nastává důležitý úkol pro pracovníky manažerských pozic, kterým je výběr vhodné varianty návrhu. Pro zvolení té nejlepší varianty existuje řada metod. Jednou z těchto metod je tzv. **Saatyho metoda**, jež je založena na principu vícekritériálního porovnávání. Stanovení vhodných kritérií je nejdůležitějším krokem celého rozhodovacího procesu. Preference jednotlivých variant jsou hodnoceny škálou lichých čísel od 1 do 9, jež vyjadřují intenzity významu varianty. Po vytvoření Saatyho matice následuje proces výpočtu úspěšnosti jednotlivých metod, ke kterému je využit tzv. index konsistence. Posledním krokem Saatyho metody je následné vyhodnocení kvantitativních kritérií, s jehož pomocí je následně určena nejvhodnější varianta. [23]

Typy prostorového uspořádání:

- **individuální** uspořádání, využívající se u kusové výroby, kde jsou stroje rozmístěny jednotlivě,
- **předmětné** je založené na dodržení posloupnosti technologického postupu,
- **technologické** uspořádání seskupuje pracoviště dle příbuznosti technologie,
- **kombinované** využívá jak předmětné, tak i technologické uspořádání,
- **pevné** uspořádání je využíváno, pokud je vyráběný produkt natolik velký, že je výhodnější manipulovat s výrobním zařízením než s produktem. Obvykle se využívá při výrobě lodí, letadel a stavebních projektů. [24]

Vzhledem k obsahu empirické části diplomové práce jsou v následujících podkapitolách blíže popsány pouze dva typy prostorového uspořádání, a to předmětné a technologické.

2.2.1 Předmětné uspořádání

Předmětné uspořádání je charakteristické tokem produktu výrobním systémem dle technologického postupu. Typickým pracovištěm uspořádaným tímto způsobem je výrobní linka. Stroje jsou u tohoto typu pracovišť za sebou řazeny tak, jak na sebe navazují jednotlivé technologické operace na produktu. Materiálové toky jsou díky tomu zkracovány na minimum. Předmětné uspořádání výroby není vhodné aplikovat na všechny typy výroby. Příkladem toho je kusová a malosériová výroba, pro které se použití předmětného uspořádání příliš nedoporučuje. Využívá se tak zejména při sériové či hromadné výrobě. Typickým rysem u hromadné výroby je snaha snížit ceny na minimum, tento prvek patří i k předmětnému uspořádání pracovišť, cena jednoho výrobku je tak výrazně nižší, než u zbylých typů uspořádání. Návrh tohoto uspořádání je značně obtížný, jelikož je vyžadován přesný chod technologického procesu. S tím je spojena také velmi obtížná případná modifikace vyráběného produktu. [24]

Tabulka 2-3: Výhody a nevýhody předmětného uspořádání [24]

Předmětné uspořádání	
Výhody	Nevýhody
zkrácení průběžné doby výroby	vysoké nároky na přípravu
zkrácení přepravních cest	vysoké nároky na údržbu
lepší využití strojů	velmi malá pružnost výroby
nižší nároky na prostor	
nižší objem rozpracované výroby	
snížení skladovacích prostorů	

V tabulce 2-3 jsou shrnuty výhody a nevýhody předmětného uspořádání výroby.

2.2.2 Technologické uspořádání

Technologické uspořádání výroby je založeno na principu seskupování jednotlivých strojů dle příbuznosti technologie. Tento typ prostorového uspořádání tak vytváří pracoviště se stejnými či velmi podobnými technologickými operacemi. Materiálové toky u tohoto typu uspořádání jsou značně dlouhé, jelikož výrobky přechází z jednoho pracoviště na druhé po delších trasách a často se kříží. Technologické uspořádání je nejvíce využíváno pro kusovou a malosériovou výrobu. Cena za jeden výrobek je vyšší, než je tomu u předmětného uspořádání výroby. Nicméně u technologického uspořádání je výrazně vyšší flexibilita výrobního procesu, je tedy

značně jednodušší změna vyráběného produktu. Různorodý výrobní sortiment si sebou nese vyšší nároky na odborné znalosti zaměstnanců než je tomu u uspořádání předmětného. [24]

Tabulka 2-4: Výhody a nevýhody technologického uspořádání [24]

Technologické uspořádání	
Výhody	Nevýhody
velká pružnost při změně výrobku	vyšší nároky na znalosti zaměstnanců
možná nahraditelnost strojů	nutnost větších skladovacích ploch
jednodušší organizace	složitější manipulace s materiálem
větší operativnost řízení	prodloužení výrobního cyklu

V tabulce 2-4 jsou shrnuty výhody a nevýhody technologického uspořádání výroby.

2.3 Metody pro tvorbu layoutu

Správně zvolená tvorba layoutu je základním kamenem pro vytvoření efektivního výrobního procesu. Velmi důležité je také dodržování správného postupu tvorby layoutu. Ten by měl obsahovat:

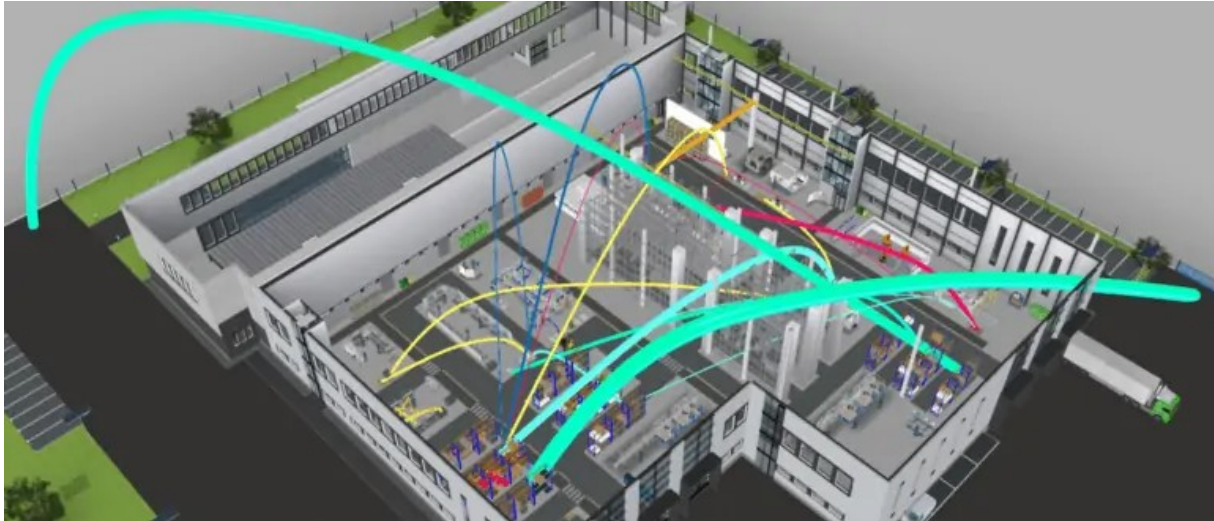
- zajištění detailních vstupních dat nutných k tvorbě layoutu. Data jsou získávána pomocí analýzy materiálových toků, analýzou vztahů a činností, pracovišť a aktivit,
- následuje vytvoření diagramu vzájemných vztahů, pomocí kterého jsou získány informace o hlavních vazbách ve výrobě,
- třetím krokem je příprava layoutu, součástí které jsou definovány požadavky na prostor,
- poté je vytvořen prostorový diagram, obsahující jednotlivé varianty layoutu,
- posledním krokem je výběr vhodné varianty splňující požadavky podniku. [22]

Způsob tvorby layoutu

Existuje celá řada metod pro tvorbu prostorového uspořádání výrobních prostor. Mezi ty nejznámější se řadí Sankeyův diagram, metoda CRAFT, metoda šachovnicové tabulky, trojúhelníková metoda aj. Níže budou blíže přiblíženy vybrané metody pro návrh vhodného prostorového uspořádání výrobního pracoviště.

Sankeyův diagram

Sankeyův diagram je velmi oblíbenou metodou, používající se při sledování průběhu veličiny daným výrobním systémem. V technické oblasti se Sankeyův diagram využívá ke znázornění účinnosti zařízení. Pro tuto práci je však klíčový v oblasti plánování materiálových toků. Samotný Sankeyův diagram je tvořen uzly, které jsou propojeny šipkami. Šířka šipek odpovídá intenzitě proudění. Bez ohledu na úroveň detailů v rámci plánování prostorového uspořádání je Sankeyův diagram považován za velmi přínosný předmět, usnadňující rozložení pracoviště a plánování toků materiálu. [25]



Obrázek 2.2: Sankeyův diagram ve 3D [25]

Obrázek 2-2 zobrazuje využití Sankeyova diagramu ve 3D prostředí programu VisTable. Na obrázku jsou znázorněny jednotlivé materiálové toky, jenž se rozlišují intenzitou objemu (šířkou) a barvami. Rozdílnost barev zde rozlišuje tok materiálu na jednotlivých pracovištích.

Metoda CRAFT

Metoda CRAFT je významnou metodou využívající se pro určení optimální vzájemné polohy různých prvků při uspořádání pracoviště. Cílem této metody je nalézt vhodné uspořádání celků, které by snížilo celkové náklady na manipulaci s materiálem na minimum. Tato metoda při řešení využívá diagram materiálových toků (Sankeyův diagram).

Charakteristika metody:

- určuje optimální polohy různých prvků při uspořádání celku,
- respektuje různé podmínky, jako např. pevně danou polohu některých pracovišť,
- zajišťuje účelnost centralizace nebo decentralizace činností,
- vychází z libovolného rozmístění pracovišť,
- slouží pro vzájemné rozmístění pracovišť. [26]

3 Moderní metody v hodnocení ergonomických rizik

V rámci této kapitoly budou blíže přiblíženy metody, jež budou dále použity v empirické části této práce. Klíčovými metodami v této práci je analýza RULA a metoda pro hodnocení ergonomických rizik, založená na nařízení vlády NV 361/2007.

Ergonomické metody a analýzy se obecně dělí do dvou základních skupin. První skupinou jsou tzv. **kalkulační analýzy**, které fungují na principu zadání číselných vstupních hodnot. Výstupem z kalkulační analýzy jsou opět číselné hodnoty, které jsou optimální pro dané pracoviště. Druhou třídou jsou **checklisty**, které jsou využívány k hodnocení již navržených pracovních míst. Checklisty jsou jistou formou dotazníků, kde hodnocený pracovník odpovídá na řadu otázek, týkajících se jeho zdravotních problémů či práce na pracovišti. [1]

3.1 Metoda RULA

Metoda RULA (Rapid Upper Limb Assessment) je základním ergonomickým rychlým nástrojem hojně využívaným zejména k hodnocení rizik na pracovišti, a to již od roku 1993. Zpočátku byl tento nástroj využíván k širšímu průzkumu ergonomie. Jedná se o systematický proces, sloužící k vyhodnocování požadovaného držení těla, síly a opakovaných pohybů při plnění daného pracovního úkolu. Metoda RULA byla navržena za účelem hodnocení poloh horních končetin. Mimo tuto metodu je také možné se setkat s metodou REBA, jež je založena na stejném principu jako RULA analýza pouze s tím rozdílem, že slouží pro hodnocení poloh horních i dolních končetin. [27]

Metoda RULA byla vyvinuta se čtyřmi hlavními cíli:

1. Vytvořit lepší pohled na zdravotní stav pracující populace a zjistit tak míru rizika pro výskyt nemocí z povolání, především v oblasti horních končetin.
2. Zjistit vyčíslitelnou svalovou námahu, spojenou se statickými polohami a polohami s vysokou mírou opakovaných úkonů, které by mohly vést ke značné svalové únavě.
3. Stanovit míru nálehavosti, a to pomocí jednoduché metody bodování.
4. Poskytnout pracovníkům v oblasti ergonomie přívětivý nástroj, vyžadující minimální spotřebu času, úsilí a vybavení. [27]

Výstupem nástroje z analýzy RULA je tzv. RULA skóre, představující úroveň rizika výskytu nemocí z povolání pro hodnocený pracovní úkon. Výsledné RULA skóre se pohybuje na škále od 1 do 7, kde RULA skóre = 1 je minimální skóre a RULA skóre = 7 značí maximální skóre. Výsledné skóre 1–7 je dále rozděleno do čtyř kategorií, které značí míru rizika. Výsledná tabulka pro hodnocení pomocí metody RULA, včetně označení skóre a vysvětlení míry rizika a doporučeného dalšího postupu, je znázorněna v tabulce 3-1. [28]

Tabulka 3-1: Hodnocení RULA [28]

Skóre	Míra rizika
1-2	Zanedbatelné riziko, není vyžadováno dalších akcí
3-4	Nízké riziko, mohou být vyžadovány změny
5-6	Střední riziko, je vyžadováno hlubšího prozkoumání a brzkého zavedení změn
7	Velmi vysoké riziko, neprodlené zavedení změn

Tato metoda disponuje řadou **výhod**, mezi které je možné zahrnout přesnější a spolehlivější měření muskuloskeletálních rizik, jež je navíc rychlé a snadno proveditelné. Bylo vyzkoušeno, že metoda RULA může sloužit jako vhodný nástroj pro vzdělávání pracovníků. Metoda RULA může také napomoci ke zlepšení produktivity pracovníka. Za velmi vhodné je považováno zvolení číselného skóre, jež názorně zobrazuje míru rizika před a po

zásahu, a je tak snadno pochopitelné i pro pracovníky, kteří se příliš v problematice ergonomie neorientují.

Naopak mezi **nevýhody** analýzy RULA jsou považovány drobné nesrovnalosti ve skóre, pokud se poloha končetin nachází na hranici dvou rozsahů. Touto metodou nelze posuzovat pracovní úkony zahrnující pohyb celého těla. Při volbě jednotlivých poloh je pro výsledek nutné zachytit ty nejextrémnější polohy, do kterých se jedinec během zvoleného pracovního úkolu dostává. Jeden pracovní úkol tak často vyžaduje více než jedno RULA hodnocení. [27]

Postup při hodnocení metodou RULA

- Základem většiny ergonomických analýz je správná **příprava**. Vhodné je se s vybraným pracovníkem pro hodnocení seznámit a blíže mu vysvětlit význam prováděného zkoumání. Součástí kroku přípravy je i sledování pracovníka při práci, a to během několika pracovních cyklů.
- Druhým krokem je **výběr poloh** vhodných pro analyzování. Volba vhodné polohy je u metody RULA klíčovým prvkem ovlivňujícím výsledek z analýzy. Za polohy vhodné pro provedení analýzy jsou považovány nejobtížnější polohy a pracovní úkoly, polohy, ve kterých se pracovník nachází po nejdelší časový úsek a polohy, kde je pracovníkovo horní polovina těla nejvíce zatěžována.
- Po zvolení zkoumaných pozic je provedena samotná **analýza RULA**. Průběh analýzy může být značně rozdílný, a to v závislosti na použitém softwaru. V dnešní době existuje řada nejrůznějších softwarových nástrojů, pomocí kterých je zvolená pozice zachycena, zpracována a software následně zobrazí výsledky v podobě již zmiňovaného RULA skóre. V případě, že nejsou k dispozici softwarové nástroje, je možné využít určených speciálních tabulek, definovaných pro metodu RULA a následně **celkové RULA skóre** dopočítat.
- Po získání finálního skóre RULA je v závislosti na jeho výši vhodné **vyvodit závěry**. V případě, kdy je riziko vzniku muskuloskeletálních poruch zvýšené či velmi vysoké, by mělo následovat **navržení ergonomických vylepšení** a následně i **znovu provedení kontrolní RULA analýzy** pro vyhodnocení zlepšení počátečního stavu. [28] [29]

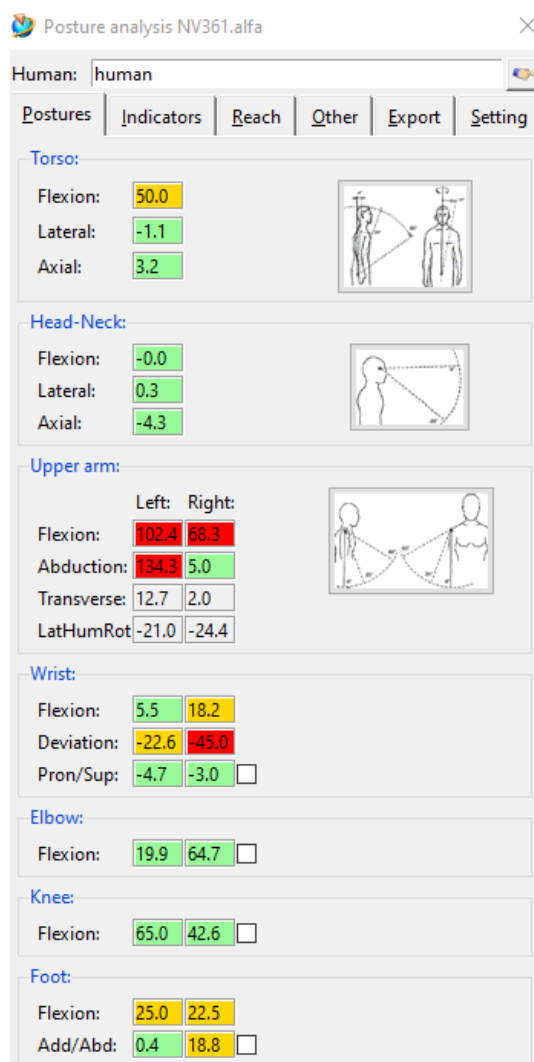
Levá strana:						
Levá KH						<input type="checkbox"/> Zvednuté rameno <input type="checkbox"/> HK v abdukci <input type="checkbox"/> Sklonění nebo podpora váhy paže
Levá KH						<input type="checkbox"/> Činnosti přes střednici těla nebo na stranu
Levé zápěstí						<input type="checkbox"/> Zápěstí vytočeno mimo střednici
Levé zápěstí otočené			Síla & Zátěž pro levou ruku VYBERTE JEDNU Z NABÍZENÝCH MOZNOSTI: <input type="checkbox"/> Žádná překážka + méně než 2 kg přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 2–10 kg přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 2–10 kg statická zátěž <input type="checkbox"/> 2–10 kg opakující se zátěž nebo síla <input type="checkbox"/> 10 kg či více přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 10 kg statická zátěž <input type="checkbox"/> 10 kg opakovaná zátěž nebo síla <input type="checkbox"/> náraz nebo prudké zvyšování síly			
Užití svalů	<input type="checkbox"/> Poloha převážně statická, např. držení více jak 1 min. nebo opakování více než 4krát za min.					

Obrázek 3.1: RULA metoda [30]

Na obrázku 3-1 je zobrazeno hodnocení metodou RULA pro levou horní končetinu.

3.2 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

NV č. 361/2007 Sb. je nařízením, jež bylo vydáno jako reakce na řadu Evropských legislativních úprav v oblasti bezpečnosti práce. Tento legislativní dokument přesně definuje podmínky ochrany zdraví při práci. Blíže specifikované body, které jsou dle NV č. 361/2007 Sb. zavedeny, byly popsány již v kapitole 1.4. Podstata nařízení vlády č. 361/2007 Sb. je skryta v modulu, který je jedinečným spojením virtuálního světa a platných předpisů. Tento modul je volně dostupnou nástavbou pro řadu softwarových programů, využívajících se ke kontrole zatížení pracovníka při práci. Modul NV 361 je možné využívat v programech od společnosti Siemens – Process Simulate a Tecnomatix Jack. Tento modul je využíván především ke zkoumání různých pracovních poloh a znázorňuje přípustné limity polohy těla, jež jsou z hlediska ergonomie přípustné a nedochází při nich k žádnému poškození muskuloskeletálního systému člověka. [31]



Obrázek 3.2: NV č. 361/2007 Sb.

Obrázek 3-2 představuje příklad výsledných hodnot pro modul NV 361, jenž se nachází v záložce **Postures (polohy těla)**. Tělo je zde rozděleno do 7 základních částí. Tyto části odpovídají polohám zad, hlavy a krku, ramen, zápěstí, loktů, kolen a nohou. Každá z uvedených částí těla je dále rozdělena dle pohybových možností těchto partií na flexi (ohýbání), extensi (napřímování), lateroflexi (úklonu), rotaci, abdukci (odtažení od těla) a addukci (přitažení). Druhou záložkou je záložka **Indicators (indikátory)**, kde lze zobrazit jednotlivé grafické indikátory zad a úhlů ramen. V této záložce je také možné nastavit rotaci indikátoru, což je využitelné při posuzování úhlů končetin a páteře a případné rizikovosti těchto poloh. Zajímavou záložkou je záložka Settings, jež umožňuje nastavení vlastních limitních hodnot. [31] [32]

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. rozděluje pohyby do tří možných skupin, využívaných k hodnocení pracovních poloh a pohybů:

- **Přijatelné polohy** – polohy znázorněné **zelenou** barvou, indikující nízké či zanedbatelné riziko vzniku muskuloskeletálních poruch. Tyto polohy jsou tak chtěnými a nejsou pro pracovníka nijak rizikové.
- **Podmíněně přijatelné polohy** – polohy zvýrazněné **oranžově**, při nichž existuje určité riziko přetížení jednotlivých částí těla. Je tedy vhodné tyto polohy dále zkoumat a zavést vhodná opatření. Hygienický limit v podmíněně přijatelné pracovní poloze **nesmí**

v osmihodinové směně **přesáhnout 160 minut**. Zároveň nesmí být souvislá činnost prováděna v této poloze déle než 8 minut.

- **Nepříjatelné polohy** – krajně rizikové polohy. Tyto polohy jsou považovány za nepříjatelné, a to pro všechny typy pracovníků. Jsou nutné úpravy pracovních postupů pro odstranění těchto poloh. Nepříjatelné polohy jsou označeny **červeně**. U poloh nepříjatelných je **hygienický limit stanoven na 30 minut** v osmihodinové směně. Stejně tak jako u poloh podmíněně přijatelných, i zde nesmí být souvislá činnost vykonávána v nepříjatelné poloze delší než 8 minut. [32]

3.3 Využití virtuální reality k hodnocení pracovních poloh

Virtuální realita (VR) je přelomovou technologií posledního desetiletí, tato technologie uživatelům nabízí možnost vstoupit do interaktivního trojrozměrného prostředí, které může být založeno na reálném obrazu či vytvořeno zcela uměle. Hlavním cílem virtuálního rozhraní je co nejpřesněji napodobit vytvořené prostředí reálné skutečnosti tak, jak ho zachycují naše smysly. Využití virtuální reality je značně rozsáhlé. Nejvíce je virtuální realita využívána v herním a filmovém průmyslu, avšak pevné místo si vypracovala i v oblasti zdravotnictví. Mimo to je VR také využívána v architektuře, armádě, apod. Součástí propojení člověka s virtuální realitou jsou obvykle speciální brýle. Tyto brýle následně uživateli promítají stereoskopický obraz umožňující 3D zážitek. Zároveň je VR doplněna o senzory, které sledují pozici hlavy a korigují tak obraz v brýlích. Pro funkci interaktivního ovládání 3D světa jsou brýle doplněny o senzory do rukou. Pro detailnější zkoumání jednotlivých pohybů člověka ve VR jsou vhodným doplňkem tzv. MOCAP obleky (Motion Capture). [33]

MOCAP je nástrojem využívajícím se ve spojení s virtuální realitou, jehož cílem je zaznamenávání pohybů v reálném čase a následné převedení těchto dat do digitální podoby. MOCAP obleky jsou specifickým systémem, který umožňuje přesně zaznamenávat pohyby figuranta oblečeného do tohoto obleku. Takovéto obleky jsou ve vysoké míře využívány ve filmovém průmyslu a ve zdravotnictví. MOCAP obleky jsou vybaveny řadou senzorů, které je před samotným snímáním pohybu nejprve nutné zkalibrovat. [34]

K nahrávání a zaznamenávání pohybů je v souvislosti s VR a MOCAP oblekem nutné využívat speciální software umožňující takovéto propojení. Tím je například systém Axis Studio Motion Capture. Tento systém nabízí nahrávání a následné streamování pohybů ve 3D aplikacích třetích stran. [35]

3.4 Další používané ergonomické metody

V praxi je využívána celá řada ergonomických metod. Mezi velmi oblíbené metody patří například měření lokální svalové zátěže. Pro zvedání a manipulaci s břemeny je vytvořena metoda NIOSH. Příkladem metody využívající checklisty je analýza Nordic Questionnaire, hodnotící pracoviště na základě pracovníkových zdravotních komplikací z posledních let.

3.4.1 Měření lokální svalové zátěže (LSZ)

Měření lokální svalové zátěže (LSZ) je zátěž malých svalových skupin při výkonu práce končetinami. Přetěžování těchto svalů obvykle nastává u dlouhodobých stereotypních pracovních činností. Nejčastěji se LSZ vyskytují u montážních výrobních linek, kde se provádějí frekventované a opakující se operace, při kterých se zatěžují pouze malé svalové skupiny horních končetin, bez vynakládání velkých fyzických výkonů.

K měření LSZ se používají následující veličiny:

- **maximální svalová síla (F_{max})** představující maximální možné stažení svalu,
- **procento F_{max}**, při kterém jde o podíl síly, jež je potřeba k vykonání určitého výkonu z celkové svalové síly,
- **průměrné % F_{max}**, jež je průměrem celé směny z % F_{max} za určitý čas.

Pokud jsou vynakládány síly blízké se hodnotě maximální síly, lze vykonávat kontrakci svalu pouze po dobu několika sekund. Pokud jsou vynakládány síly mezi 15-20 % F_{max}, je možné udržet svalovou kontrakci v dlouhodobějším horizontu. Při hodnotě 10 % F_{max} může být činnost neomezeně dlouhá.

K samotnému měření LSZ lze využít následující metody:

- **měření tahů, tlaků pák a jiných rukojetí a hmotnosti břemen, pracovních pomůcek, držení nástrojů pomocí jednoduchých měřidel** (tenzometry, dynamometry, momentové klíče.) Tato metoda využívá k měření absolutní hodnoty vynakládané svalové síly. Následně jsou tyto výsledky porovnány s tabulkovými hodnotami nebo naměřenou hodnotou maximální svalové síly (F_{max}). Následně je tato hodnota korigována podle věku, pohlaví aj. Výslednou hodnotou je procento maximální svalové síly (% F_{max}),
- **metoda integrované elektromyografie** je nejpřesnější metodou na měření LSZ, jež spočívá na principu snímání elektrofyziologických potenciálů svalových skupin. Souběžně s měřením probíhá snímání podrobného časového snímku, který slouží ke stanovení celkového počtu pohybů.

Při hodnocení lokální svalové zátěže se zjišťují a posuzují vynaložené svalové síly, počty pohybů a pracovní polohy končetin, a to v závislosti na rozsahu statické a dynamické složky práce při práci v průměrné osmihodinové směně. [36]

3.4.2 Metodika počítání pohybů

Metodika počítání pohybů je důležitým krokem v průběhu měření lokální svalové zátěže. Z legislativního hlediska není přesně definováno, jak by měly být pohyby počítány. Tento problém je velmi diskutovaným tématem a do budoucna lze očekávat definování přesného postupu počítání pohybů. Jelikož přesná metodika pro počítání pohybů není definována, tak si každá laboratoř volí tuto metodiku sama. [37]

Počítanými pohyby jsou pohyby rukou a předloktí, jež souvisí s výkonem práce. Každý ze započítávaných pohybů je spojen s významnou změnou směru, rychlosti nebo tlaku. Souběžné pohyby rukou, loktů a zápěstí jsou započítávány jako součást jednoho pohybu. Výpočet počtu pohybů je využíván u činností s převahou jednostranné zátěže rukou nebo u prací, při nichž tvoří majoritní složku stereotypní pohyby, zatěžující stále stejné svalové skupiny. Do měření nejsou zahrnuty samostatné pohyby horních končetin v oblasti paží či ramene ani pohyby, pokud pracovní úkony nebyly zahrnuty do časového snímku průměrné směny. [37]

V rámci metodických operačních pokynů mohou být jako pohyb definovány například tyto činnosti:

- sáhnutí,
- přemístění,
- uchopení,
- přehmátnutí,
- tlačení,
- spojení,

- puštění,
- oddělení

Takto navržená sekvence je následně schválena při autorizaci. [37]

3.4.3 NIOSH Lifting Analysis

NIOSH Lifting Analysis, tedy analýza zdvihání břemen, je metodou používající se k hodnocení zátěže při symetrickém i manuálním zdvihání břemen. Na základě výchozí polohy váhy břemene, frekvence zdvihů za minutu, celkové doby práce, druhu uchopení břemene a koncové polohy při zvedání břemene je hodnocena přístupnost manipulace s břemeny.

Pro výpočet metody NIOSH jsou využívány vzorce:

Rovnice 3-1: Výpočet RWL [38]

$$RWL[kg] = LC * HM * VM * DM * AM * CM * FM$$

Rovnice 3-2: Výpočet LI [38]

$$LI = \frac{L[kg]}{RWL[kg]}$$

- LC = hmotnostní konstanta,
- HM = horizontální multiplikátor,
- VM = vertikální multiplikátor,
- DM = vzdálenostní multiplikátor (vzdálenost těžiště při zdvihání),
- AM = asymetrický multiplikátor (úhel natočení),
- CM = multiplikátor spojení (vazby mezi rukama a předmětem),
- FM = frekvenční multiplikátor (četnost zdvihů). [38]

Výstupy z analýzy:

- **RWL** (doporučený váhový limit) – maximální možná váha břemene, kterou mohou všichni zdraví pracovníci během své pracovní činnosti (8h) zvedat, bez zvýšeného rizika vzniku bolesti spodní části zad,
- **LI** (index zdvihu) – jedná se o porovnání skutečné váhy s váhou doporučenou. Čím větší je tento index, tím vyšší je riziko poškození.

Díky těmto výstupům tak metoda NIOSH výrazně napomáhá při rozhodování o váze břemen a výšce, do které budou břemena zvedána, natahování rukou od těla, vzdálenosti trasy, po kterých jsou břemena přenášena, úhlu ohybu pro břemena, natočení, frekvenci či doby zdvihu. [1]

4 Zvolené softwarové nástroje

Tato kapitola se věnuje softwarové podpoře, jež se využívá nejen při práci s ergonomickými analýzami. Blíže specifikovaná softwarová podpora je následně použita v empirické části této práce.

V dnešní době digitalizace je zcela zásadním nástrojem pro podporu odborníků na ergonomii vhodná softwarová podpora, umožňující simulace reálných pracovních procesů ve vysoké kvalitě. Na trhu s nástroji pro podporu ergonomie momentálně převažují systémy od společnosti **Delmia** a **Siemens**. Zatímco společnost Delmia vlastní software V5 Robotics, jež je založený na stejné architektuře jako CATIA, tak společnost Siemens vyvinula dva systémy, a to Tecnomatix Jack Human Simulation a Tecnomatix Process Simulate. Pro účely praktické části této práce bude využíváno systémů od společnosti Siemens. [39] [40]

4.1 Tecnomatix Jack Human Simulation

Tecnomatix Jack Human Simulation je nástrojem určeným k modelování a simulacím reálných pracovních situací za užití lidí, používaným zejména v oblasti ergonomie. Cílem, kvůli kterému byl tento systém navržen, je zlepšení ergonomické situace na zkoumaných pracovištích. [41]

Jde o relativně starý nástroj, který vznikl již v 80 letech 20. století. Na vývoji tohoto softwaru se podílela společnost NASA. Základní strukturu tohoto programu tvoří funkce importování CAD modelů z jiných programů, s nimiž pak v programu může být dále manipulováno. Klíčovou funkcí tohoto softwaru je vkládání modelu člověka. Tecnomatix Jack nabízí vytvoření postavy libovolných rozměrů a proporcí, na základě výšky, váhy a percentilu populace.

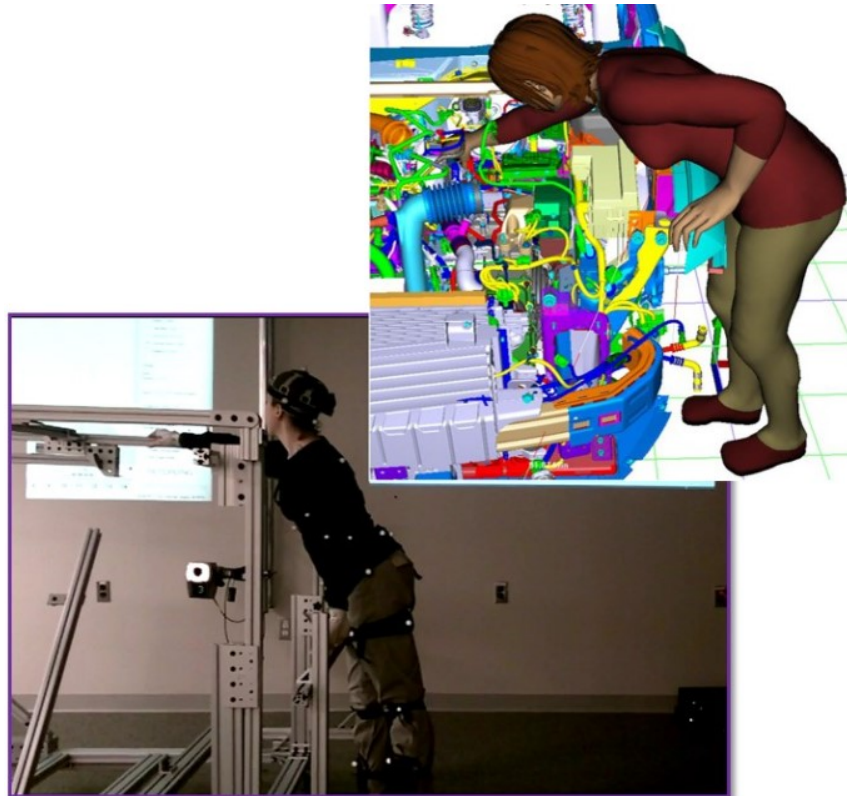
Polohování člověka je v Jackovi zajištěno celkem 135 stupni volnosti. Ty jsou obsaženy v celkem 69 segmentech a 68 kloubech. Pohyb s jednotlivými částmi těla je možný ve dvou nebo třech osách. Segmenty jsou v modelu obsaženy od hlavy až po kotníky, avšak nejvíce segmentů je obsaženo v páteři (17 segmentů) a v horních končetinách (16 segmentů). Zajímavou a velmi užitečnou funkcí, jež tento program obsahuje, je možnost pohybu pomocí inverzní kinematiky. Inverzní pohyb znamená významné ulehčení při polohování. Je tedy možné pozměněním polohy ruky, změnit polohu celého těla. Na druhé straně však Jack také nabízí možnost postupného polohování jednotlivých částí těla pomocí manuální kinematiky.

Program Tecnomatix Jack také nabízí funkci **simulací**, kde je možné reálně simulovat a optimalizovat pohyby pracovníka. Ve spojení s ergonomickými analýzami je možné detailně a přesně navrhovat lidské činnosti tak, aby v co nejmenší míře negativně ovlivňovaly zdraví pracovníka.

Velmi propracovaným nástrojem je tvorba **ergonomických analýz**. Tecnomatix Jack obsahuje všechny potřebné základní analýzy, jako jsou např: NIOSH, RULA nebo OWAS. Mimo tyto základní analýzy je však možné do Jacka přidat modul NV 361, týkající se platných nařízení a směrnic. [42]

Software Tecnomatix Jack přináší celou řadu **benefitů**, za ty nejvýraznější se považují:

- možnost posuzování lidského elementu ve všech fázích vývoje produktu,
- snadné odhalení lidských problémů již na začátku návrhu,
- optimalizování procesů tak, aby se zamezilo vzniku muskuloskeletálních onemocnění,
- širokou škálu ergonomických analýz,
- navrhování přesných lidských postav dle požadavků,
- příjemnou manipulaci s postavou,
- nástroj umožňující simulování reálných pracovních procesů. [43]



Obrázek 4.1: Zobrazení Tecnomatix Jack ve spojení s VR [44]

Na obrázku 4-1, složeném ze dvou částí, je znázorněna možnost propojení virtuální reality s programem Tecnomatix Jack. V horní části obrázku je zobrazení pracovnice sahající do modelu motoru automobilu. Ve spodní části se nachází žena, která tento pohyb simuluje ve virtuální realitě. Promítnutí polohy této ženy je vidět v horní části obrázku, kdy model člověka v programu Tecnomatix Jack kopíruje pohyby pracovnice v dolní části. [44]

4.2 Tecnomatix Process Simulate

Software Tecnomatix Process Simulate je jedinečným digitálním programem, sloužící k ověřování výrobních procesů ve 3D prostředí. Process Simulate je možné využívat již v raných fázích vývoje produktu, ale také během jeho celého životního cyklu. Nejvýraznějším přínosem tohoto softwaru je zrychlení spuštění výroby a zvýšení kvality výroby. Schopnost využívat 3D data produktů výrazně usnadňuje optimalizaci složitých výrobních procesů. Process Simulate je propojen s výrobní strukturou, což umožňuje opakovaně vytvářet, ověřovat a zlepšovat výrobní procesy. V rámci propracovaného 3D prostředí je možné realisticky napodobovat výrobní prostředí, včetně jednotlivých výrobních procesů a cyklů. [40]

Process Simulate umožňuje ověření různých částí výrobního procesu. Mezi jeho nejdůležitější funkce patří simulace montážních procesů, lidských operací, robotických operací a kontinuálních procesů, kterými jsou například laserové svařování nebo lepení.

Z hlediska této práce je nejdůležitějším nástrojem **Process Simulate Human**, jenž je využíván k ověřování návrhu daného pracoviště. Process Simulate Human poskytuje možnosti k analyzování a optimalizování pracovních pohybů, čímž zajišťuje ergonomicky bezpečný proces dle platných ergonomických nařízení. Součástí tohoto nástroje je široká nabídka nejrůznějších ergonomických metod, včetně modulu založeným na platných ergonomických omezeních.

Základní otázkou při vytváření pracoviště je proveditelnost montáže produktu. Právě na toto je využíván **Process Simulate Assembly**, který umožňuje určení nejúčinnější montážní sekvence, zajištění odstranění kolize a vypočtení nejkratší doby cyklu. Zajímavými funkcemi je provádění virtuálních testů dosahu, analýzy kolizí či simulování celého procesu montáže produktu. Další zajímavou sekcí je **Process Simulate Robotics**, jenž umožňuje uživatelům navrhovat a simulovat velice komplexní robotické procesy. Nástroje pro robotickou simulaci, jsou nejvíce využívány k navrhování bezkolizních drah robotů a optimalizaci doby jejich jednotlivých cyklů. [45]

Mezi přínosy softwaru Process Simulate patří:

- snížení nákladů díky včasnému odhalení a odstranění nedostatků vzniklých při návrhu produktu,
- optimalizování dob cyklů pomocí propracovaných simulací,
- zajištění ergonomicky vhodných procesů,
- minimalizování výrobního rizika, ověřením proveditelnosti montáže pomocí simulací,
- zvýšení kvality procesu simulováním reálných kroků v průběhu výroby produktu,
- ověření mechanických a elektrických výrobních procesů. [29]

5 Představení podniku a zkoumaného pracoviště

Tato kapitola je kapitolou rozdělující teoretickou a empirickou část práce. Součástí první kapitoly je představení společnosti **VALEO AUTOKLIMATIZACE, k.s.**, dále v textu uváděno zkráceně jako Valeo, jež byla vybrána pro zpracování empirické části. Dále bude představena zkoumaná výrobní linka, včetně bližšího popisu jednotlivých strojů a komponentů.

Hlavním předmětem zkoumání ergonomické analýzy je nový výrobní závod společnosti sídlící v Rakovníku. Společnost Valeo je považována za jednoho z klíčových hráčů v automobilovém průmyslu. Tento podnik je celosvětově rozšířenou společností s kořeny ve Francii, kdy v roce 1923 byla nedaleko Paříže založena první pobočka, jež se již od počátku věnovala výrobě komponentů do automobilů. V České republice se tato společnost pyšní více než pětadvacetiletou tradicí. V současné době má společnost Valeo již šest výrobních závodů na území České republiky. První výrobní závod v České republice se otevřel v roce 1995 v Rakovníku, následovalo otevření dalších závodů v Žebráku, Humpolci a Podbořanech. Mimo výrobní závody je v Praze také výzkumné centrum, kde jsou vyvíjeny senzory, softwary a systémy pro automatizovanou jízdu a parkování. Celkově v České republice společnost Valeo zaměstnává téměř 4000 lidí. V dnešní době se podnik zabývá problematikou výroby moderních komponentů do automobilů, a to prakticky pro všechny významné automobilové společnosti. Mezi nejvýznamnější produkty této společnosti se řadí kamery, přístrojové desky či vysokonapěťová topná tělesa pro elektromobily. [46] [47]



Obrázek 5.1: Logo společnosti Valeo [46]

Nedílnou součástí diplomové práce bylo provedení několika návštěv za účelem poznání podnikové kultury společnosti. Primárním záměrem návštěv byl sběr dat a veškerých potřebných materiálů pro praktické účely diplomové práce. V rámci těchto návštěv bylo blíže poznáno řešení ergonomie na různorodých linkách v podniku. Jednou z plánovaných návštěv bylo také účastnění se při tvorbě mockup modelu plánované linky, který bude popsán v kapitole 5.2.2. Nejprve bude však přiblížen postoj vybrané společnosti k ergonomii.

5.1 Postoj vybrané společnosti k ergonomii

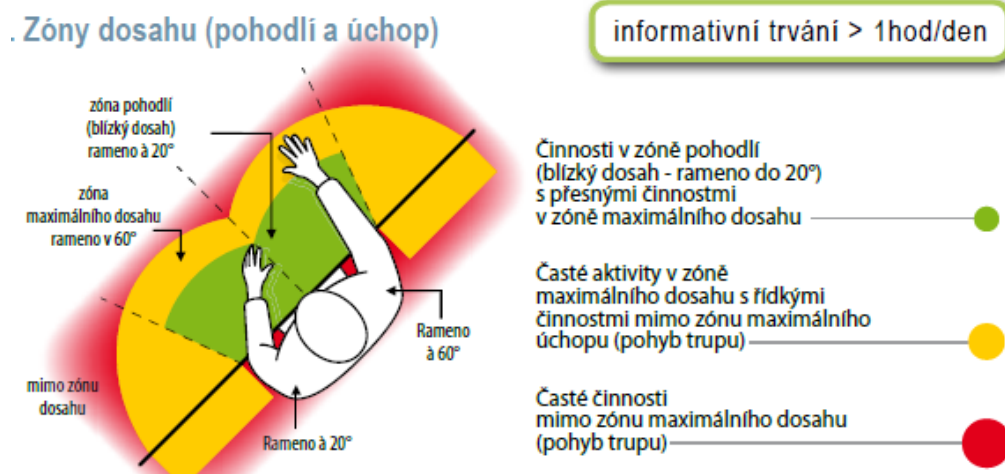
Společnost Valeo má otázku ergonomie a ergonomických standardů zabudovanou ve své podnikové kultuře. K tomuto má společnost vydané příručky, ve kterých jasně vymezují pohyby vhodné a nevhodné, a to pro práci vstojí a vsedě, dále při manipulaci s břemeny nebo pro činnosti s často se opakujícími pohyby. Jelikož je dalším předmětem zkoumání pracoviště, na kterém budou v budoucnu operátoři pracovat vstojí, v následující kapitole je blíže přiblížena existující příručka společnosti Valea, jejíž obsah byl zapůjčen pro tuto diplomovou práci.

Řešení navržené ergonomicky přizpůsobeného pracoviště je důležitou součástí při plánování projektu, a to již od jeho raných fází. Společnost Valeo dbá na co nejlepší přizpůsobení jednotlivých pracovišť operátorům tak, aby se při vykonávání pracovní činnosti v co nejnižší

míře dostávali do pozic symbolizující nepříjemné polohy. Za tímto účelem si společnost vytvořila své vlastní ergonomické standardy, na jejichž dodržování je v podniku apelováno.

Veškerá pracovní činnost týkající se zkoumané výrobní linky je prováděna vstoje. Příručka pro práci vstoje, již se pracovníci ve společnosti Valeo řídí, je rozdělena do sedmi částí, které jsou:

- **Náklon trupu**, pro nějž je ideálním pohybem práce s vertikální polohou trupu. Na druhé straně je limitní hodnotou náklon větší než 15° , v němž pracovník nesmí strávit více než 1 hodinu denně.
- **Rotace trupu**, která je považována za ideální, pokud je do 10° . V případě rotace ve více než 30° je limitní doba práce v této poloze je maximálně jedna hodina.
- **Náklon hlavy a krku** obsahuje dvě rizikové polohy, nimiž jsou náklon do záporných stupňů (záklon) a náklon do více než 40° . Náklon do 40° je považován společností za neideální, avšak práce v něm není pro operátora riziková.
- **Rotace hlavy a krku** do 10° není pro pracovníka nijak rizikovou, rotace mezi 40° – 70° není vhodná a při práci s takovou rotací se mohou vyskytnout bolesti krku a hlavy.
- **Pozice ramene** v úhlech vyšších než je 60° je jak sagitální, tak i frontální pozice pro operátora rizikovou a pracovník by v ní neměl přetrvat více než 1 hodinu ze směny. Naopak práce, kde je pozice ramene do 20° je považována za vhodnou.
- **Zóny dosahu** jsou velmi důležitým bodem pro tuto práci. Zóny dosahu jsou výrazně ovlivněny pozicí ramen, krku a zad. Tyto pozice jsou rozděleny do tří základních stupňů, kde zóna pohodlí, tedy zóna, ve které by pracovník měl vykonávat svou pracovní činnost po maximálně možnou dobu, je na obrázku 5-2 znázorněna zelenou barvou. Za maximální dosahovou zónu je považována zóna znázorněna žlutou barvou, která slouží pro méně často používané komponenty či nástroje. Za nepříjemnou zónou, tedy zónu mimo dosah pracovníka, je považována červená zóna, viz obrázek 5-2.



Obrázek 5.2: Ergonomické standardy pro zóny dosahu [48]

- **Názor operátora na jeho pozici** je zajímavou a velmi přínosnou částí standardů společnosti. Operátor sám hodnotí práci, jež je vykonávána a prohlašuje, zda je práce velmi dobře ergonomicky vykonatelná či zda je možné pracoviště nějak zdokonalit, nebo v krajním případě, zda je práce na pracovišti již z pohledu ergonomie nepřívětivá. Následuje pozorování jednotlivých pohybů pracovníka, které jsou poté vyhodnocovány do připravené tabulky.

Takovýmto podobným způsobem jsou rozděleny i další příručky. Mimo to se společnost Valeo řídí také legislativními nařízeními, týkajícími se oblastmi ergonomie. Předtím než je jakákoliv nově vznikající výrobní linka schválena, je také posuzována, zda je v souladu s výše uvedenými standardy a platnou legislativou. Za tímto účelem je pro každou nově vznikající linku prováděno ergonomické zhodnocení.

5.2 Současný stav pracoviště

Součástí této podkapitoly je přiblížení zkoumané výrobní linky, a to jak ve stavu, ve kterém se výrobní linka nachází v době psaní diplomové práce, tak i ve stavu plánovaném do budoucích let. V rámci představení zkoumané linky bude znázorněno plánované prostorové rozložení pracoviště, ale také podrobné rozebrání pracovní náplně u jednotlivých strojů, jenž jsou součástí této linky. V závěru této podkapitoly je vyobrazen mockup model plánované linky, který byl důležitou součástí při sestavování rozložení jednotlivých pracovišť.

Hlavním cílem této práce je řešení ergonomie u plánované výrobní linky a podílení se na návržení ergonomicky přívětivých pracovišť. Během psaní diplomové práce byla zkoumaná výrobní linka ve stavu plánování. Ve výrobní hale je lince přesně vyhrazena výrobní plocha. Na té podnik vytvořil reálný mockup model linky. Jednotlivé výrobní stroje prošly řádným výběrovým řízením a koncem roku 2022 byly všechny potřebné stroje objednány.

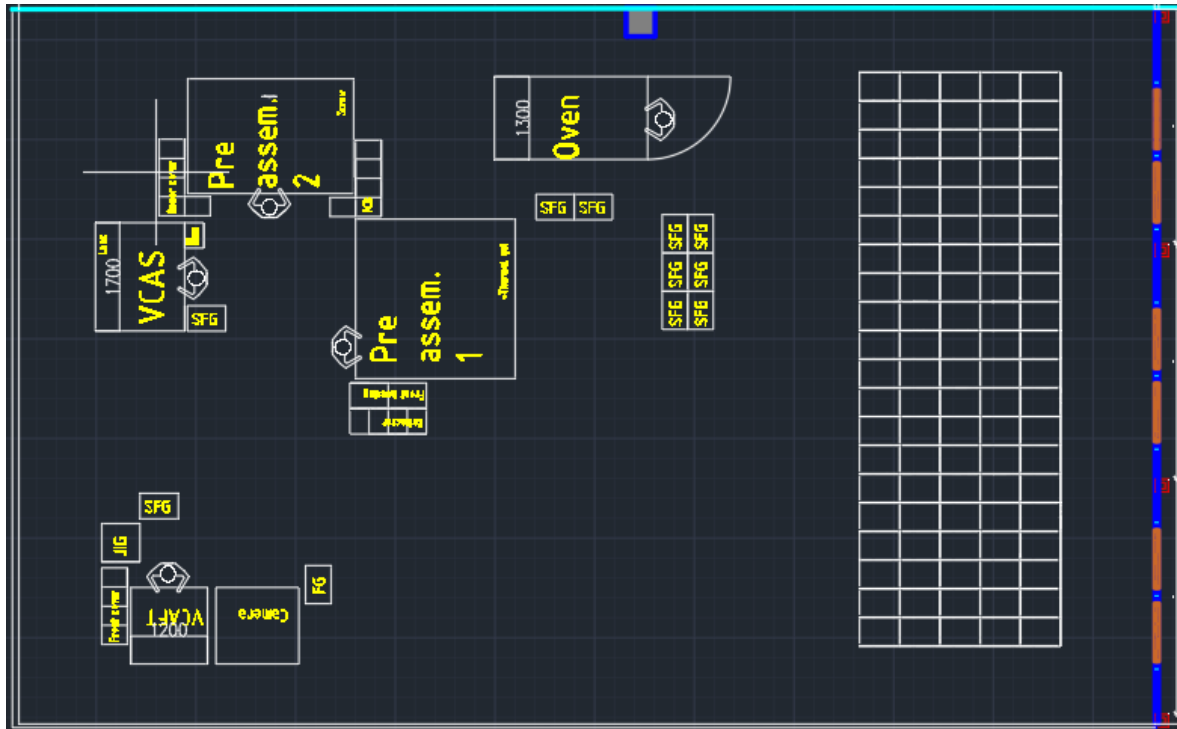
5.2.1 Představení zkoumané výrobní linky

Pro praktickou část diplomové práce byla vybrána výrobní linka specializující se na výrobu malých komponentů, a to konkrétně kamer do interiérů automobilů. Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, výrobní linka byla při vytváření této práce ve stavu plánování. Vyhrazená plocha pro výrobní linku má celkem 17,8 m na délku a 11,25 m na šířku. Na této ploše se plánuje v roce 2023 umístit jednu výrobní linku, avšak v roce 2026 by tato plocha měla sloužit až pro čtyři linky tohoto typu. Výrobní cykly některých strojů z této linky se liší, proto při následném rozšíření linky nebude nutné duplikovat celou linku, ale pouze vybrané části této linky.

Obrázek 5-3 zobrazuje plánované prostorové uspořádání v roce 2023, které zahrnuje rozestavění strojů a jednotlivých pracovišť, včetně používaných vedlejších komponentů a jeden velký sklad, jenž bude při rozjetí první linky umístěn vpravo od výrobní linky. Celá linka se skládá ze šesti samostatných strojů, kterými jsou:

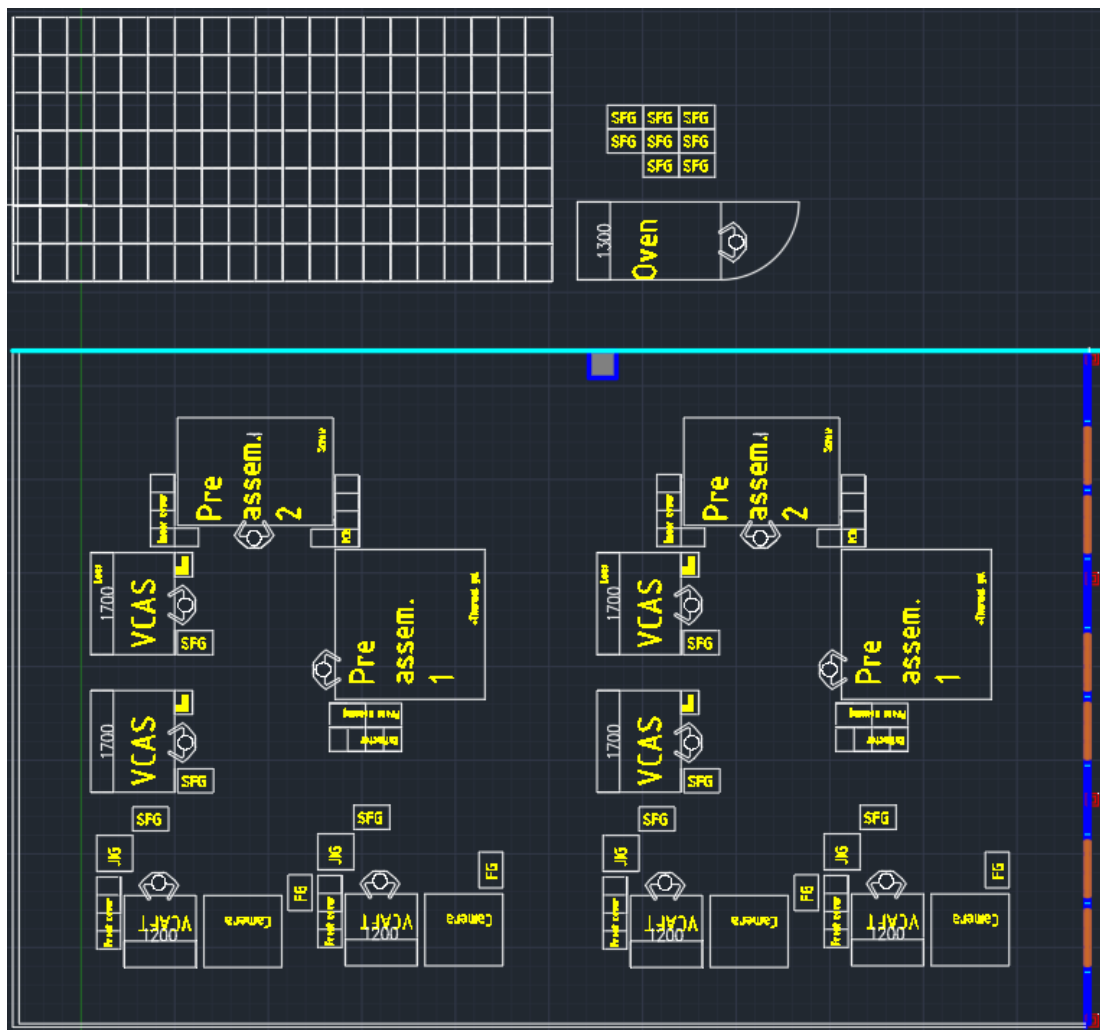
- **Pre-Assembly 1 (Před-Montáž 1),**
- **Pre-Assembly 2 (Před-Montáž 2),**
- **VCAS,**
- **Oven (Pec),**
- **VCAFT,**
- **Kamerová kontrola.**

Během celého výrobního procesu kamer budou operátoři manipulovat také s dalšími komponenty nutnými pro výrobu finálního výrobku. Mezi tyto komponenty patří čochka, zadní kryt, přední kryt, přední pouzdro, reflektor, šroubky, lepidlo a termální gel. Stroje, Před-Montáž 1, Před-Montáž 2 a VCAS by měl v prvotní fázi obsluhovat jeden pracovník, stejně tak u strojů VCAFT, pece a kamerové kontroly.



Obrázek 5.3: Plánované prostorové uspořádání 2023

Do roku 2026 je plánováno vytvoření čtyř těchto samostatných linek. Společnost Valeo mimo jiné plánuje také velké rozšíření výrobní haly, což nabídne další prostor i pro tuto linku. V následném rozšíření se tedy počítá s umístěním pece, u které je vypalovací cyklus výrazně delší, mimo linku. Zároveň by v nově postavené hale byl umístěn i mezisklad k peci a také velký sklad, jenž by zajišťoval zásobování ke všem čtyřem linkám na výrobu kamer. V případě duplikování linky je vzhledem k výrobním cyklům jednotlivých strojů nutné zajistit duplikování pracovišť VCAS, VCAFT a Kamerové kontroly. Zároveň z důvodu toho, že se jedná o výrobu, kde jsou společností nastaveny vysoké nároky na čistotu prostředí, není vyloučeno budoucí oddělení části výrobní linky, a to konkrétně strojů Před-Montáž 1, Před-Montáž 2 a VCAS, pomocí oddělené místnosti, která by vyhovovala standardům čistého prostředí.

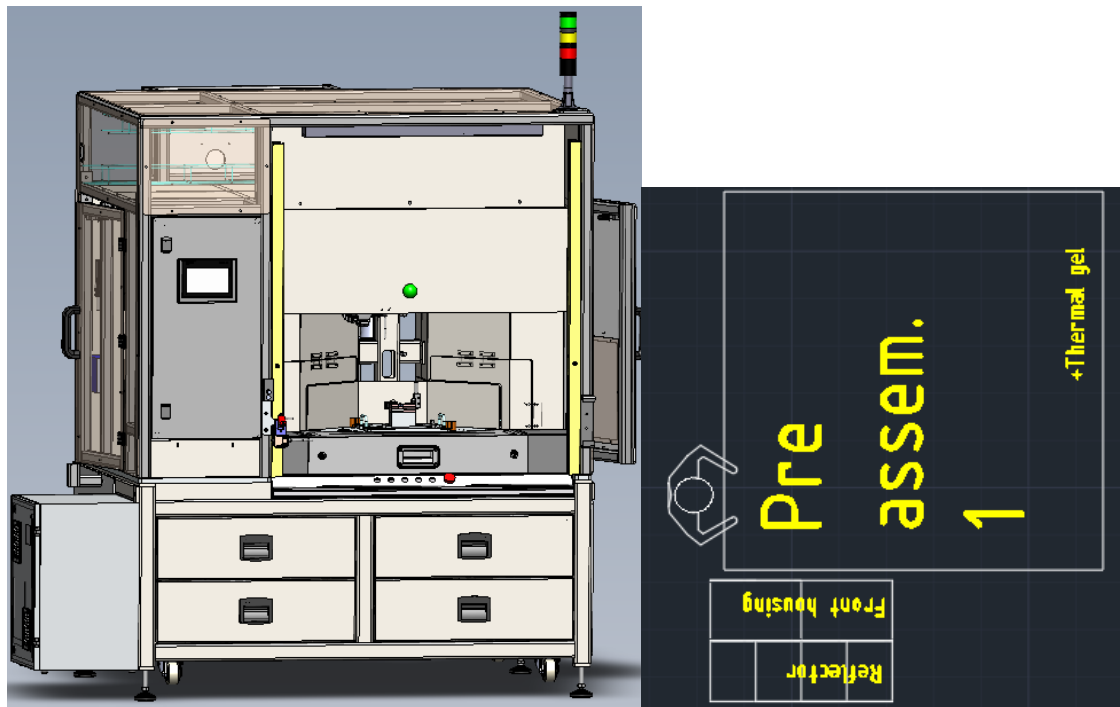


Obrázek 5.4: Plánované prostorové uspořádání 2026

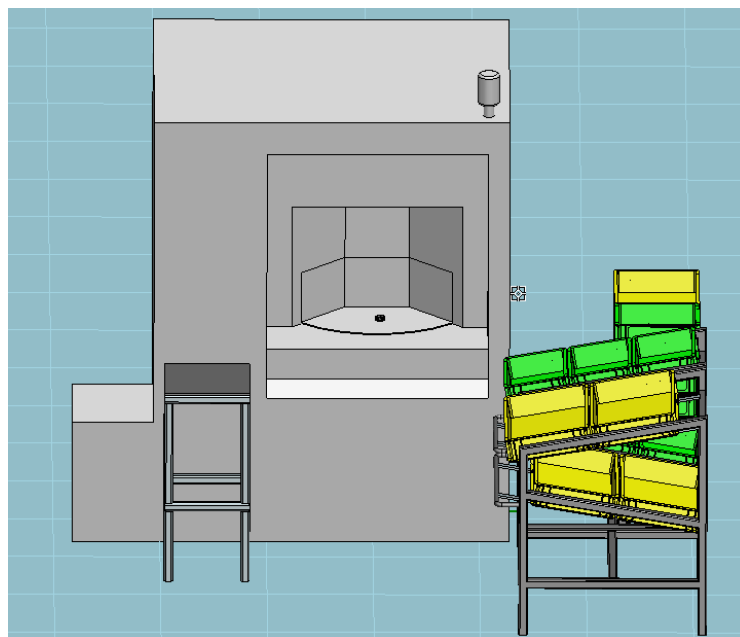
V následující části této kapitoly jsou jednotlivé stroje a jejich fungování blíže charakterizovány. Popis strojů je doplněn také o interní materiál společnosti Valeo v podobě obrázků modelů strojů a již navrženého layoutu. Dále popis strojů zahrnuje také vlastní zpracování 3D modelů strojů, které bylo nutné vytvořit pro další postup v rámci diplomové práce.

Prvním pracovištěm je **Před-Montáž 1**, kde jsou na výrobku vykonávány první operace. Jedná se o stroj o čtyřech pozicích s výrobním cyklem 15 s. Tento stroj je 210 cm dlouhý, 170 cm široký a 210 cm vysoký a jsou s ním spojeny vedlejší komponenty reflektor a přední pouzdro, které musí pracovník z regálů umístit na výrobní plochu na přesně stanovené pozice. Jedná se o větší a menší komponenty, jež budou umístěny v krabicích v regálu se zpětným systémem pro vracení prázdných krabic. Po proběhnutí výrobního cyklu pracovník vyjme komponent a umístí ho na odkládací plato po jeho levé ruce, odkud ho následně po nasčítání určitého počtu kusů převezme pracovník obsluhující **Před-Montáž 2**.

Na obrázku 5-5 je znázorněna podoba stroje Před-Montáž 1. Napravo je pak zachyceno prvotní plánované prostorové uspořádání tohoto stroje a na obrázku 5-6 je k tomuto stroji vytvořen 3D model s regály, s kterým bude v této práci dále pracováno.

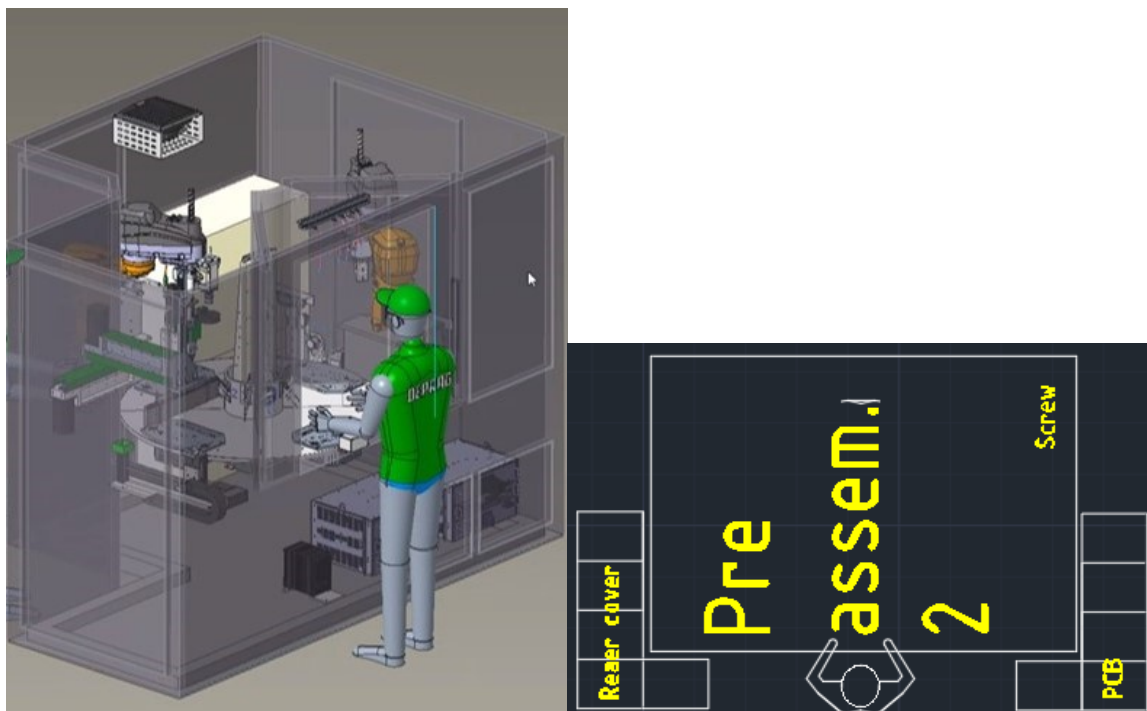


Obrázek 5.5: Pracoviště Před-Montáž 1

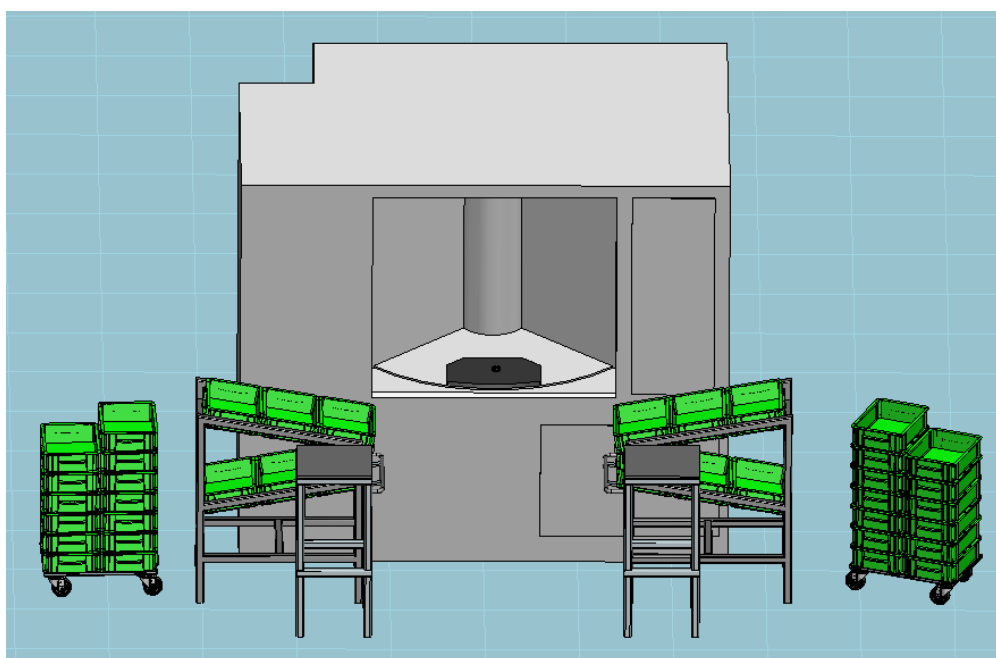


Obrázek 5.6: 3D model pracoviště Před-Montáž 1

Následujícím pracovištěm v pořadí je **Před-Montáž 2**. Rozměry tohoto pracoviště jsou 260 cm x 180 cm x 220 cm. Výrobní cyklus stroje na tomto pracovišti je 15 s a stroj obsahuje čtyři výrobní pozice. Pracovník na tomto pracovišti bude manipulovat s předpřipravenými kusy z Před-Montáže 1, mimo to však bude používat další komponenty, kterými jsou zadní kryt, PCB a šrouby. Tyto vedlejší komponenty budou umístěny po stranách stroje na předurčených regálech. Operátor na tomto pracovišti nejprve uchopí předpřipravenou kameru, tu umístí na výrobní plochu, následně vezme vedlejší komponenty a ty umístí na výrobní plochu na dané místo. Po ukončení celého cyklu následně pracovník vyjme výrobek a umístí ho na odkládací místo.



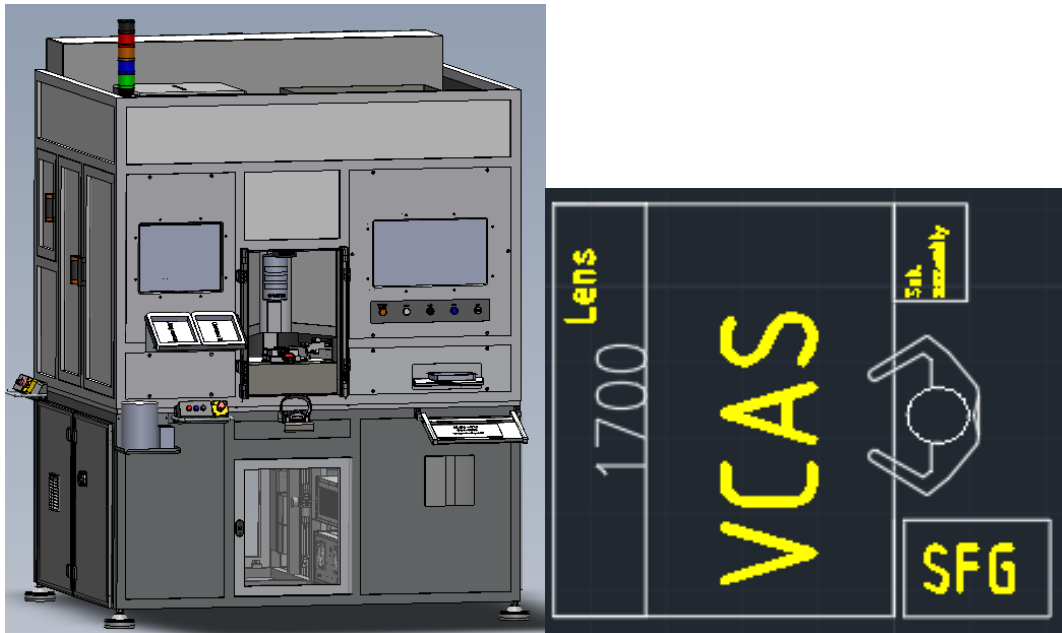
Obrázek 5.7: Pracoviště Před-Montáž 2



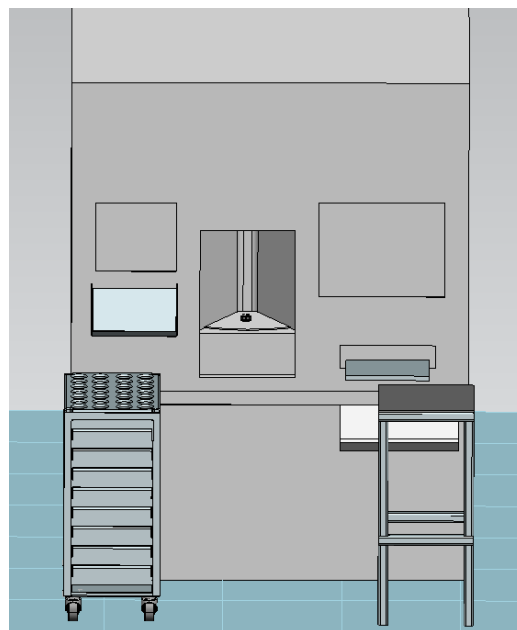
Obrázek 5.8: 3D model pracoviště Před-Montáž 2

Na obrázku 5-7 je vlevo znázorněn vzhled stroje Před-Montáž 2 a vpravo jeho prostorové uspořádání. Oproti plánovanému rozestavení strojů zde přibyly dvě pozice na odkládání výrobků před a po cyklem ve stroji.

Dále bude produkt pokračovat na pracoviště s názvem VCAS, kde bude na kameru připevněna čočka. Cyklus tohoto pracoviště je 30 s., proto při plánovaném duplikování linky, bude muset finální linka obsahovat dvě pracoviště tohoto typu. Hlavní činností operátora na pracovišti VCAS bude připravení kamerky do přesné výrobní pozice a umístění čoček na dané místo. Rozměry tohoto stroje jsou 170 cm x 140 cm x 230 cm. Po vyndání produktu ho pracovník následně umístí na pohyblivý vozík, odkud následně kamery poputují do meziskladu k peci.



Obrázek 5.9: VCAS



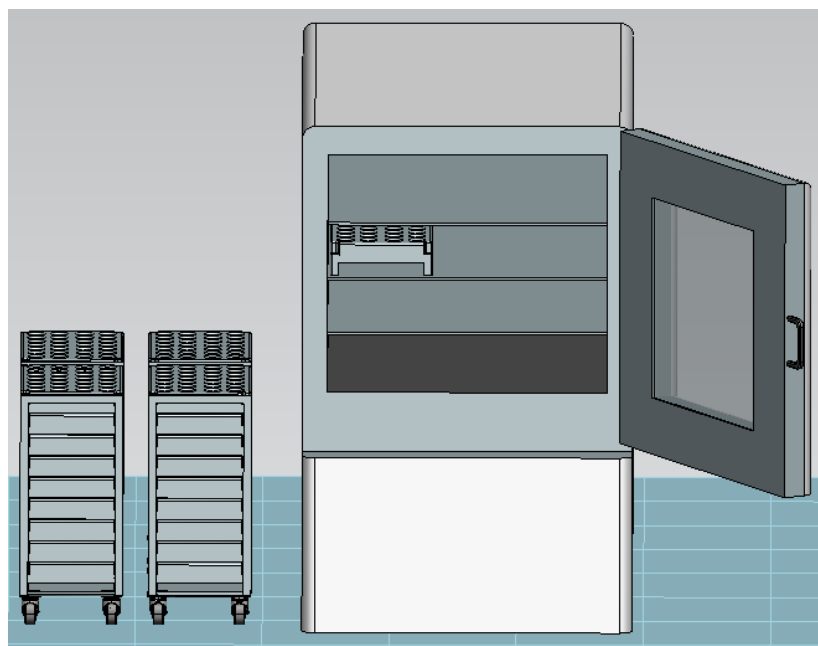
Obrázek 5.10: 3D model VCAS

Obrázek 5-9 a obrázek 5-10 jsou opět znázorněním reálné podoby strojů, prostorového uspořádání a zpracovaného 3D modelu pro stroj VCAS.

Následnou operací bude vypálení kamery na pracovišti **Pece**. Rozměry pece jsou 246 cm x 141 cm x 187 cm. Umístění pece je plánováno ve větší vzdálenosti od výrobní linky. Vypalovací cyklus pece je určen na 4 hodiny, proto bude pro všechny čtyři plánované linky v roce 2026 stačit vybudovat pouze jednu pec. Vzhledem k dlouhému vypalovacímu cyklu je nutné zajistit odkládací místo pro kumulující se výrobky, a proto bude v blízkosti pece zbudován tzv. mezisklad. Po vypálení výrobků budou produkty pokračovat na další pracoviště s názvem VCAFT. Vzhled pece, layout a 3D model jsou na obrázku 5-11 a obrázku 5-12.

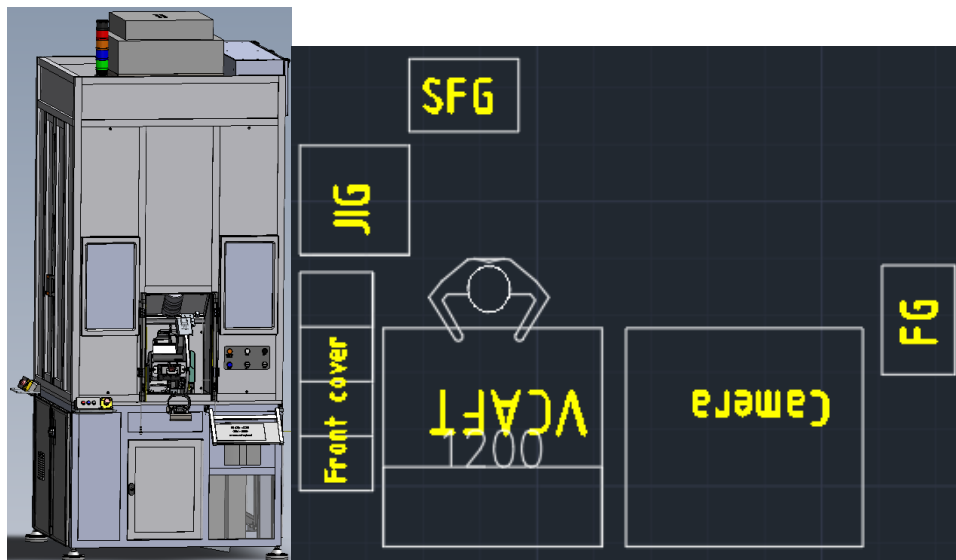


Obrázek 5.11: Pec

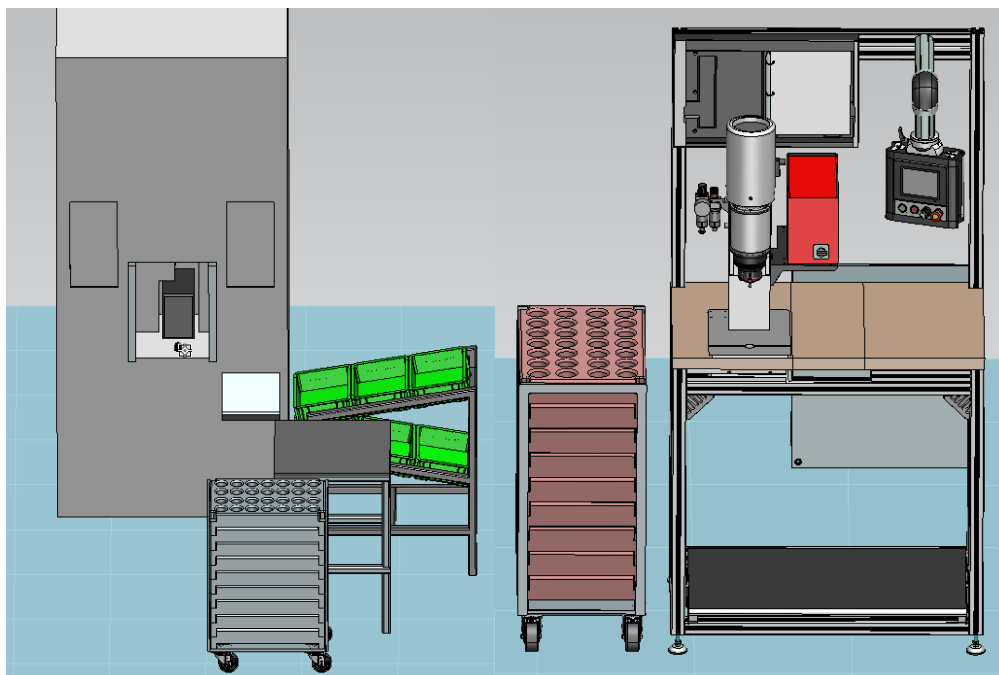


Obrázek 5.12: 3D model pece

Po pracovišti s pecí následuje pracoviště **VCAFT**, jež je složeno ze stroje o rozměrech 120 cm x 120 cm x 300 cm a z regálu určeném na malé krabice. Pracovní náplní operátora na tomto pracovišti je umístění vypálené kamerky a předního krytu, který bude na kamerku přidělán, do pozice na stroji a jeho následné vyjmutí. Cyklus stroje VCAFT je 30 s., tudíž při rozšiřování linek budou tyto stroje muset být duplikovány. V návaznosti na toto pracoviště stejný pracovník bude hotové výrobky umisťovat na stanoviště s názvem **Kamerová kontrola**. Na tomto místě budou výsledné výrobky zkontrolovány a následně umístěny do regálu na hotové výrobky. Pro toto pracoviště sloužícím ke kontrole bude vymezena plocha o rozměrech 120 cm x 130 cm. Stejně jako u VCAFT i pracoviště kontroly bude muset být při rozšiřování linek být duplikováno.

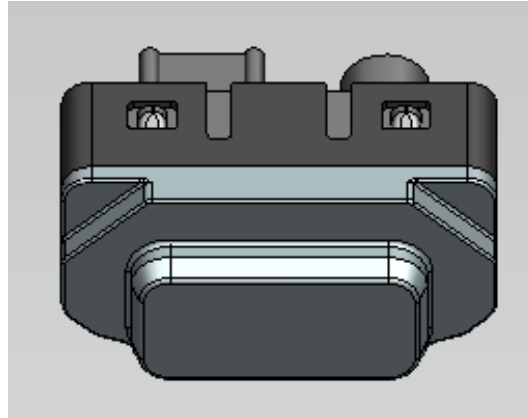


Obrázek 5.13: VCAFT a kamerová kontrola



Obrázek 5.14: 3D model VCAFT a kamerové kontroly

Obrázek 5-13 zahrnuje pracoviště VCAFT a podobu pracoviště pro kamerovou kontrolu, včetně prostorového uspořádání. Na obrázku 5-14 se nachází 3D model těchto dvou pracovišť a na obrázku 5-15 pak 3D model podoby finálního výrobku, tedy kamerky, která je hlavním produktem celé výše uvedené výrobní linky. Tato kamerka se skládá ze tří hlavních komponentů, jimiž jsou přední kryt, zadní kryt a tělo. Mimo to kamerka obsahuje řadu dalších komponentů, které jsou umístěny vně pouzdra jako například čočka, reflektor a šroubky.



Obrázek 5.15: 3D model výsledného produktu

5.2.2 Mockup model linky

Při procesu plánování je důležité ověřit správnost navrhovaného řešení. Ve společnosti Valeo se k názornějšímu ověření využívá standardně tzv. mockup model linky. Jedná se o sestavení plánované linky pomocí dostupných prostředků s dbáním na co nejvýraznější přiblížení k reálné lince. K sestavení mockup modelu plánované linky byly využity především plastové a papírové krabice. K sestavování mockup modelu linky byl předem vytvořen realizační tým, který se při vytváření modelu řídil předběžným plánovaným prostorovým uspořádáním linky. K zajištění co nejvyšší užitečnosti navrhovaného modelu byl přizván operátor, který bude v budoucnu linku obsluhovat. Součástí mockup modelu bylo mimo samotné sestavení plánovaných strojů také vyjasnění rozmístění jednotlivých regálů.

Hlavním cílem sestavení mockup je uvedení plánované linky z 2D layoutu do 3D reálného model pro odhalení chyb a nedostatků, které se mohly při vytváření 2D modelu vyskytnout. Velkým přínosem bylo přizvání operátora se zkušenostmi z jiných linek. Během pozorování byly odhaleny drobné nedostatky, jež by bez jeho přítomnosti nejspíše ušly pozornosti. Díky široké diskusi byly vyjasněny body jako například přemísťování produktů z jednotlivých strojů mezi pracovišti, které budou ukládány do plat nebo vyjasnění pozice vozíků okolo pracovišť. Přínosem mockup modelu bylo odhalení drobných nedostatků také v layoutu (větší velikost strojů, drobné upravení umístění stroje).



Obrázek 5.16: Mockup model linky 1

Na obrázku 5.16 je vyobrazen náhled mockup modelu části linky obsahujícím pracoviště Před-Montáž 1, Před-Montáž 2 a VCAS. U strojů Před-Montáž 1 a Před-Montáž 2 byla vytvořena provizorní pracovní okna, ve kterých bude operátor manipulovat. Dále je na obrázku možné vidět výše zmíněné odkládací plochy na výrobky z jednotlivých strojů, které byly předmětem následné diskuse.



Obrázek 5.17: Mockup model linky 2

Obrázek 5.17 zobrazuje následující dvě pracoviště obsahující stroje VCAFT a Kamerovou kontrolu. Mezi pracovišti VCAS a VCAFT bude umístěno pracoviště pece, které však díky umístění dále od linky nebylo součástí vytváření mockup modelu.

6 Ergonomické hodnocení pracovních poloh

Kapitola týkající se aplikování ergonomických analýz na jednotlivé pozice do nichž se budou operátoři při vykonávání pracovní činnosti dostávat, je považována za stěžejní kapitolu diplomové práce. Součástí této kapitoly je na úvod zdůvodnění výběru použitých ergonomických metod a také vysvětlení používaných 3D postav ve vybrané softwarové podpoře. Hlavní část šesté kapitoly je věnována samotným ergonomickým metodám. V závěru této kapitoly se nachází vyhodnocení provedených ergonomických analýz.

Zdůvodnění výběru použitých ergonomických metod

Softwarová podpora ergonomie nabízí celou řadu ergonomických analýz a metod. Programem jenž bude využit k aplikaci ergonomických metod byla vybrána softwarová podpora Tecnomatix Jack od společnosti Siemens a to zejména z důvodu snazšího formování 3D postav do zvolených rizikových pozic. Zvolenými ergonomickými metodami, které jsou v dalším postupu práce využity jsou metoda RULA a metoda NV 361.

K aplikaci ergonomických metod byla zvolena softwarová podpora v podobě programů Tecnomatix Jack a Process Simulate, v první z uvedených programů bude sloužit k vypracování ergonomických metod. První řešenou analýzou je analýza RULA. Tato analýza hodnotí operátora v poloze, v níž se zrovna nachází. Výstupem této analýzy je RULA skóre. metoda je v práci využita, jelikož komplexně hodnotí polohu horní části těla. Jelikož je při manipulaci na pracovištích poloha nohou spíše statická a není považována za rizikovou a fyzicky náročnou, není využita metoda REBA avšak metoda RULA, která se zabývá hodnocením poloh pro horní polovinu těla. Metoda NV 361.

e důležitým nástrojem pro řadu pracovníků orientující se v oblasti ergonomie. Tato metoda kopíruje nařízení vlády č. 361/2007 Sb. a ve spojení se SW Tecnomatix Jack se využívá k hodnocení poloh pro jednotlivé části těla. Důvodem zvolení této metody je plnění platných legislativních nařízení, které by měly být pro každý strojírenský podnik prioritou. Dalším důvodem zvolení této metody je možnost nastavení vlastních limitních hodnot. V kapitole 5.1 byly blíže přiblíženy ergonomické standardy společnosti Valeo pro práci ve stoje, jejichž limitní hodnoty budou přeneseny do metody NV 361. Rozdíly v jednotlivých položkách mezi NV č. 361/2007 Sb. a mezi podnikovými standardy budou následně více popsány.

Používané 3D postavy v SW podpoře

Pro pracovní činnost na jednotlivých pozicích linky je plánováno využívat jako operátory převážně ženy. Výjimkou bude pracoviště Pece, kde pro zakládání a vykládání výrobků bude využíván k operacím muž. V profesi skladníků ve firmě tvoří majoritní podíl pracovníků muži, proto i pro zavážení materiálu a odvážení prázdných krabic budou využiti pracovníci mužského pohlaví. Pro účely ergonomických analýz budou využity u každé pozice vždy operátoři 5. a 95. percentilu, a to jak pro ženy, tak i pro muže. Jednotlivé typy postav jsou přiblíženy v tabulce 6-1.

Tabulka 6-1: Využívané percentily

	Výška (cm)		Hmotnost (kg)	
	5. Percentil	95. Percentil	5. Percentil	95. Percentil
Ženy	153	174	51	79
Muži	165	187	63	101

6.1 Analýza RULA

Tato kapitola obsahuje hodnocení pracovních poloh pomocí analýzy RULA, a to u pěti pracovišť na nichž bude vždy provedena jedna analýza RULA, kromě čtvrtého pracoviště, kde budou provedeny analýzy pro dvě pozice. Celkem tak bude provedena analýza RULA u šesti různých pohybů kopírujících pracovní polohy. Pracovní náplň operátorů se v mnoha bodech v různých částech linky opakuje. U opakujících se činností bude provedena analýza RULA pro nejrizikovější polohu horních končetin operátorů. Před aplikováním samotné analýzy je nutné nastavit základní parametry pracovní činnosti, jako například náročnost namáhání, hmotnost manipulovaných předmětů a pozici nohou při vykonávané činnosti, viz obrázek 6.1. Pro každou analýzu bylo zvoleno vhodné základní nastavení závislé na typu vykonávané operace.

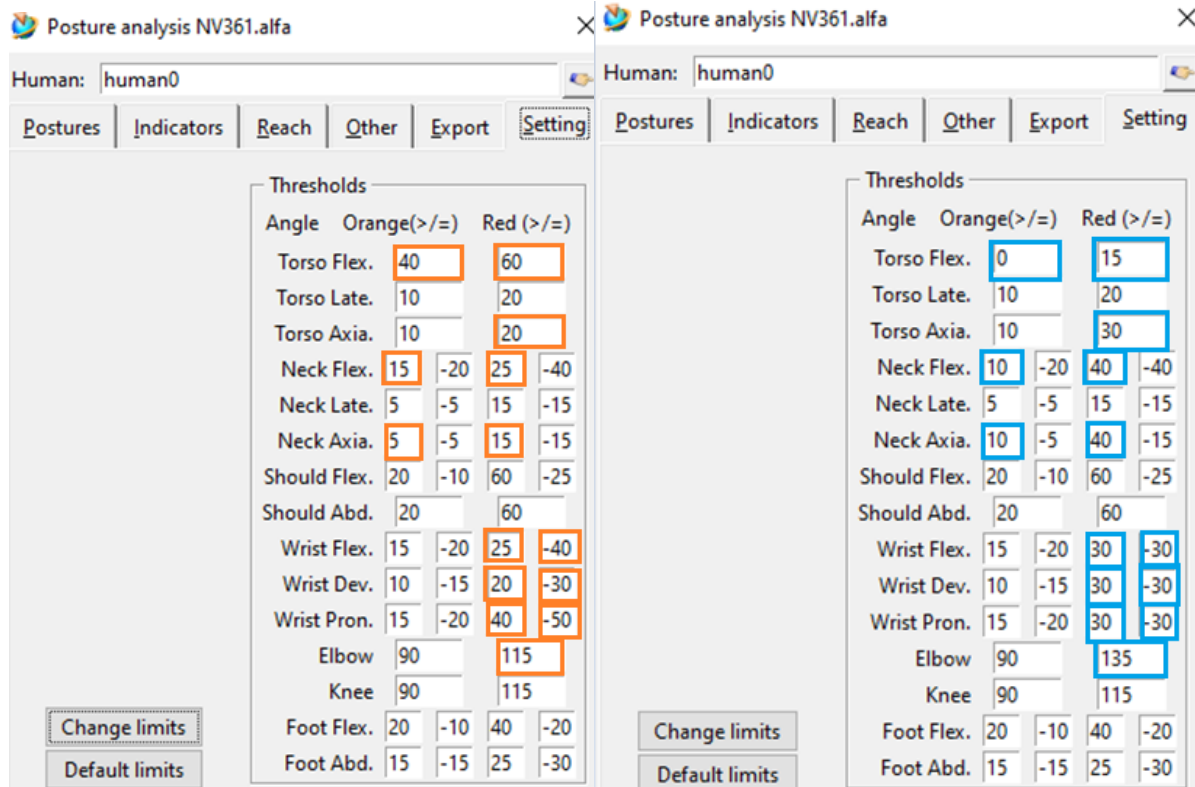
The screenshot shows the 'Rapid Upper Limb Assessment (RULA)' software interface. It has three tabs: 'Task Entry', 'Reports', and 'Analysis Summary'. The 'Task Entry' tab is active. The 'Human' dropdown menu is set to 'human'. Below this, there are two main sections: 'Body Group A Loading (Arm, Wrist)' and 'Body Group B Loading (Neck, Trunk)'. Each section has two columns of radio button options: 'Muscle Use' and 'Forces and Loads'. In the 'Body Group A' section, 'Normal, no extreme use' is selected under 'Muscle Use', and '< 2 kg intermittent load' is selected under 'Forces and Loads'. There is also an 'Arm Support' checkbox which is unchecked. The 'Body Group B' section has 'Normal, no extreme use' selected under 'Muscle Use' and '< 2 kg intermittent load' selected under 'Forces and Loads'. There are also three radio button options for 'Legs and Feet' between the two main sections: 'Seated, Legs and feet well supported. Weight even.', 'Standing, weight even. Room for weight changes.', and 'Legs/feet not supported. Weight distribution uneven.' The 'Standing' option is selected.

Obrázek 6.1: Vstupní parametry RULA

6.2 Metoda NV 361

Druhou metodou, jež byla využita k provedení ergonomických analýz reálných pozic, je metoda NV 361. Jedná se o modul, který je možné implementovat do programu Tecnomatix Jack. Tento modul promítá do definovaných pozic 3D modelů řadu legislativních předpisů, které jsou součástí nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Modul NV 361 tak přesně stanovuje limitní hodnoty pohybů pro jednotlivé části těla. Na obrázku 6.2 vlevo je znázorněno základní nastavení metody NV 361 dle platné legislativy České republiky. Tělo je zde rozděleno do sedmi základních částí, kterými jsou trup, krk, ramena, zápěstí, lokty, kolena a chodidla. U všech těchto částí je možné nastavit vlastní limitní hodnoty pro jednotlivé položky. Na obrázku 6.2 vpravo byly do modulu NV 361 nastaveny hodnoty odpovídající standardům společnosti Valeo. Společnost Valeo obecně vychází z ergonomických nařízení vlády, které obohacuje o své podnikové standardy. Hodnoty dohledatelné v podnikových ergonomických standardech jsou vyznačeny vpravo na obrázku 6.2 modře. U pohybů, které nejsou ve standardech uvedeny byly vyplněny základní hodnoty. U většiny pohybů je však možné pozorovat drobné navýšení úhlů, proto bude dále vycházeno z platných údajů o maximálních povolených úhlech stanovených dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Metoda NV 361 bude využita u rizikových poloh na všech pracovištích ze zkoumané linky. U výsledné interpretace výsledků jsou jednotlivé části těla u pohybů rozděleny do třech kategorií, a to na pohyby

přijatelné (označené zelenou barvou), polohy podmíněně přijatelné (označené žlutou barvou) a polohy nepřijatelné (označené červenou barvou).



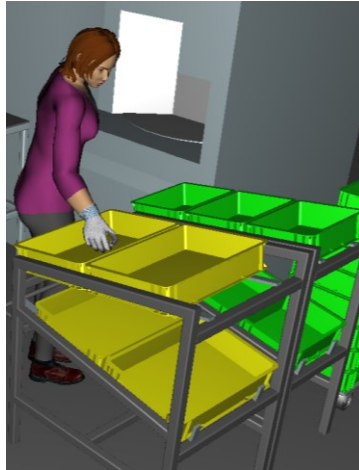
Obrázek 6.2: Vstupní parametry metody NV 361

6.3 Realizace metod

Tato podkapitola obsahuje již realizaci vybraných ergonomických metod, ke které bylo vybráno autorem práce 6 pozic, které se na daných pracovištích budou provádět a opakovat. V rámci pracovní činnosti na daném stroji či pracovišti pak byla vybrána taková pozice, která je co se týče rozboru z pohledu problematiky ergonomie nejzajímavější. Pro přehlednost práce obsahuje každá pozice nejprve popis prováděné činnosti, doplněné o vlastní zpracování 3D modelu dané pozice. Poté vždy následují výstupy z provedené analýzy RULA, včetně interpretace výsledků z programu Tecnomatix Jack a dále výstupy metody NV 361.

6.3.1 Pozice 1 - Vyjmutí předního krytu kamerky z krabice

První zkoumanou pozicí, a také úvodní operací celého výrobního cyklu, je úchop předního pouzdra kamerky z krabice. Jedná se o pozici, která se bude provádět na pracovišti, kterým je Před-Montáž 1. Při této pozici operátor uchopí přední pouzdro a následně jej umístí do přesně stanovené pozice na výrobní plochu, viz obrázek 6.3. Během pohybu může pracovník zároveň uchopit druhý drobný komponent tzv. reflektor. Samotný pohyb není nijak výrazně fyzicky náročný a trvá pouze jednu sekundu. Cyklus stroje Před-Montáž 1 je 15 s. a tento pohyb je opakován 1900 krát za směnu. Úchop drobného komponentu je častou pozicí tohoto výrobního cyklu, vždy se liší typ předmětu, který operátor uchopí. Velmi podobné pozice úchopů z krabic se také vyskytují na pracovištích Před-Montáž 2 a VCAFT.



Obrázek 6.3: 3D model pozice 1

Výstupy analýzy RULA

Analýza byla provedena pro dva různé percentily lidské populace. Výsledky analýzy RULA pro 5. percentil populace jsou znázorněny na obrázku 6.4. Při pohybu dochází k mírnému náklonu hlavy a krku, za účelem dobré viditelnosti při úchopu komponentu. To zapříčinilo výsledek v oblasti krku 3. Kritickým bodem samotného pohybu se jeví způsob úchopu drobného předmětu. Celkové RULA skóre je hodnoceno stupněm 3. Toto skóre spadá do druhé skupiny pohybů, které nejsou závažné, nicméně při vysoké četnosti opakování mohou způsobovat bolesti či jiné zdravotní problémy. U tohoto případu však míra opakování není tak vysoká, aby měl tento pohyb negativní dopad na zdraví operátora.

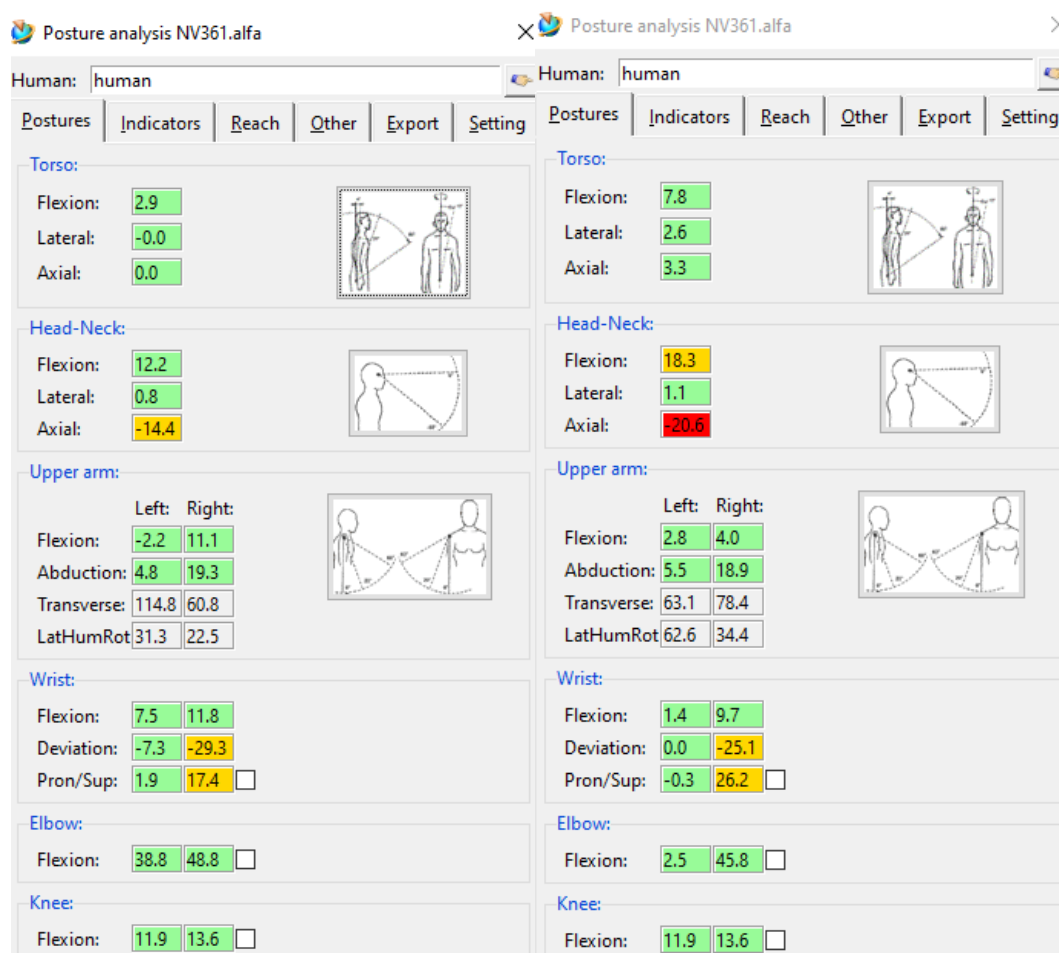
Na obrázku 6.4 umístěném vpravo je uveden výstup z analýzy RULA pro operátora představující 95. percentil. Stejného výsledného RULA skóre bylo dosaženo u stejné pozice také u pracovníka představující 5. percentil populace. Výsledné RULA skóre pro horní končetiny a zápěstí je hodnoceno stupněm 4, což je možné odůvodnit mírným natažením paže a ohnutím zápěstí pro ideální možnost úchopu komponentu.

Job Title	Job Number	Analyst	Date	Job Title	Job Number	Analyst	Date
uchop1				uchop1_95			
Body Group A Posture Rating				Body Group A Posture Rating			
Upper arm: 2				Upper arm: 2			
Lower arm: 3				Lower arm: 3			
Wrist: 2				Wrist: 2			
Wrist Twist: 1				Wrist Twist: 1			
Total: 4				Total: 4			
Body Group B Posture Rating				Body Group B Posture Rating			
Neck: 3				Neck: 3			
Trunk: 1				Trunk: 1			
Total: 3				Total: 3			
Muscle Use: Normal, no extreme use				Muscle Use: Normal, no extreme use			
Force/Load: < 2 kg intermittent load				Force/Load: < 2 kg intermittent load			
Arms: Not supported				Arms: Not supported			
Legs and Feet Rating				Legs and Feet Rating			
Standing, weight even. Room for weight changes.				Standing, weight even. Room for weight changes.			
Grand Score: 3				Grand Score: 3			
Action: Further investigation needed. Changes may be required.				Action: Further investigation needed. Changes may be required.			

Obrázek 6.4: RULA skóre první pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

Výstupy metody NV 361

Výstupy metody NV 361 jsou pro první pozici znázorněny na obrázku 6.5. Na tomto obrázku představují hodnoty vlevo výsledky pro operátora 5. percentilu, kde je možné sledovat mírně zvýšených hodnot v oblasti krku a zápěstí. Vyšší hodnoty jsou způsobeny mírným náklonem krku a natažením ruky pro uchopovaný objekt. Tyto hodnoty pro 5. percentil však pouze těsně převyšují hodnoty zcela přípustné, a proto nejsou pro pracovníka ohrožující. Na obrázku 6.5 vpravo jsou výsledné hodnoty výstupu z metody NV 361 pro operátory 95. percentilu, u nichž se v jednom případě vyskytuje hodnota nepřípustná. Tu je možné spatřit u hodnot pro axiální ohyb hlavy a krku, který je zapříčiněn výrazným výškovým rozdílem hlavy od uchopovaného předmětu. Ostatní položky pro pracovníky 95. percentilu nevykazují výrazně zvýšených hodnot.

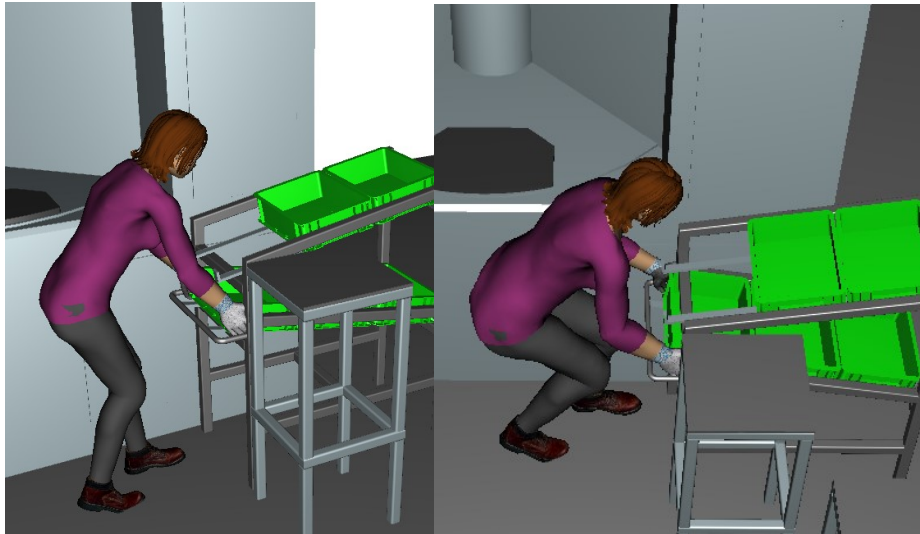


Obrázek 6.5: Metoda NV 361 první pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

6.3.2 Pozice 2 - Založení prázdné krabice do regálu

Druhou pozicí, na kterou byla aplikována metoda RULA a NV 361, je vložení prázdné krabice do zpětného regálu. Tento pohyb bude na výrobní lince velmi častý a bude se provádět na pracovišti Před-Montáž 2, Před-Montáž 1 a VCAFT. Pro analýzu RULA a metodu NV 361 byla vybrána pozice na pracovišti Před-Montáž 2. Operátor během tohoto pohybu uchopí krabici o rozměrech 30x20x12 cm a položí jí na spodní vratnou polici. Celý tento pohyb je opakován během jedné směny přibližně 32 krát.

Tato pozice nabízí celou řadu způsobů úchopů, jelikož je krabice lehká a prázdná, a je tak možné ji uchopit i jednou rukou. Pro účely diplomové práce byl zvolen úchop obouručný, viz obrázek 6.6. Tento obrázek znázorňuje vytvořený 3D model pozice 2.



Obrázek 6.6: 3D model pozice 2

Výstupy analýzy RULA

Výstupy analýzy RULA pro 5. percentil jsou uvedeny na obrázku 6.7. Z výsledků pro operátora představujícího 5. percentil populace je zřejmé, že nižší pracovníci by s vrácením prázdných krabic do regálu neměli mít větší problémy. Náklon trupu je zde hodnocen skórem 3, které nepředstavuje výrazné riziko. Úchop krabice rukama je do jisté míry individuální záležitostí, nicméně v daném příkladu je pozice rukou a zápěstí hodnocena skórem 4. Celkově je pozice pracovníka hodnocena RULA skórem 3, které při dané míře opakování (jedenkrát za 15 minut) není rizikové.

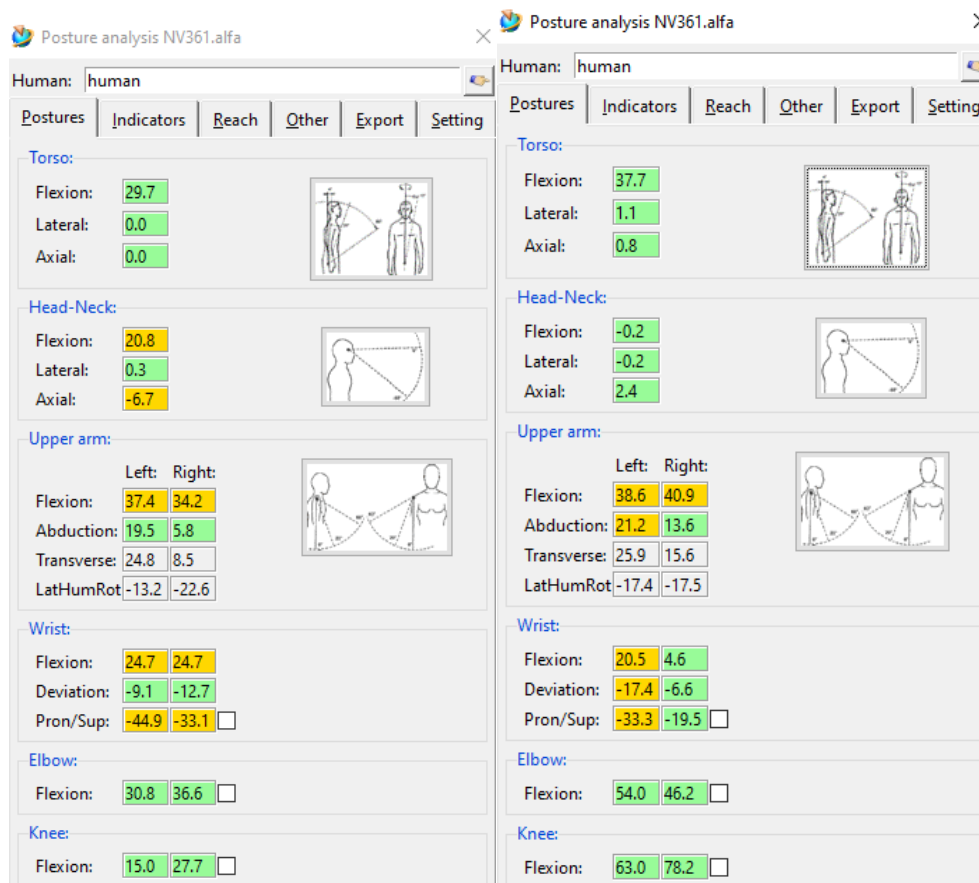
U pracovníků vyšších postav, tedy 95. percentilu, bylo zjištěno celkové RULA skóre 4, viz obrázek 6.7 vpravo. Oproti operátorům 5. percentilu se RULA skóre zhoršilo o jeden stupeň, avšak stále zůstává v druhé kategorii RULA poloh. U vysokých pracovníků je nutné jít do drobného podřepu tak, aby se trup zbytečně moc neohýbal. Pokud operátor nevyužije podřepu a ohýbá výrazněji trup dosahuje se výrazně negativnějších výsledků. Vhodnou pracovní pozici je doporučeno standardizovat v rámci pracovního postupu pracoviště a s touto pozicí následně seznámit operátory obsluhující stroje, u nichž se tyto pozice vyskytují.

Job Title	Job Number	Location	Analyst	Date	Grand Score	Action
uchop2_05					3	Further investigation needed. Changes may be required.
uchop2_95					4	Further investigation needed. Changes may be required.

Obrázek 6.7: RULA skóre druhé pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

Výstupy metody NV 361

Z obrázku 6.8, na kterém se nachází tabulka s výslednými hodnotami, je vlevo vyobrazeno hodnocení pro nižší pracovníky, u kterých je možné zaznamenat mírné zvýšení v oblasti krku, ramen a zápěstí. Jedná se o zvýšení do hodnot podmíněně přijatelných, u kterých je možné pozorovat takřka stejné zvýšení pro levou i pravou část horních končetin, a které je zapříčiněno obouručným úchopem prázdné krabice. U pracovníka 95. percentilu se poloha zakládání krabice mírně liší, viz obrázek 6.8. Operátor vyššího vzrůstu musí jít při tomto pohybu do drobného podřepu. To má za následek zvýšení hodnot v ohybu kolen, a to konkrétně z hodnot 15° a 27° u operátorů 5. percentilu na hodnoty 63° a 78° pro pracovníky 95. percentilu. Tyto výsledné hodnoty se však stále řadí mezi oblasti přijatelných hodnot. Podmíněně přijatelné hodnoty se stejně jako u pracovníků nižšího vzrůstu vyskytují v oblasti ramen a zápěstí. Naopak významné snížení se nachází u pozice náklonu krku, jež je v ideálních hodnotách díky podřepu operátora.



Obrázek 6.8: Metoda NV 361 druhé pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

6.3.3 Pozice 3 - Odebrání kamerky z výrobní plochy

Následující pozicí, která byla zvolena pro metodu RULA a NV 361, je opět pozice opakující se u většiny strojů výrobní linky. Zkoumanou pozicí je zakládání kamerky či jejich komponentů do přesně stanovené pozice na výrobním stroji. Operátor nejprve uchopí kamerku z odkládací plochy kam přišla z předcházejícího stroje na plném platu, poté ji přemístí do přesně stanovené pozice a zde ji položí. Uvedená pozice bude prováděna na pracovišti s názvem VCAS a operátor bude tuto činnost opakovat každých 30 vteřin. Celkem je tato činnost za směnu opakována přibližně 960 krát.



Obrázek 6.9: 3D model pozice 3

Výstupy analýzy RULA

Z provedené analýzy RULA, jejíž výstupy v podobě celkového RULA skóre jsou znázorněny na obrázku 6.10, je patrné, že tato pozice nebude v budoucnu představovat pro operátory či operátory riziko. Výsledné RULA skóre pro 5. a pro 95. percentil vychází shodně 2. U této pozice by mohlo být rizikovým místem způsob úchopu drobného komponentu v podobě kamerky. I vzhledem k této skutečnosti je v plánu využívat spíše operátorky, než operátory, pro které je práce s drobnými komponenty jednodušší a v některých případech i rychlejší.

The image shows two side-by-side screenshots of the RULA software interface. Both screens display the following information:

- Job Title:** uchop3_05 (left) / uchop3_95 (right)
- Job Number:** (empty)
- Location:** (empty)
- Analyst:** (empty)
- Comments:** (empty)
- Date:** (empty)

Body Group A Posture Rating:

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

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

Body Group B Posture Rating:

Neck:	2
Trunk:	1
Total:	2

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

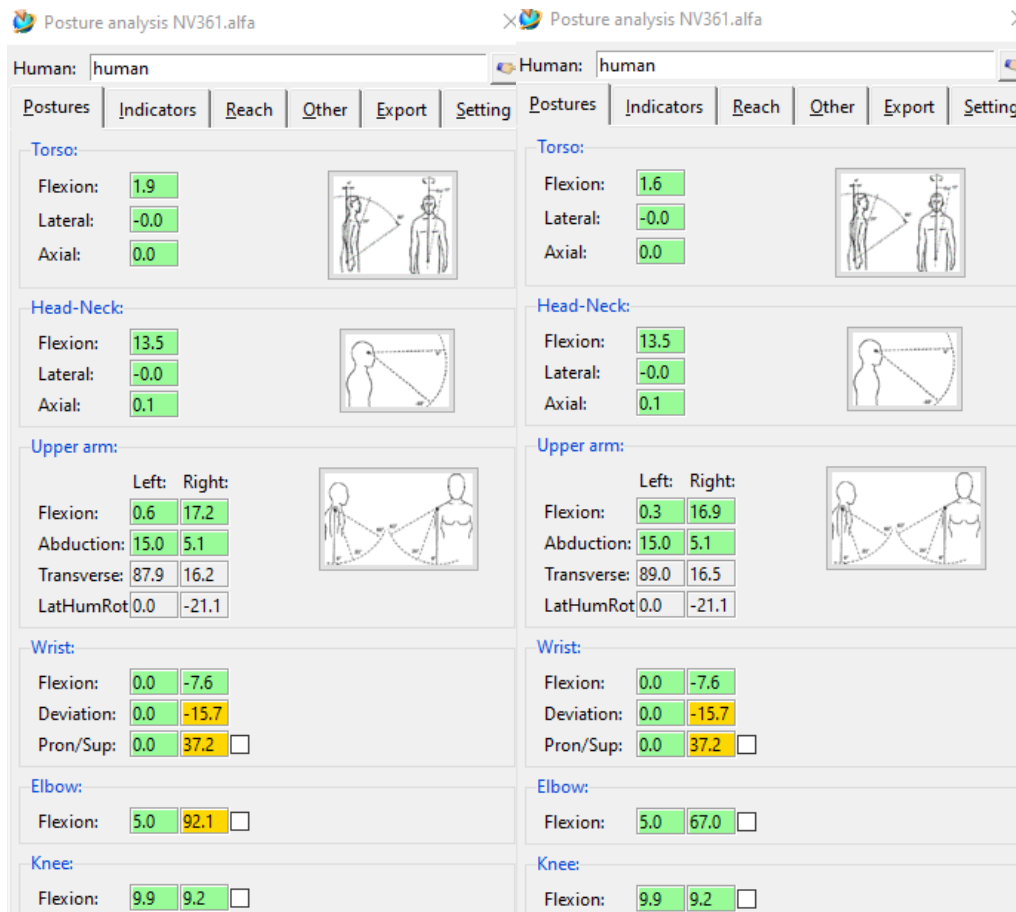
Legs and Feet Rating: Standing, weight even. Room for weight changes.

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

Obrázek 6.10: RULA skóre třetí pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

Výstupy metody NV361

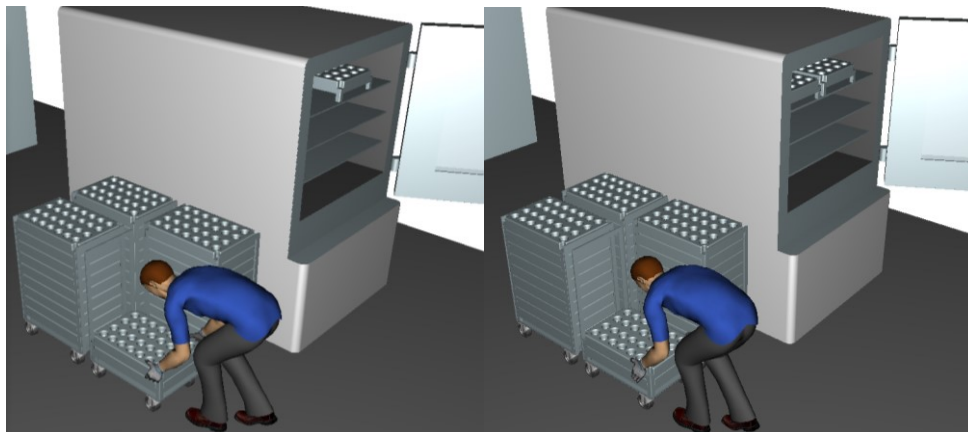
Na první pohled se jedná o fyzicky nenáročnou pracovní činnost, při které by neměly být výrazněji namáhány části těla, kromě zápěstí. Výstupy metody NV 361 pro 5. a 95. percentil toto tvrzení také potvrzují, viz obrázek 6.11. Výsledné hodnoty pro zápěstí u operátorů 5. i 95. percentilu dosahují podmíněně přijatelných hodnot, a to shodně -15° a 37° . Mimo oblast zápěstí je další jedinou hodnotou dosahující podmíněně přijatelných hodnot oblast pravého lokte u operátora 5. percentilu, kde úhel lokte je více než 92° . Tato hodnota se zdá být velmi vysoká, nicméně limitní hodnotou mezi podmíněně přijatelnými polohami a polohami nepřijatelnými je u lokte úhel 115° . Je zde tedy ještě značná rezerva.



Obrázek 6.11: Metoda NV 361 třetí pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

6.3.4 Pozice 4 - Ohyb pro proklad

Další zkoumanou polohou je pozice nacházející se u stanoviště pece. Tutu pracovní činnost jako jedinou budou vykonávat výhradně operátoři. Celá náplň na tomto pracovišti je sestavena z odvozu plných vozíků s předpřipravenými kamerami na vypálení k peci, následně naplnění pece proklady s kamerami, vyndání vypálených kamer a odvezení na další pracoviště. Vybraná pozice pro provedení analýzy RULA a metody NV 361 se nachází při činnosti úchopu a zdvihu plných prokladů z vozíků. Byla zvolena záměrně taková pozice, při které je na vozíku minimum plat s kamerami a operátor se tak k platům musí více ohnout. Cyklus u pece je velmi dlouhý. Proces zakládání plat s kamerami do pece bude probíhat pouze jednou nebo dvakrát za směnu.



Obrázek 6.12: 3D model pozice 4

Výstupy analýzy RULA

Výsledné hodnoty pro operátory 5. percentilu jsou velmi negativní, a to zejména díky výraznému ohybu trupu a s tím spojeným ohybem krku. Obě tyto položky mají skóre 4, nicméně dohromady sekce krku a trupu je hodnocena skórem 7. Pozice rukou není tak kritická jako pozice trupu, avšak v konečném RULA skóre to nehraje vliv a celkové RULA skóre je tak hodnoceno skórem 6. Skóre 6 spadá do skupiny pozic, u kterých je nutno provést co nejrychleji změny.

U pracovníků vyššího vzrůstu, tedy 95. percentilu, je pozice rukou hodnocena skórem 6. Oproti předcházející analýze se tak výrazně skóre rukou zhoršilo. To je možné přičíst výraznějšímu prohnutí rukou. Celkové RULA skóre u operátorů 95. percentilu je 7, tedy nejhorší stupeň, u kterého je nutné hned provést změny. Této poloze se bude v dalším průběhu práce více věnováno.

Job Title	Job Number	Location	Analyst	Date	Job Title	Job Number	Location	Analyst	Date
uchop3_4_05					uchop3_4_95				
Body Group A Posture Rating					Body Group A Posture Rating				
Upper arm: 4					Upper arm: 5				
Lower arm: 2					Lower arm: 3				
Wrist: 2					Wrist: 1				
Wrist Twist: 1					Wrist Twist: 1				
Total: 4					Total: 6				
Body Group B Posture Rating					Body Group B Posture Rating				
Neck: 4					Neck: 4				
Trunk: 4					Trunk: 4				
Total: 7					Total: 7				
Muscle Use: Normal, no extreme use					Muscle Use: Normal, no extreme use				
Force/Load: < 2 kg intermittent load					Force/Load: < 2 kg intermittent load				
Arms: Not supported					Arms: Not supported				
Legs and Feet Rating					Legs and Feet Rating				
Standing, weight even. Room for weight changes.					Standing, weight even. Room for weight changes.				
Grand Score: 6					Grand Score: 7				
Action: Investigation and changes are required soon.					Action: Investigation and changes are required immediately.				

Obrázek 6.13: RULA skóre čtvrté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

Výstupy metody NV 361

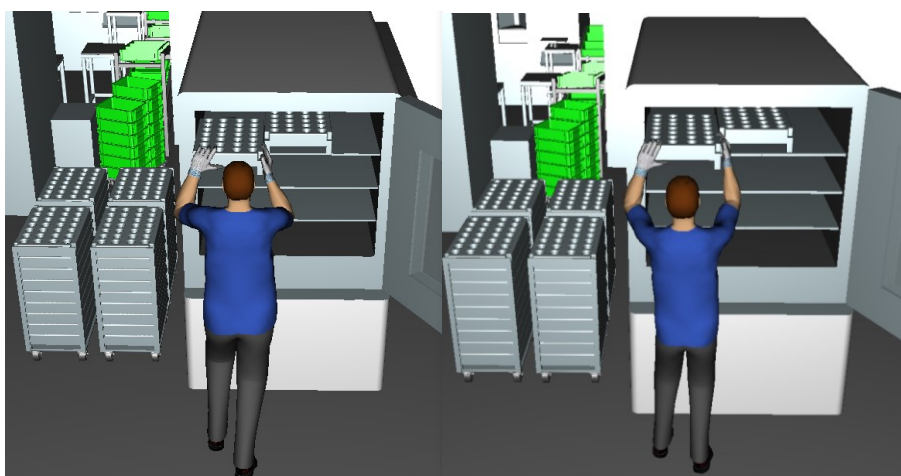
Tato pozice je považována za polohu kritickou, ačkoliv je její frekvence v průběhu směny operátora nízká. Výsledné hodnoty pro metodu NV 361 jsou na obrázku 6.14. Pro pracovníka představujícího 5. percentil dosahují výstupy v několika bodech nepřijatelných hodnot a již jsou označeny červenou barvou. Nepřijatelných hodnot je dosahováno zejména v oblastech náklonu trupu a ramen. U operátorů 95. percentilu je dosaženo nepřijatelných hodnot u stejných částí těla jako u pracovníků 5. percentilu. Mimo to se objevila podmíněně přijatelná hodnota u abdukce levé ruky. Pro tuto pozici by tedy měla být navržena neprodleně nápravná opatření, která by eliminovala dosahování nepřijatelných hodnot v oblasti trupu a ramen při náklonu.



Obrázek 6.14: Metoda NV 361 čtvrté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

6.3.5 Pozice 5 - Zakládání do pece

Pátou polohou, která byla zvolena pro detailnější zkoumání, je pozice ve stejné části výrobní, jako v případě čtvrté pozice. Pracovník však již drží plato s kamerami a zakládá ho na horní pozici do pece, viz obrázek 6.15. Tato pozice byla zvolena z důvodu své náročnosti na horní končetiny operátora. Oproti předchozí poloze se dají očekávat horší výsledky u operátorů 5. percentilu, pro něž bude zakládání do horní police značně náročnější, a to především kvůli výškovému rozdílu. Čtyřhodinový cyklus pece se nemění, i proto manipulát zakládá plato s kamerami do pece pouze jednou či dvakrát za směnu.



Obrázek 6.15: 3D model pozice 5

Výstupy analýzy RULA

Výsledné hodnoty pro pracovníky 5. percentilu jsou hodnoty RULA skóre 6, jež spadá do třetí skupiny poloh, a to do poloh nepřijatelných, kde je nutné zavést opatření. Rizikových hodnot dosahuje především oblast krku a ramene. Oproti tomu je možné pozorovat výrazně nižší náročnost zakládání plat u manipulantů vyšší postavy (95. percentilu), u kterých hodnoty pro ruce a zápěstí dosahují výsledku 4 a oblast krku je v ideálních hodnotách, což ve finálním RULA skóre snižuje skóre na 3.

The image shows two side-by-side screenshots of the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) software interface. Each screenshot displays the 'Analysis Summary' tab with the following data:

Job Title	Job Number	Location	Analyst	Comments	Date
uchop4_05					

Body Group A Posture Rating		Body Group B Posture Rating	
Upper arm: 5	Neck: 4	Upper arm: 4	Neck: 1
Lower arm: 2	Trunk: 1	Lower arm: 2	Trunk: 1
Wrist: 2	Total: 5	Wrist: 3	Total: 1
Wrist Twist: 1		Wrist Twist: 1	
Total: 6		Total: 4	

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

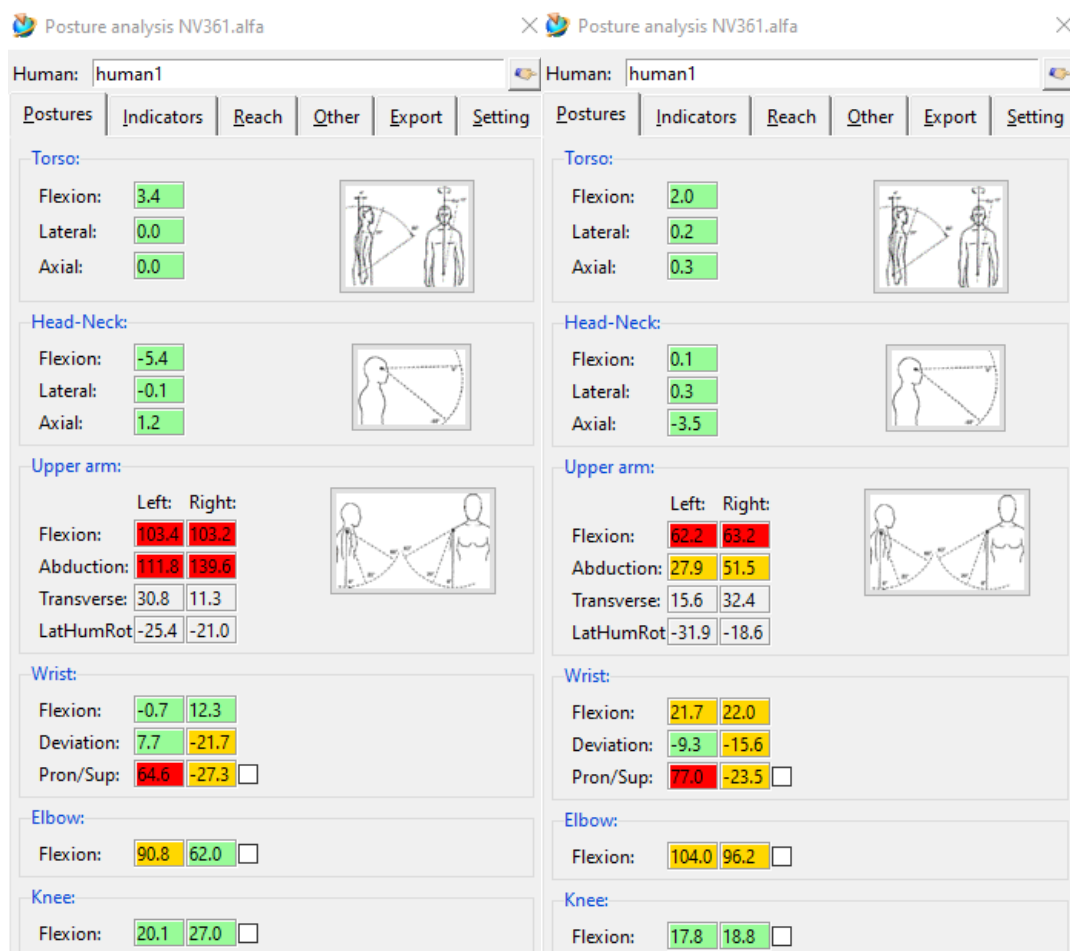
Legs and Feet Rating: Standing, weight even. Room for weight changes.

Grand Score: 6	Grand Score: 3
Action: Investigation and changes are required soon.	Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Obrázek 6.16: RULA skóre páté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

Výstupy metody NV 361

U operátora 5. percentilu se ve výsledném výstupu v rámci NV 361 objevila řada nepřijatelných hodnot, a to zejména u ramen. Dle prvotních odhadů není pozice ramen přijatelná. Další hodnotou převyšující limity je s tím spojená hodnota ohybu zápěstí. U pracovníků 95. percentilu je pozorováno výrazné snížení úhlů v oblasti ramen, které však ani přes snížení nedosahuje optimálních hodnot. Mimo tyto hodnoty se vyskytuje dle NV 361 řada podmíněně přijatelných hodnot, které jsou hraniční hodnotám nepřijatelných, jako například u loktů. Výsledné hodnoty při činnosti zakládání do pece pro 5. a 95. percentil jsou znázorněny na obrázku 6.17.



Obrázek 6.17: Metoda NV 361 páté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

6.3.6 Pozice 6 - Úchop kamery a předního krytu

Závěrečnou pozicí, která byla autorem práce zvolena k analýzám, je pozice, která bude prováděna na pracovišti s názvem VCAFT a při kamerové kontrole. Zkoumanou polohou je úchop kamerky a zároveň i předního krytu z krabice a jejich následné přemístění do stroje. Pracovní cyklus stroje VCAFT je plánován na 30 s., což ve výsledku znamená opakování tohoto úkonu přibližně 960 krát během jedné pracovní směny operátora.



Obrázek 6.18: 3D model pozice 6

Výstupy analýzy RULA

Výsledné hodnoty analýzy RULA pro pozici úchopu kamery a předního krytu nevykazují výrazně negativních hodnot. Operátor je v této pozici mírně ohnutý v oblasti krční páteře a zároveň má mírně natažené paže. Tyto aspekty ovlivňují výsledné RULA skóre, které je pro 5. i pro 95. percentil populace 3. Výše RULA skóre 3 nepředstavuje pro operátora výraznější rizika.

The image shows two side-by-side screenshots of the RULA software interface. Both screens display the 'Analysis Summary' tab. The left screen is for the 5th percentile, and the right screen is for the 95th percentile. Both show identical results: Job Title: uchop5_05, Job Number: [empty], Location: [empty], Analyst: [empty], Date: [empty]. The 'Body Group A Posture Rating' section shows: Upper arm: 3, Lower arm: 3, Wrist: 1, Wrist Twist: 1, Total: 4. The 'Body Group B Posture Rating' section shows: Neck: 3, Trunk: 1, Total: 3. The 'Muscle Use' section shows: Normal, no extreme use; Force/Load: < 2 kg intermittent load; Arms: Not supported. The 'Legs and Feet Rating' section shows: Standing, weight even. Room for weight changes. The 'Grand Score' is 3, and the 'Action' is 'Further investigation needed. Changes may be required.'

Obrázek 6.19: RULA skóre šesté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

Výstupy metody NV 361

Zvýšené hodnoty u pracovníků 5. percentilu se vyskytují v oblastech zápěstí, které jsou při pohybu nejvíce namáhány. Nejedná se však o hodnoty překračující povolené limity nepřijatelných poloh. Vysokou hodnotou u této pozice je náklon krční páteře, kdy se pracovník dívá na uchopované komponenty, zde však záleží na momentálním náklonu. U pracovníka 95. percentilu se v oblasti krku nevyskytuje nepřijatelná poloha, nicméně zvýšené hodnoty vykazují oblasti ramen a zápěstí. Ani zde se však nejedná o hodnoty nepřijatelné. Veškeré výstupní hodnoty z metody NV 361 pro šestou pozici jsou na obrázku 6.20.



Obrázek 6.20: Metoda NV 361 šesté pozice pro 5. percentil (vlevo) a 95. percentil (vpravo)

6.4 Shrnutí výstupů provedených metod

Kapitola 6.3, která se zabývala realizací vybraných ergonomických metod napomohla odhalit řadu nedostatků v plánovaném návrhu ergonomicky přívětivé výrobní linky. Součástí této kapitoly je shrnutí a zhodnocení výsledků z provedených ergonomických metod. První provedenou metodou byla analýza RULA, jejímž výstupem je celkové RULA skóre. Shrnutí všech výsledných hodnot je pro přehlednost vyobrazené pro jednotlivé pozice v tabulce 6-2. Druhá metoda se týkala hodnocení dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., a to pomocí modulu NV 361, viz tabulka 6-3, na které jsou zobrazeny ty části těla, u nichž bylo v rámci hodnocení dané polohy dosaženo nejhorších a neuspokojivých výsledků. Vážnost dané polohy je v tabulce 6-2 a 6-3 zvýrazněna pomocí barevného rozlišení (červená=nepřijatelná; zelená=přijatelná).

Zhodnocení jednotlivých pozic je v následujícím textu seřazeno a objasněno dle rizikosti jednotlivých pozic.

Tabulka 6-2: Hodnocení RULA

Číslo pozice	Pracoviště	Celkové RULA skóre	
		5. percentil	95. percentil
1	Před-Montáž 1	3	3
2	Před-Montáž 2	3	4
3	VCAS	2	2
4	Pec	6	7
5	Pec	6	3
6	VCAFT	3	3

Tabulka 6-3: Hodnocení NV 361

Číslo pozice	Pracoviště	Rizikové oblasti NV361	
		5. percentil	95. percentil
1	Před-Montáž 1	Hlava-Krk	Hlava-Krk
		Zápěstí	Zápěstí
2	Před-Montáž 2	Hlava-Krk	Hlava-Krk
		Ramena	Ramena
		Zápěstí	Zápěstí
3	VCAS	Zápěstí	Zápěstí
		Lokty	Lokty
4	Pec	Trup	Trup
		Ramena	Ramena
5	Pec	Ramena	Ramena
		Zápěstí	Zápěstí
		Lokty	Lokty
6	VCAFT	Hlava-Krk	Hlava-Krk
		Ramena	Ramena
		Zápěstí	Zápěstí

Z tabulky 6-2 a 6-3 jsou zřejmé dvě rizikové polohy, jež se obě nachází u pracoviště pece. Jedná se o polohy 4 a 5, definující **ohyb pro plato** a jeho následné založení do pece. U pozice 4 vyšlo pro operátora představujícího 5. percentil populace celkové RULA skóre 6 a pro 95. percentil operátorů dokonce RULA skóre 7. Toto skóre potvrzují výstupy z analýzy NV 361, kde pro stejnou polohu byly indikovány pozice trupu a ramen jako polohy nepřijatelné, a to jak u 5. percentilu, tak i u 95. percentilu. Horších výsledků však u obou provedených metod dosahoval operátor 95. percentilu, který se pro plata musí ohýbat výrazně více. Pro tuto pracovní pozici je tak výrazně doporučeno, aby byly uskutečněny změny či nápravná opatření, a to neprodleně. Jedním z řešení může být například využití zdvižných vozíků, na které bude možné umístit platy a automaticky tak regulovat jejich výšku. Tento návrh bude detailněji řešen v rámci kapitoly 6.5.

Druhou pozicí, u níž bylo dosaženo kritického RULA skóre 6, a to pro operátora 5. percentilu, je poloha **zakládání do pece**. Z výsledného RULA skóre pro 95. percentil, které vyšlo 3, se na první pohled může zdát, že tato pozice není pro vysoké pracovníky riziková, avšak následné

hodnocení dle NV 361 u této pozice hodnotí jako nepřijatelné polohy ramen a zápěstí. Hodnoty na rozmezí podmíněně přijatelné polohy a polohy nepřijatelné dosahuje ohyb loktů. I u této metody však platí, že horších výsledků dosahuje pracovník 5. percentilu, pro něhož je zakládání do nejvyšší police v peci výrazně náročnější. I tento problém bude řešen v následující kapitole 6.5.

Další pozice nejsou již hodnoceny výsledným RULA skóre třetí skupiny, tedy skupinou poloh pro něž je nutné co nejdříve provést nápravné opatření, avšak i tak je v několika případech ve výsledcích metody NV 361 dosahováno nepřijatelných poloh. Následující pozicí je **zakládání krabice**. V této poloze bylo dosaženo horšího RULA skóre u operátora 95. percentilu, a to skóre 4. Pozice ramen se zde dosahovala polohy podmíněně přijatelné, která byla však podmíněna nutností mírného podřepu pracovníka. Tento podřep však způsobil zlepšení viditelnosti na odkládanou krabici, což se projevilo snížením úhlu náklonu hlavy a krku. Pokud vysoký operátor do podřepu nejde, je dosahováno výsledného RULA skóre 6. Po zprovoznění linky by se u této pozice mohl vyskytnout problém nutnosti více míst pro prázdné krabice. Z konstrukčního hlediska by bylo možné na regálu vytvořit další odkládací pozici pro prázdné krabice pod momentálně položenou polici. Pohyb nutný k odložení krabice do takovéto pozice by však byl pro operátora velmi namáhavý. U pracovníků 5. percentilu nebylo zjištěno žádných nepřijatelných pohybů.

Pozice **úchopu krytu a kamery** je polohou, dosahující celkového RULA skóre 3 u operátorů obou percentilů, avšak dle NV 361 je patrné, že horšího skóre by měla dosáhnou tato pozice u operátora 95. percentilu, u něž je v oblasti hlavy a krku dosaženo výsledků pro polohy nepřijatelné, zvýšených hodnot dosahují také oblasti ramen a zápěstí a to u obou zkoumaných percentilů. Výrazně lepších hodnot bylo dosaženo v oblasti ohybu hlavy a krku u pracovníka 5. percentilu, který na zvedaný kryt lépe vidí.

Pozice č.1, tedy **úchop pouzdra** je hodnocen pro oba percentily operátorů RULA skórem 3. V této pozici pracovník 95. percentilu při úchopu dosahoval vysokých úhlů náklonu hlavy a krku. Mimo to zde byly zvýšené hodnoty ohybu zápěstí. Hůře v této poloze dopadl operátor 95. percentilu, což se však neprojevilo ve výsledném skóre RULA. Na pracovišti Před-Montáž 1 se mimo předního pouzdra uchopuje také reflektor, který je velmi malým komponentem a nabízí se tak možnost přidělení odkládací pozice pro větší množství tohoto komponentu blíže k pracovní ploše, což by nabídlo možnost prohození pozice krabic, tak aby pracovník pro přední pouzdro nesahal až do zadní krabice.

Poslední polohou je pozice **odebírání kamerky**, která v rámci porovnání s ostatními polohami dopadla v hodnocení celkového RULA skóre nejlépe. 5. i 95. percentil operátorů v této poloze dosahuje RULA skóre 2. Dle hodnocení NV 361 bylo dosaženo pouze podmíněně přijatelných poloh u ohybu zápěstí a loktu. Operátoři 5. i 95. percentilu u této polohy dopadli velmi dobře a samotné ukládání výrobků do přesných pozic na strojích by, tak mělo být vhodné.

6.5 Návrhy na úpravu pracovišť

Hlavním cílem následující kapitoly je navržení takového pracoviště, které bude pro operátora ergonomicky přívětivé. Tento cíl je zároveň stěžejním cílem celé diplomové práce, proto budou navržena taková opatření, která povedou k celkovému zlepšení výrobního cyklu produktu a operátor při výkonu pracovní činnosti nebude vystavován nepřijatelným polohám. Jednotlivá zlepšení budou navrhována na základě výstupů z ergonomických metod z kapitoly 6.3, kde byly zjištěny nedostatky u některých pracovišť.

Za ergonomicky nevyhovující pracoviště je dle vypracovaných metod považováno zejména pracoviště pece, kterému bude věnována značná část této kapitoly. Mimo nedostatky odhalené

pomocí ergonomických metod byly zaznamenány další potenciálně problémové oblasti, u nichž budou představena možná nápravná řešení. V rámci této kapitoly jsou představena zlepšení týkající se jednotlivých strojů, ale také návrhů doplňků jednotlivých pracovišť vyskytující se u celé výrobní linky.

6.5.1 Návrh na úpravu pracoviště Před-Montáž 1

Pracoviště Před-Montáž 1 dosahovalo při aplikaci ergonomických metod dobrých výsledků, z tohoto důvodu by nebylo potřeba výrazně měnit plánový výrobní proces. Nicméně při hlubším pozorování tohoto pracoviště byly zjištěny drobné nedostatky. Operátor se musí pro potřebné komponenty natáhnout či dojít relativně delší vzdálenost a následně je umístit na výrobní plochu. Navrhovanou změnou by bylo vytvoření odkládací plochy na jedné straně stroje, viz na obrázku 6.21, kde je tato plocha vyznačena po levé ruce operátora v podobě malé krabičky. Komponenty umístěnými do této krabičky by byly drobné součástky tzv. reflektory, které mají tvar čtverce o velikosti 7 x 7 mm. Pracovníkovi by se tak vytvořila nová odkládací plocha blíže k pracovní ploše, a tím by bylo umožněno přesunout blíže ke stroji krabice obsahující přední pouzdro. Na obrázku 6.21 je tak znázorněno pracoviště po provedených úpravách, kde jsou prohozeny krabice s používanými komponenty a je vytvořena nová odkládací plocha v dosahových zónách operátora.



Obrázek 6.21: Návrh na úpravu pracoviště Před-Montáž 1

Za hlavní přínosy této varianty je autorem práce považováno usnadnění výkonu práce operátora a celkové zrychlení jeho pracovní náplně. Zároveň by tento návrh operátorovi ušetřil výraznou část z celkové nutné nachozené vzdálenosti. Na obrázku 6.21 je mimo samotné navržené pracoviště vyobrazena také analýza RULA, která byla opět provedena v programu Process Simulate, k zjištění ergonomické náročnosti nově vzniklé pracovní polohy. Celkové RULA skóre pro pravou část těla operátora je 2 a pro levou, více vytěžovanou část těla je výsledné RULA skóre 3. Celkové skóre 3 je způsobeno mírným náklonem v oblasti hlavy a krku tak, aby pracovník na uchopovaný reflektor dobře viděl.

6.5.2 Návrh na úpravu pracoviště pece

Druhým řešeným pracovištěm je oblast pece, kde operátor během analýzy ergonomických metod dosahoval nejhorších výsledků. Metoda RULA u operátorů 5. percentilu pro zakládání do pece u této pozice před změnami dosahovala RULA skóre 6. U pracovníka 95. percentilu bylo výsledné RULA skóre hodnoceno výsledkem 3. Primárním cílem nápravy tohoto pracoviště je eliminace nepříjemných poloh a celkové snížení RULA skóre pro pracovníka 5. percentilu. Zároveň však nesmí být dosaženo horších výsledků u operátorů 95. percentilu. Dalším problémem vyskytujícím se u tohoto pracoviště je zakládání a vyndávání plat z pece, kdy do pece je možné vložit dvě plata za sebe.

Řešením tohoto problému by mohlo být naklonění polic, do kterých jsou plata umístována do úhlu, při kterém po vyndání jednoho plata automaticky odporem sjede i plato druhé. Tento návrh je vyobrazen na obrázku 6.22, kde jsou k zakládání využity kolejnice pod úhlem tak, aby plato samovolně sjelo. Na konci je každé patro opatřeno zádržkou 3 cm vysokou tak, aby plato nespadlo na zem. V případě, kdy by plato samovolně nesjelo, je nutné použít prostředek k přiblížení plata ke kraji pece. K tomuto účelu může sloužit například obyčejný hák.

Druhým problémem bylo výše zmíněné zakládání plat do pece u pracovníků 5. percentilu. Možným řešením pro tuto pozici by bylo vytvoření a pevné zabudování drobného schůdku do prostoru před pecí. Možný návrh schůdku je součástí obrázku 6.22. Při jeho navrhování bylo dbáno na minimální možnou šířku schodu, který dle platných legislativních předpisů musí být minimálně 25 cm dlouhý. Navržený stupínek je 25 cm dlouhý, vysoký 20 cm a široký 130 cm a od okolních objektů barevně odlišený. Operátorovi 5. percentilu by takovýto přidaný schůdek výrazně usnadnil zakládání do pece, ale na druhé straně by pracovníkovi 95. percentilu tento pohyb neznemožnil, pokud by tento schod nechtěl využívat. Na výsledném znázornění pracoviště pece je vyznačena provedená analýza RULA pro operátora 5. percentilu, kde pracovník z původního RULA skóre 6 před zavedenými změnami nyní dosahuje celkového RULA skóre 3 pro pravou i levou část těla.

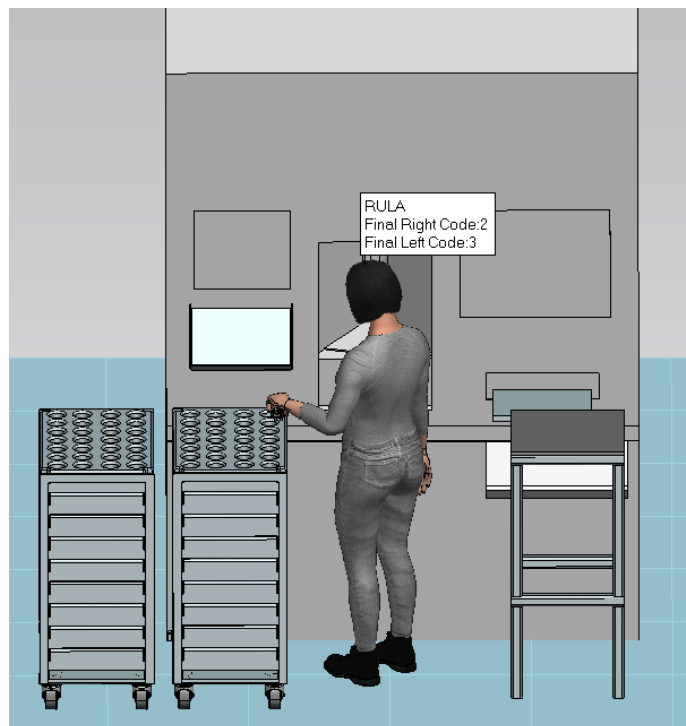


Obrázek 6.22: Návrhy na zlepšení pracoviště pece

Posledním problémem zkoumaným u pracoviště pece byl ohyb pro spodní proklady do vozíků. Tento problém se vyskytuje u většiny ze zkoumaných pracovišť a bude řešen v kapitole 6.5.5.

6.5.3 Přidání vozíku s prázdnými proklady na pracoviště VCAS

V rámci pracoviště VCAS nebyly z provedené analýzy RULA a hodnocení dle NV 361 zjištěny ergonomicky nevhodné polohy. Toto pracoviště v souvislosti s použitými ergonomickými metodami dosáhlo nejlepších výsledků, avšak byl zjištěn chybějící vozík s prázdnými proklady, na který bylo při tvorbě návrhu opomenuto. Při procesu zakládání kamerky do prokladů, které následně putují do pece je nutné, aby pracovník měl odkud prázdné proklady brát. Pro vyřešení tohoto nedostatku byl k pracovišti VCAS přidán druhý vozík, odkud si operátor může brát prázdné proklady, viz obrázek 6.23. Tato provedená změna nebude mít negativní účinky na operátora. V prostorovém uspořádání strojů je pro druhý vozík místo a v souvislosti s touto změnou nebude nutné nijak zásadněji upravovat prostorové uspořádání výrobní linky.



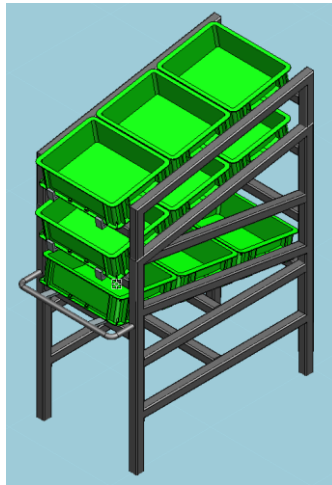
Obrázek 6.23: Návrhy na zlepšení pracoviště VCAS

6.5.4 Úprava regálů

Následující úprava se týká možných využívaných regálů, kde v souvislosti s plánovanými balíci předpisy společnosti je přesně stanovena denní spotřeba daných komponentů, včetně počtu komponentů v jednotlivých bednách. Současné balíci předpisy nestanovují minimální nutnou zásobu v regálu, avšak dle domluvy se zástupci Valeo by minimální zásoba jednotlivých strojů měla být nejméně na hodinu a půl. To výrazně ovlivnilo minimální nutný počet pozic v regálu. Například na pracovišti Před-Montáž 2 je maximální počet kusů zadního krytu 60 ks. Při spotřebě jednoho kusu za 15 vteřin tak jedna bedna vydrží 15 minut. Za hodinu a půl je tak spotřebováno 6 krabic zadních krytů. U žádné další pozice není za 90 minut nutné využívat více krabic s materiálem než u pracoviště Před-Montáž 2, proto bude regál obsahovat 6 pozic pro plné krabice.

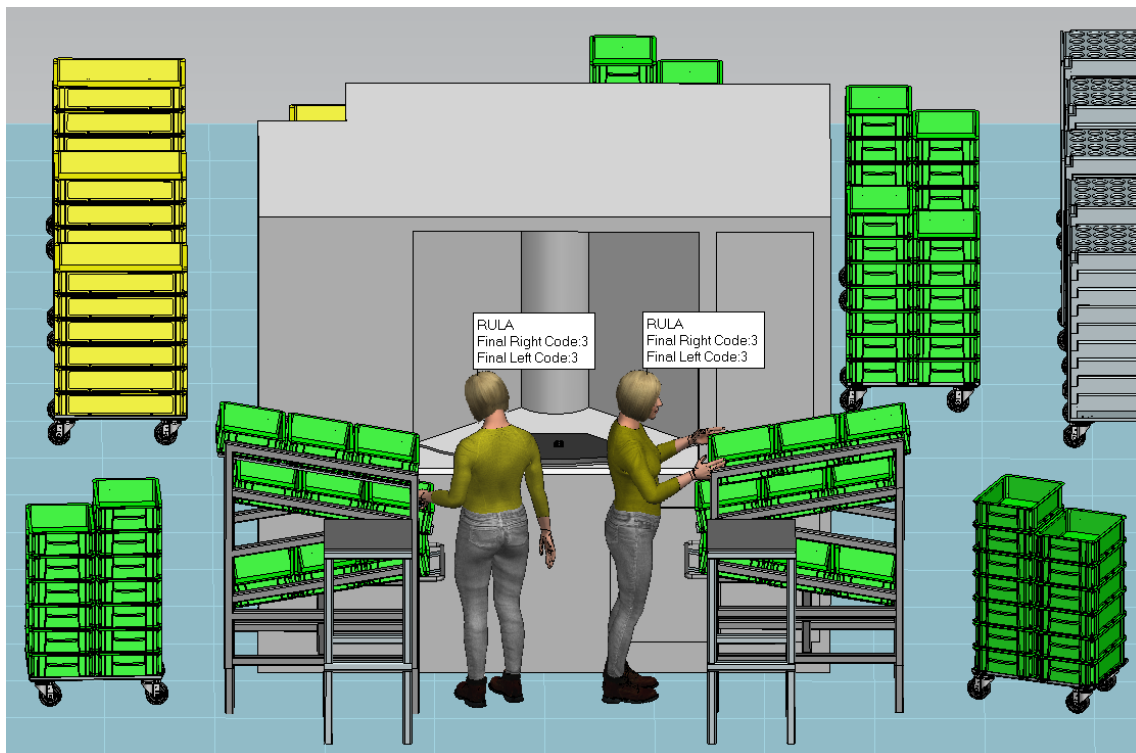
Na základě výše uvedených důvodů tak byl navržen regál obsahující 6 pozic pro plné krabice, viz obrázek 6.24. Oproti původnímu regálu byla přidána jedna řada s plnými krabicemi, která byla mírně posunuta dozadu tak, aby byl operátorovi umožněn co nejlepší možný přístup do této spodní krabice. Pro operátory by to znamenalo primárně odebírat komponenty z krabic spodních, po vypotřebování spodních krabic by si pracovník měl krabice přemístit z police

horní do nižší a odebírat znova ze stejné výšky. Alternativním řešením může být prodloužení daných regálů. Dle plánovaného prostorového uspořádání je řešení prodloužení regálů možné.



Obrázek 6.24: Upravený návrh regálu

Na obrázku 6.25 je znázorněno pracoviště Před-Montáž 2 včetně modifikovaných regálů se šesti pozicemi pro plné bedny. Kromě toho je zde vyobrazen operátor 5. percentilu a jsou zde pro nově vzniklé pozice zpracovány analýzy RULA, kde celkové RULA skóre zde v obou případech nepřesahuje skóre 3. Navržený regál by tak pro pracovníka neměl představovat z pohledu ergonomie riziko.



Obrázek 6.25: Upravené regály na pracovišti Před-Montáž 2

6.5.5 Změna využívaných přepravních vozíků

V rámci kapitoly 6.3.4 byly provedeny ergonomické metody při ohybu operátora pro plata do spodních pozic. Zde bylo zjištěno, že tyto pozice jsou krajně nepřijatelné a operátor je při nich vystavován pozicím hodnocenými RULA skóre 6 či 7 (v závislosti na parametrech operátora). Tyto pozice mohou pracovníkovi způsobovat řadu onemocnění z povolání. Za vhodné by bylo tyto pozice zcela vymýt. Proto byl autorem práce proveden průzkum v oblasti možných, v praxi využívaných vozíků, nabízející funkci mechanického či pneumatického zdvihu.

Společnosti specializující se na prodej zvedacích vozíků jsou například:

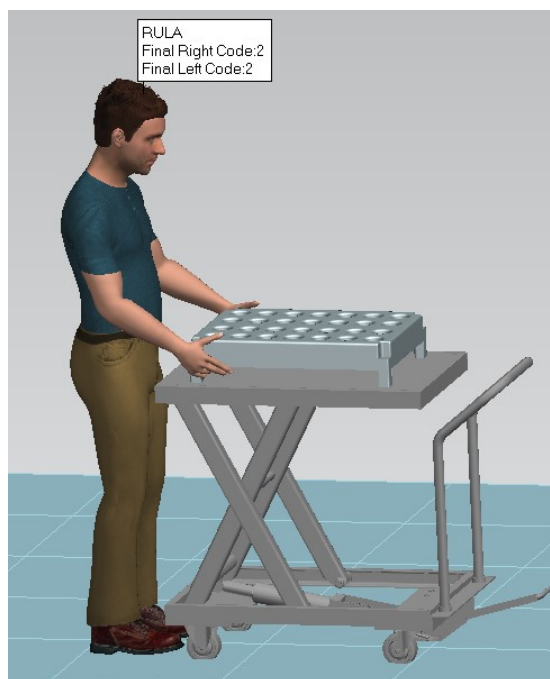
- *LLM Handling*, [49]
- *Scissor Tables UK Ltd*, [50]
- *First Mats Ltd.*, [51]
- *Kaiser+Kraft*. [52]

Tyto společnosti nabízí širokou škálu zvedacích vozíků. Jedná se o tzv. nůžkové zvedací vozíky. Všechny z výše zmíněných společností nabízí různé modifikace těchto vozíků, je tak možné pořídit zvedací vozíky různých velikostí, s různým dosahem zdvihu, s rozdílnými hmotnostními limity. Cenově se tyto zvedací vozíky standardně pohybují od 10 000 Kč po 30 000 Kč. Cena většinou závisí na preferovaných vlastnostech. Na dnešním trhu se však nachází i propracovanější vozíky, jejichž cena se ale pohybuje v řádech vyšších desítek tisíců.



Obrázek 6.26: Příklady možných zvedacích vozíků [49] [50] [52]

Na obrázku 6.26 jsou zobrazeny nabízené zvedací vozíky výše zmíněných společností, nacházející se ve stejné cenové relaci 15 000 Kč. Jedná se o jednoduché pneumatické vozíky nůžkového typu. Na obrázku 6.26 uprostřed se jedná o zdvižný stolový vozík s dvojitými nůžkami.



Obrázek 6.27: Zvedací vozíky v programu Process Simulate

Obrázek 6.27 symbolizuje operátora 5. percentilu manipulujícího s platem, které je umístěno na nůžkovém zvedacím vozíku. Z následně vytvořené analýzy RULA vyšlo celkové RULA skóre 2, jedná se tedy o významné zlepšení z hlediska ergonomie. Jelikož se jedná o vozíky mechanické, tedy pracovník si musí sám plochu vyvýšit pomocí páčky, bylo by vhodné, kdyby operátor vyskládal horní polovinu prokladů a následně si plochu vyvýšil. Poté by vyskládal zbývající proklady. Pracovníka by takovýto způsob manipulace zbytečně nezdržoval a měl by mnohonásobně lepší vliv na pracovníkovo zdraví.

6.6 Shrnutí výstupů RULA před a po úpravách pracovišť

Po navržení úprav jednotlivých pracovišť a nevyhovujících poloh byly provedeny kontrolní RULA analýzy pro jednotlivé polohy, jejichž výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6-4.

Tabulka 6-4: Výsledné RULA skóre před a po úpravách

Číslo pozice	Pracoviště	Celkové RULA skóre			
		PŘED		PO	
		5. percentil	95. percentil	5. percentil	95. percentil
1	Před-Montáž 1	3	3	2	2
2	Před-Montáž 2	3	4	3	3
3	VCAS	2	2	2	2
4	Pec (Vozíky)	6	7	2	2
5	Pec	6	3	3	3
6	VCAFT	3	3	3	3

V tabulce je znázorněno celkové RULA skóre PŘED a PO provedení změn, a to opět pro operátory 5. a 95. percentilu lidské populace. V levé části tabulky je uvedeno celkové RULA skóre před provedením změn. V této části tabulky, jak již bylo zmíněno v kapitole 6.4, se vyskytují dvě pozice, v nichž je dosahováno nepřijatelného RULA skóre, a na které se více

zaměřilo v rámci kapitoly 6.5. Mimo to byly provedeny úpravy také u dalších pozic. V pravé části tabulky 6-4 se nachází hodnocení metodou RULA po provedení úprav, kde je patrné zlepšení u většiny ze zkoumaných pozic. U pozice 1 bylo přidáním odkládacího místa na drobné komponenty docíleno RULA skóre 2, oproti původnímu skóre 3, a to jak u 5. percentilu, tak u 95. percentilu. Zásadní zlepšení je pozorováno u pracoviště pece, kde byly hodnoceny dvě pozice. Pro pozici 4 (ohyb pro spodní proklady) bylo návrhem na zavedení zvedacích vozíků docíleno zásadního zlepšení z původního RULA skóre 6 a 7 na RULA skóre 2 pro operátory obou zkoumaných percentilů. Poslední výrazné zlepšení je pozorováno u pozice 5 (zakládání do pece), kde bylo dosaženo zlepšení u pracovníků 5. percentilu, a to zlepšení výsledného RULA skóre ze skóre 6 na skóre 3. Celkově je u pozic po provedení úprav pozorováno zlepšení. V tabulce 6-4 po provedení úprav bylo dosaženo stavu, ve kterém se již nevyskytují polohy dosahující celkové RULA skóre symbolizujícího pozice, u nichž je nutné provést neprodleně vhodná opatření.

7 Prostorové uspořádání linky

V rámci diplomové práce bylo na žádost podniku Valeo do empirické části zahrnuto i prostorové uspořádání plánované výrobní linky. Jelikož se nejedná o hlavní předmět zkoumání pro tuto diplomovou práci, nebude plánované uspořádání linky rozebíráno do úplných detailů, avšak budou představeny dva vlastní návrhy na možné alternativy prostorové uspořádání, včetně provedení vhodných metod. Plánování prostorového uspořádání linky je velmi důležitou fází celé přípravy linky, které se úzce pojí s oblastí ergonomie. Ergonomie, stejně jako návržení prostorového uspořádání pracoviště, mají za společný cíl návržení pracoviště s co nejnižším personálním tokem. Plánování prvotních layoutů je součástí raných fází již před začátkem projektu. Součástí této kapitoly bude představení plánovaného rozložení strojů zhotoveného pracovníky Valea a dvou navrženým prostorových uspořádání autorem práce. Jednotlivé návrhy layoutu byly zpracovány ve formě 3D v programu Process Simulate. Všechny vypracované návrhy jsou řešeny k plánovanému finálnímu rozestavení pracoviště po rozšíření linek, jež by mělo být zhotoveno do roku 2026. Jednotlivé pracoviště jsou v plánovaných rozloženích rozlišeny pomocí číslic 1–6, u nichž je zachováno pořadí, viz kapitola 5.2.1.

7.1 Stanovení hodnocených kritérií

K plánování prostorového uspořádání nedílně patří stanovení kritérií, která byla zvolena dle domluvy s podnikem a jsou znázorněna v tabulce 7-1.

Tabulka 7-1: Zvolená kritéria

Název kritéria	K	Popis kritéria
Rozmístění pracovišť	K ₁	Kritérium hodnocené dle návaznosti po sobě jdoucích pracovišť.
Dostupnost pracovišť	K ₂	Maximalizační kritérium s cílem dosáhnout co nejlepší dostupnosti k jednotlivým strojům.
Délka materiálového toku	K ₃	Minimalizační kritérium, jehož cílem je dosáhnout co nejnižší možné hodnoty materiálového toku.
Délka personálního toku	K ₄	Minimalizační kritérium, jehož cílem je dosáhnout co nejnižší možné hodnoty personálního toku.

Dle dohody s podnikem byla definována také vyplývající omezení, která musí být splněna:

Tabulka 7-2: Omezení návrhů prostorového uspořádání

Název omezení	Popis omezení
Velikost vymezeného prostoru	Velikost výrobní haly je omezena. Pro tuto linku, včetně plánovaných rozšíření, byla definována plocha 17,8 m x 11,25 m. Plánované lince je vymezeno 200,5 m ² . Pracoviště pece může být od linky vzdáleno.
Možné oddělení části linky	Při sestavování prostorového uspořádání strojů Před-Montáž 1, Před-Montáž 2 a VCAS musí být plánováno s možnou budoucí nutností oddělení této části linky do prostorů čistého prostředí.
Zachování minimálních prostor	Zachování minimálních údržbových a operačních prostorů mezi stroji. Mezi některými ze strojů plánované linky je nutné zachovat minimální nutný prostor k údržbě daných zařízení. Je tak nutné vedle strojů rozmísťovat pouze prvky, s kterými je možné v případě nutnosti manipulovat.
Vytvoření meziskladu v blízkosti pece	Nutnou podmínkou bylo vytvoření meziskladu v oblasti pece, a to z důvodu vysokého cyklu tohoto pracoviště (4 h).

Pro stanovení jednotlivých kritérií byla zvolena bodová stupnice, vycházející ze Saatyho metody. Významnost kritérií je znázorněna v tabulce 7-3.

Tabulka 7-3: Významnost kritérií Saatyho metoda

Bodová stupnice	
číselné	slovní
1	Kritéria jsou stejně významná.
3	První kritérium je mírně důležitější než druhé.
5	První kritérium je mnohem důležitější než druhé.
7	První kritérium je výrazně důležitější než druhé.
9	Extrémní významnost jednoho kritéria nad jiným.

Na základě bodové stupnice následuje párové porovnání kritérií, které je vyobrazené v tabulce 7-4. Jelikož se jedná o párové porovnání, je pro každý porovnávaný pár nutné zvolit hodnocení pomocí celého čísla, tak i pomocí zlomku (v případě, kdy je hodnocení 5, musí být také opačné hodnocení 1/5)

Tabulka 7-4: Párové porovnání kritérií

Kritéria	K1	K2	K3	K4
K1	1	1/5	1/7	1/3
K2	5	1	1/3	5
K3	7	3	1	7
K4	3	1/5	1/7	1

Následuje dopočtení důležitosti jednotlivých kritérií a normalizace vah těchto kritérií dle následujících vzorců:

Rovnice 7-1: Výpočet důležitosti kritérií a normalizace vah kritérií [53]

$$g_x = \sqrt[4]{\prod_{j=1}^4 s_{ij}} \quad \text{Var}_x = \frac{g_x}{\sum_{i=1}^n g_x}$$

g...geometrický průměr kritéria

x...číslo varianty

n...počet kritérií

s_{ij} ...přirazené body párového srovnání

Tabulka 7-5: Výsledky ze Saatyho metody

Kritéria	Geometrický průměr	Váha	Pořadí
K1	0,312	0,052	4.
K2	1,699	0,282	2.
K3	3,482	0,577	1.
K4	0,541	0,09	3.
Σ	6,034	1	

Dle výsledného stanovená váhy jednotlivých kritérií bylo sestaveno jejich výsledné pořadí, kde kritérium s nejvyšší vahou je délka materiálového toku. Druhá se umístila dostupnost pracovišť. Nejnižší rozdíl se vyskytl mezi třetím kritériem v pořadí (délkou personálního toku) a čtvrtým kritériem (rozmístěním pracovišť). Jednotlivé varianty budou hodnoceny pomocí vícekritériálního hodnocení, kde nejvhodnější varianta obdrží skóre 1, méně vhodná skóre 0,66 a nejméně vhodná varianta skóre 0.

7.2 Výchozí návrh podniku Valeo

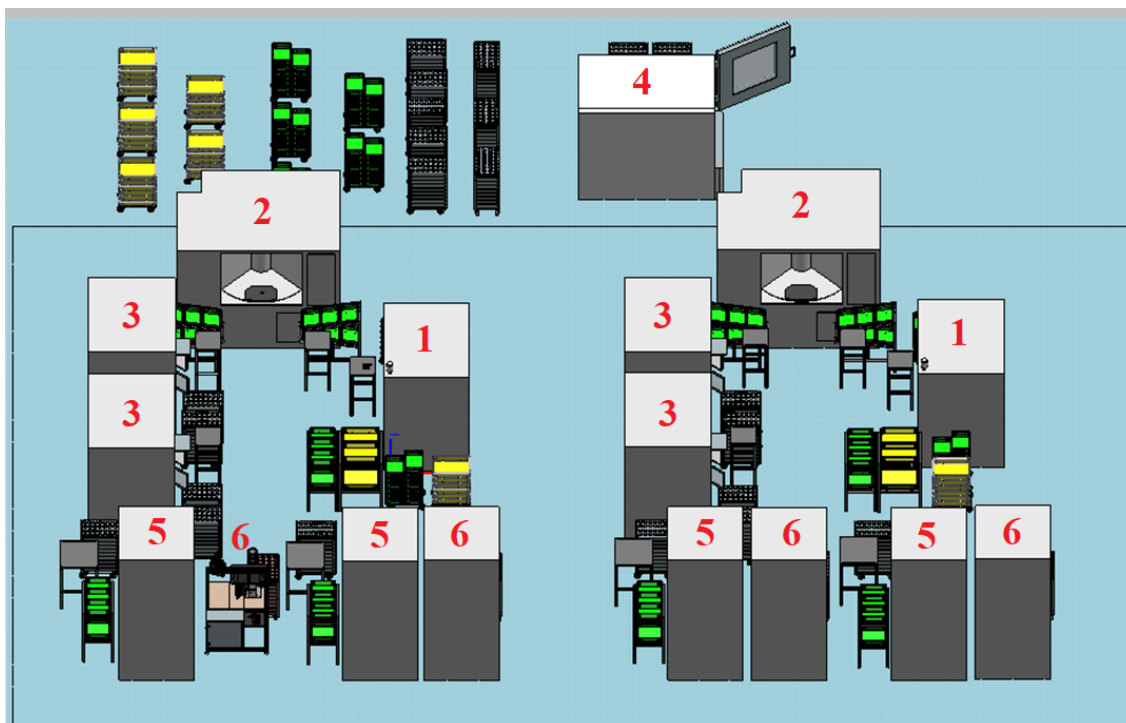
První hodnocenou variantou je výchozí návrh podniku, který byl vypracován již v raných fázích projektu. Tento návrh je vytvořen tak, aby plně vyhovoval nutným omezením podniku. Prostory vymezené pro tuto linku jsou tedy 200,5 m². Na vyobrazení linky jsou znázorněny tenkou černou čarou. Na obrázku 7.1 je znázorněn vlastní 3D model této varianty. Tato varianta je blíže popsána v kapitole 5.2.1.

Výhodou tohoto návrhu je snadný přístup k jednotlivým pracovištím. S přístupem k pracovištím se pojí zásobování, které je u tohoto návrhu velkou předností. Ke všem regálům u jednotlivých strojů je pro zásobování dostatek prostoru. Velkou výhodou je také minimální vzdálenost mezi pracovišti 1, 2, a 3, u kterých operátoři nemusí téměř vůbec přecházet.

Naopak za výrazné nedostatky této varianty layoutu autor práce považuje případné složité oddělení části linky (strojů Před-Montáž 1 (1), Před-Montáž 2 (2), VCAS (3)) do prostor čistého prostředí. Druhou spatřovanou nevýhodou je dlouhá vzdálenost mezi pracovišti VCAS (3), pece (4) a VCAFT (5). Operátor musí odebírat plné vozíky od pracoviště 3, ty přemístit do meziskladu umístěného u pece a následně od pece znovu urazit významnou vzdálenost k pracovišti následujícímu.

Shrnutí výchozího návrhu:

- Délka materiálového toku 107,7 m = 0,33 koeficient
- Dostupnost pracovišť = 1 koeficient
- Délka personálního toku: v rámci výrobního cyklu 116,8 m, zásobování strojů 74,5 m = 0,33 koeficient
- Rozmístění pracovišť: nevýhody – oddělení linky do čistého prostředí, zásobování strojů 5,6 = 0,66 koeficient



Obrázek 7.1: Výchozí návrh prostorového uspořádání

7.3 Varianta 1

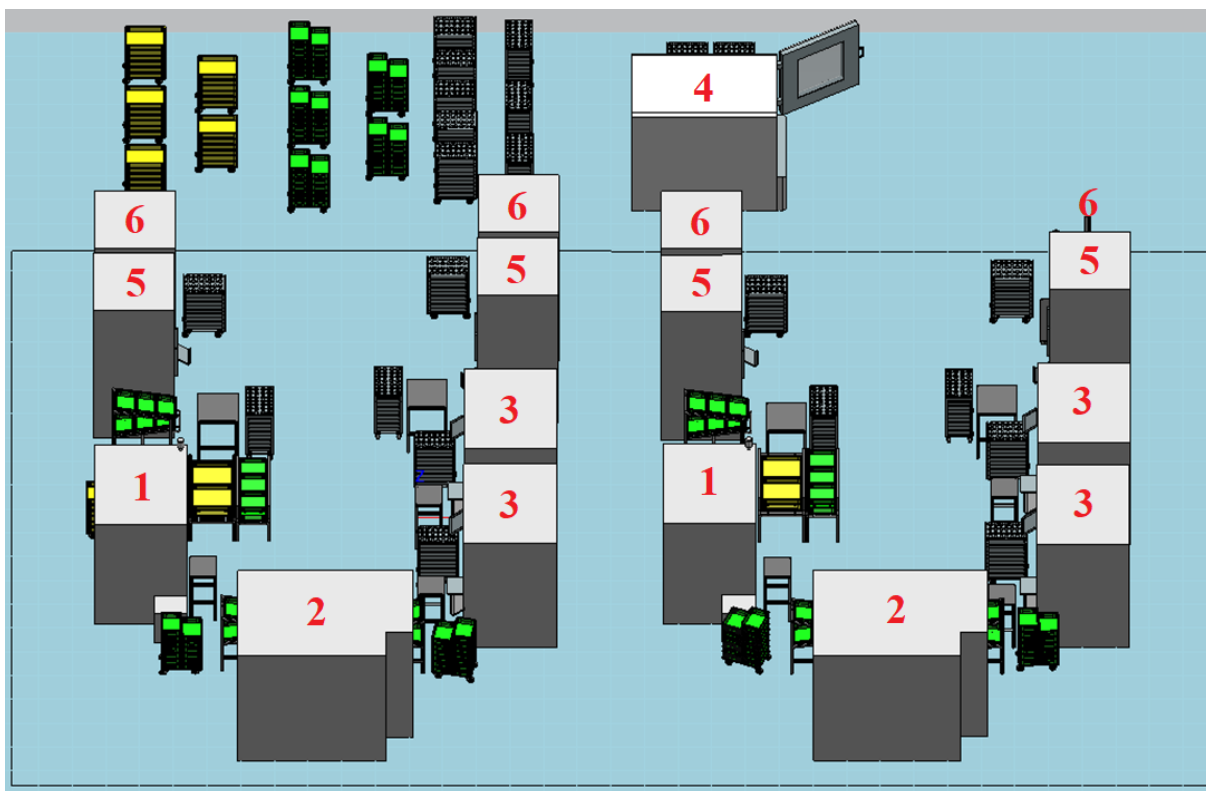
Druhou hodnocenou variantou je varianta č. 1, která je první vytvořenou variantou autora práce. U této varianty bylo zachováno totožné uspořádání pracovišť 1,2,3, které bylo výhodou původní varianty. Oproti výchozímu návrhu je zde zvoleno jiné rozestavení strojů 5 a 6, které jsou rozloženy ve směru linky. To zapříčinilo celkovou vyšší náročnost na šířku plochy, avšak do šířky 11,25 m linka může být situována. Celkový náhled varianty je na obrázku 7.2. Linka je rozmístěna naopak, než je u předchozí varianty. To znamená, že pracoviště 1, 2 a 3 jsou umístěny nejdále od pece, oproti tomu pracoviště 5 a 6 jsou umístěny blíže peci. U této varianty byla vytvořena řada návrhů, byl však vybrán návrh nejvhodnější z hlediska rozmístění strojů.

Výhodou tohoto návrhu je snížená manipulační vzdálenost mezi pracovišti 3, 4 a 5, kdy toto snížení je bližší rozmístění pracovišť 3 a 5 peci. Další výhodou této varianty je případné snadné oddělení části takovéto linky do místnosti čistého prostředí.

Nevýhodou může být lehce náročnější zásobování jednotlivých pracovišť. Významnou nevýhodou je nutnost využití větší šířky haly, do šířky dané omezující podmínkou společnosti 11,25 m by se tento návrh však vešel.

Shrnutí varianty 1:

- Délka materiálového toku 81,3 m = 1 koeficient
- Dostupnost pracovišť = 0,33 koeficient
- Délka personálního toku: v rámci výrobního cyklu 86,4m. zásobování strojů 79 m = 1 koeficient
- Rozmístění pracovišť: nevýhody – častý průchod pracovišti 5,6, náročnost na prostor = 0,66 koeficient



Obrázek 7.2: Návrh prostorového uspořádání Varianta 1

7.4 Varianta 2

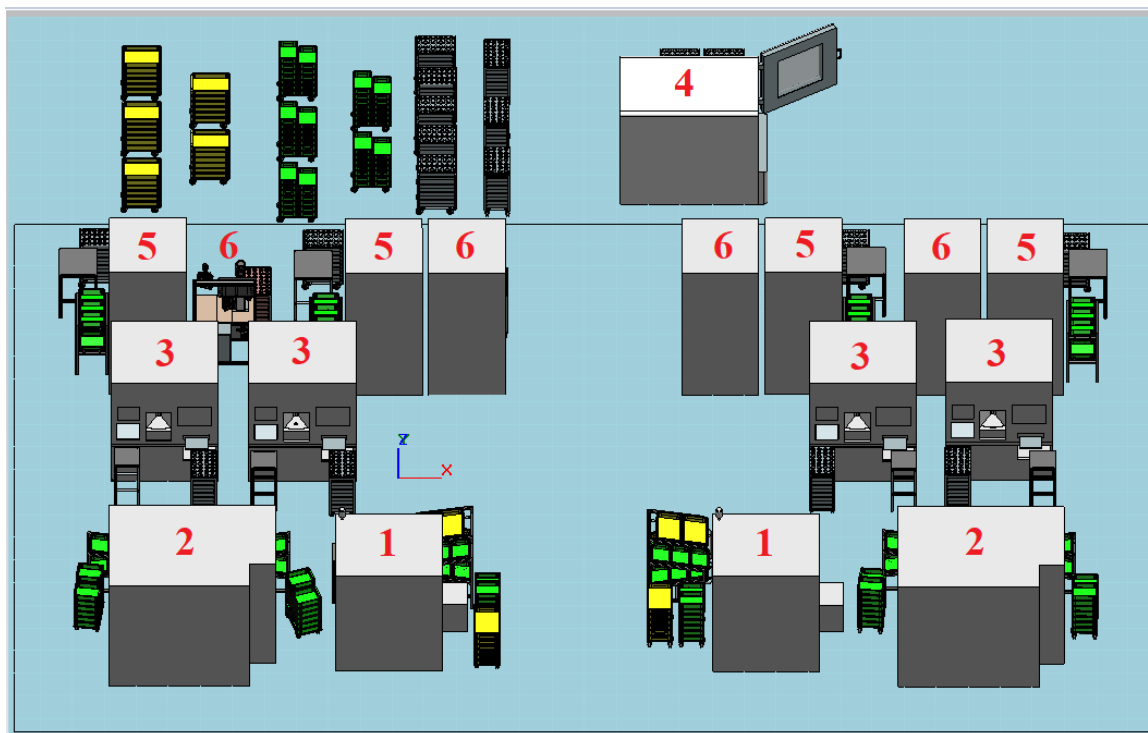
Druhou navrženou variantou autora práce je návrh výrazně se lišící od prvních dvou variant. Pro tento návrh byla stejně jako u varianty č. 1 zhotovena řada návrhů, z nichž byl vybrán nejvhodnější. Prostorové rozestavení strojů je vyobrazeno na obrázku 7.3. Rozložení jednotlivých strojů je založeno na rozložení linky do tří řad, kde v první linii jsou umístěny stroje 1 a 2. Naproti nim se nachází stroje 3. Poslední řada je situována zadní stranou strojů k předcházející. V této řadě jsou umístěny stroje 5 a 6. Tyto stroje se nachází v blízkosti pece a jejího meziskladu. Druhá plánovaná linka je sestavena stejně jako první, avšak je rozestavěna zrcadlově. Zrcadlové rozestavení strojů by nemělo způsobovat žádné výraznější problémy. V případě nevhodnosti tohoto rozložení je možné zachovat stejné rozestavení jako je na první lince na obrázku 7.3 vlevo.

Výhodami této varianty je velmi snadné oddělení části linky do prostor čistého prostředí. Zásobování linky je také silnou stránkou tohoto návrhu. Za přínos je také považováno vytvoření přístupné volné plochy v oblasti druhé řady strojů, která může být dále využívána.

Za nevýhodu může být považováno částečné rozdělení celé linky, tedy oddělení pracovišť 5 a 6, jelikož je však pracoviště 4 situováno dále od celé linky, částečné rozdělení linky by nemělo způsobovat výrazné problémy. Druhou nevýhodou může být zrcadlové rozložení druhé části linky, které může v prvotních fázích způsobovat zmatek. Jak však bylo zmíněno výše, není problémem zvolit stejné rozložení linky jako u první navržené.

Shrnutí varianty 1:

- Délka materiálového toku 80,4 m = 1 koeficient
- Dostupnost pracovišť = 0,66 koeficient
- Délka personálního toku: v rámci výrobního cyklu 91,5 m. zásobování strojů 86,9 m = 0,66 koeficient
- Rozmístění pracovišť: nevýhody – obrácený chod linky, stroje 5,6 jsou dále od zbytku strojů, vzdálenost mezi pracovišti 1,2 = 0,33 koeficient



Obrázek 7.3: Návrh prostorového uspořádání Varianta 2

7.5 Zhodnocení variant prostorového uspořádání

Následující tabulka 7-6 znázorňuje přehled výsledných hodnot multikriteriálního vyhodnocení pro každé kritérium. Hodnoty z této tabulky byly následně použity k výslednému hodnocení.

Tabulka 7-6: Multikriteriální vyhodnocení variant

Kritérium	Koeficient			Váha
	Výchozí návrh	Varianta 1	Varianta 2	
K1	0,66	0,66	0,33	0,052
K2	1	0,33	0,66	0,282
K3	0,33	1	1	0,577
K4	0,33	1	0,66	0,09

Pro celkové vyhodnocení jednotlivých variant je použit následující vzorec, který slouží k vypočtení procentuálního splnění jednotlivých kritérií.

Rovnice 7-2: Procentuální splnění jednotlivých kritérií [53]

$$Var_x = \sum_{i=1}^n koefvar_{x_{ki}} \times váha_{ki} \times 100\%$$

x...číslo varianty

y...počet variant

ki...kritérium i

i...číslo kritéria

n...počet kritérií

Tabulka 7-7: Výsledné vyhodnocení výsledků

	Výchozí návrh	Varianta 1	Varianta 2
K1	0,034	0,034	0,017
K2	0,282	0,093	0,186
K3	0,190	0,577	0,577
K4	0,030	0,09	0,059
Σ	0,54	0,79	0,84
%	53	79	84

Pomocí výsledného vyhodnocení, viz tabulka 7-7, byla za nejvhodnější variantu vybrána **varianta č. 2**, která je specifická svým rozmístěním strojů do řad. U tohoto návrhu nebyly zjištěny žádné výraznější nedostatky, proto tento návrh byl vyhodnocen na 84 %. Druhým návrhem v pořadí byl zvolen návrh č. 1, který obdržel hodnocení 74 %, rozdílovou částí mezi tímto a vítězným návrhem se zdá být dostupnost pracoviště, kde se tento návrh umístil nejhůře. Poslední umístěnou variantou je původní návrh, který získal pouhých 53 %, a to zejména kvůli vysoké délce jak personálního, tak také materiálového toku.

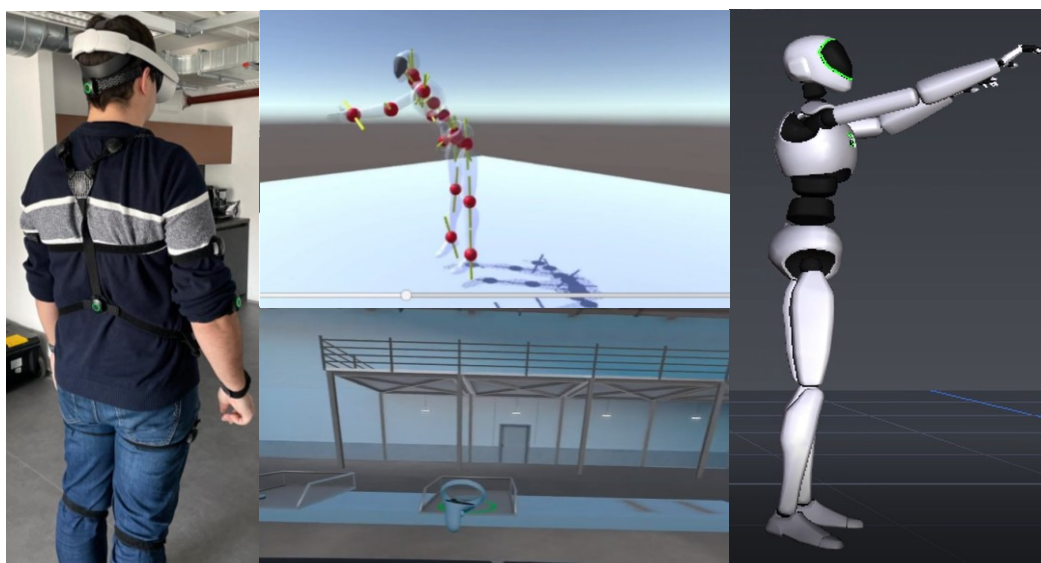
8 Simulace výrobního cyklu výrobku ve virtuální realitě

Kapitola simulace výrobního cyklu ve VR je finální kapitolou empirické části práce, zabývající se zkoumáním veškerých pohybů operátora v rámci jednotlivých pracovišť na plánované lince. Hlavním cílem této kapitoly je odhalení případných rizikových míst pomocí simulování pracovní činnosti operátorů. K tomuto účelu byl použit proprietární software Axis Studio, který se využívá pro snímání a nahrávání pohybů. Tato softwarová podpora umožňuje detailní nahrávání veškerých vykonávaných pohybů ve VR v reálném čase. Tento software podporuje propojení s produkty Preception Neuron Studio, jenž byly využity k snímání pohybů operátora. Preception Neuron Studio je tzv. motion capture oblek, dále pouze MOCAP, tedy oblek, na kterém jsou připojeny senzory snímající jednotlivé části lidského těla. Dále bylo nutné k propojení MOCAP obleku s VR využít brýle od společnosti Unity umožňující náhled do VR. Pro účely simulace byla vybrána varianta prostorového uspořádání, jež se umístila v celkovém hodnocení nejlépe (varianta 2). Simulace byla provedena pro operátora symbolizujícího 50. percentil lidské populace.

8.1 Průběh simulace

V prvotní fázi simulace bylo nutné převést model linky z programu Process Simulace do formátu, který je kompatibilní se softwarem společnosti Unity, umožňujícím připojení do VR a také softwarem Axis Studio, který sloužil k nahrávání jednotlivých pohybů. Po převedení souboru do nutné formy následovalo obléknutí figuranta do MOCAP obleku. Tento oblek bylo dále nutné konfigurovat, a to pomocí opakování základních poloh. Po konfiguraci následovalo nasazení brýlí, jež byly propojeny s výrobní linkou ve VR. Následně již nic nebránilo zahájení samotné simulace. V rámci této simulace byly provedeny pracovní cykly operátorů na jednotlivých pracovištích.

Obrázek 8.1 zobrazuje všechny nutné výše zmíněné aspekty, které musí být k realizaci simulace sladěny. Vlevo je znázorněn figurant nastrojený do MOCAP obleku a brýlí, které jsou propojeny s prostředím ve VR. Uprostřed se nachází část znázorňující monitorované oblasti. Pod touto částí je vyobrazen 3D model ve VR, ve které se pracovník nachází. Poslední částí obrázku je vyobrazení operátora pomocí softwarové podpory Axis Studio v momentu, kdy operátor zakládá plato do pece.



Obrázek 8.1: Simulace [54]

8.2 Výstupy ze simulací

Výstupem ze simulací jsou soubory formátu csv., které obsahují hodnoty jednotlivých pohybů pro všechny analyzované části těla. Tento soubor je převeden do výsledných tabulek v programu MS Excel. Výstupy jsou hodnoceny dle platných legislativních nařízení, tedy podle NV 361/2007 Sb., proto jsou zde uvedeny tři typy poloh, a to polohy přijatelné, podmíněně přijatelné a nepřijatelné. Lidské tělo je zde rozlišeno do 4 částí (trupu, krku, levé paže, pravé paže). Každá z těchto částí má rozlišené druhy pohybů. Oblasti trupu a krku jsou zde rozděleny dle flexe/extenze (ohnutí/natažení), abdukce/addukce (přitažení/odtažení) a rotace (otáčení). Oblast levého ramena a pravého ramena je rozdělena dle flexe/extenze a abdukce/addukce. Simulace byla rozdělena na dvě části, kde v první simulaci se nachází první tři pozice na lince (tedy Před-Montáž 1, Před-Montáž 2, a VCAS), druhá simulace obsahuje pozice zakládání do pece, VCAFT a kamerovou kontrolu. U výsledných hodnot je nutné počítat s drobnou odchylkou (drobným zhoršením) oproti skutečným hodnotám, a to z důvodu nutné kalibrace senzorů, které jsou velmi citlivé.

Tabulka 8-1: Výstupy ze simulace dle NV 361/2007 Sb. pro první tři pozice

VÝSTUPY - NV		Přijatelná			Podmíněně přijatelná			Nepřijatelná		
		Počet frame	min	%	Počet frame	min	%	Počet frame	min	%
Trup	Flexe / Extenze	1460	0,81	100%	0	0,00	0%	0	0,00	0%
	Abdukce / Addukce	1445	0,80	99%	15	0,01	1%	0	0,00	0%
	Rotace	725	0,40	50%	694	0,39	47%	41	0,02	3%
Krk	Flexe / Extenze	886	0,49	61%	462	0,25	31%	112	0,07	8%
	Abdukce / Addukce	1446	0,80	99%	14	0,01	1%	0	0,00	0%
	Rotace	535	0,30	37%	726	0,40	50%	199	0,11	14%
LevéRameno	Flexe / Extenze	776	0,43	53%	614	0,34	42%	70	0,04	5%
	Abdukce / Addukce	1329	0,74	91%	107	0,06	7%	24	0,01	2%
PravéRameno	Flexe / Extenze	1138	0,63	78%	177	0,10	12%	145	0,08	10%
	Abdukce / Addukce	1415	0,79	97%	20	0,01	1%	25	0,01	2%

Tabulka 8-1 je znázorněním prvních tří pozic na výrobní lince, celkový počet snímku z těchto pozic je 1460 a celý průběh první části linky trval 49 vteřin. Z tabulky je zřejmé, že oblast trupu se v nejvyšší míře drží v oblasti poloh přijatelných či podmíněně přijatelných. Poloha nepřijatelná se zde vyskytuje pouze u rotace trupu, a to ve 3 %, z celkových 1460 snímků. U oblasti krku se nepřijatelná poloha vyskytuje v 8 % z celkového času u ohybu a ve 14% u rotace. Oblast ramen po nejdělsí časový úsek se drží v oblasti pohybů přijatelných či podmíněně přijatelných, nicméně se zde vyskytují také oblasti nepřijatelných pohybů, avšak jejich podíl z celkových pohybů nepřesahuje 10 % z celkového času.

Tabulka 8-2: Výstupy ze simulace dle NV 361/2007 Sb. pro poslední tři pozice

VÝSTUPY - NV		Přijatelná			Podmíněně přijatelná			Nepřijatelná		
		Počet frame	min	%	Počet frame	min	%	Počet frame	min	%
Trup	Flexe / Extenze	1288	0,72	95%	0	0,00	0%	61	0,03	5%
	Abdukce / Addukce	1349	0,75	100%	0	0,00	0%	0	0,00	0%
	Rotace	1168	0,65	86%	181	0,10	13%	0	0,00	0%
Krk	Flexe / Extenze	1014	0,56	75%	211	0,11	15%	124	0,08	10%
	Abdukce / Addukce	1310	0,73	97%	39	0,02	3%	0	0,00	0%
	Rotace	792	0,44	59%	331	0,18	24%	226	0,13	17%
LevéRameno	Flexe / Extenze	857	0,48	63%	282	0,17	24%	173	0,10	13%
	Abdukce / Addukce	1194	0,66	88%	35	0,02	3%	120	0,07	9%
PravéRameno	Flexe / Extenze	1040	0,58	77%	127	0,07	9%	182	0,10	13%
	Abdukce / Addukce	1067	0,59	79%	160	0,09	12%	122	0,07	9%

Tabulka 8-2 vyobrazuje celkové hodnocení simulace u pozic pece, VCAFT a kamerové kontroly, celkový počet snímků u této části linky je 1349, což při přepočtu znamená 45 vteřin. Oblast trupu se u těchto pozic vyskytuje převážně v přijatelných polohách. U oblasti krku se vyskytují také polohy podmíněně přijatelné či nepřijatelné. Polohy nepřijatelné jsou zde zastoupeny z 10 % u flexe a z 17 % u rotace. Pozice pravého a levého ramene je z hlediska zastoupení v jednotlivých skupinách pohybů velmi podobná. Z největší části jsou zde zastoupeny pohyby přijatelné, nicméně se zde vyskytují také polohy nepřijatelné, a to z 13 % u flexe/extenze a 9 % u abdukce/addukce.

Tabulka 8-3: Sumární hodnocení první tři pozice

VÝSTUPY - SUM POLOH	Přijatelná			Podmíněně přijatelná			Nepřijatelná		
	Počet frame	min	%	Počet frame	min	%	Počet frame	min	%
Trup	710	0,39	48%	709	0,39	48%	41	0,02	3%
Krk	271	0,15	19%	942	0,52	64%	247	0,14	17%
LevéRameno	704	0,39	48%	674	0,37	46%	82	0,05	6%
PravéRameno	1134	0,63	77%	169	0,09	12%	157	0,09	11%

V tabulce 8-3 je znázorněno celkové vyhodnocení poloh pro první tři pozice. Stěžejní je zejména hodnocení u nepřijatelných poloh, kde v oblasti trupu vyšly 3 %, v oblasti krku 17 %, pro levé rameno 6 % a pro pravé rameno 11 %. Nejhuře tak dopadla oblast krku, která je velmi citlivá na veškeré pohyby. Celkový čas strávený v nepřijatelné za jeden cyklus pro oblast krku činí 8,3 vteřin, pro oblast trupu 1,5 vteřin, pro levé rameno 3 vteřin a pro pravé rameno 5,4 vteřin.

Tabulka 8-4: Sumární hodnocení poslední tři pozice

VÝSTUPY - SUM POLOH	Přijatelná			Podmíněně přijatelná			Nepřijatelná		
	Počet frame	min	%	Počet frame	min	%	Počet frame	min	%
Trup	1107	0,62	82%	181	0,10	13%	61	0,03	5%
Krk	585	0,33	43%	475	0,26	35%	289	0,16	21%
LevéRameno	784	0,44	58%	348	0,19	26%	217	0,12	16%
PravéRameno	883	0,49	65%	236	0,13	18%	230	0,13	17%

Tabulka 8-4 je vyhodnocením následujících tří poloh. Oproti tabulce 8-3 je pozorováno drobné zhoršení hodnot, a to zejména kvůli výskytu pracoviště pece, které je z hlediska ergonomie nejnáročnější, avšak jeho cyklus za celou pracovní dobu je velmi nízký. Nepřijatelné hodnoty pro krk, levé rameno a pravé rameno zde dosahují hodnot mezi 16-21 % z celkového času 45 vteřin. Celkový čas strávený v nepřijatelné poloze za jeden cyklus je pro trup 2,3 vteřin, pro krk 7,6 vteřin a pro pravé a levé rameno 7,2 vteřin.

8.3 Zhodnocení simulací

Na základě provedených simulací bylo zjištěno, že navzdory provedeným opatřením je z hlediska ergonomie stále nejnáročnějším pracoviště pece, u kterého se operátor zcela nevyvaruje výskytu v nepřijatelných polohách. Ačkoliv na základě ergonomických metod bylo pozorováno výrazné zlepšení u tohoto pracoviště, tak při simulování výrobního cyklu operátor při zakládání do horní pozice pece vykazuje zejména v oblasti horních končetin vysokou ergonomickou náročnost. Cyklus pece je však opakován pouze jednou až dvakrát za osmihodinovou směnu, proto toto pracoviště v celkovém součtu nedosahuje limitních hodnot pro práci v nepřijatelných polohách za směnu. U dalších pracovišť nebyly zjištěny závažnější nedostatky z hlediska ergonomie. Simulace odhalila možnost výskytu nepřijatelných poloh v určitých bodech linky, tento výskyt je však velmi závislý na jednotlivém pojetí pracovní činnosti každého pracovníka, v celkovém součtu se však tyto časy neblíží limitním hodnotám stanoveným dle platných legislativních předpisů. Pomocí simulace bylo dále zjištěno, že

nejhorších výsledků je dosahováno v oblasti hlavy a krku, u těchto výsledků je však možný výskyt drobné odchylky od skutečných hodnot, kvůli značné náročnosti kalibrace senzorů MOCAP obleku v oblasti hlavy a krku. Simulace dále odhalily, že se operátor při práci na jednotlivých pracovištích celkem z 94 % vyskytuje uvnitř dosahových zón. Takovýto výsledek je považován za pozitivní a značí tak velmi dobré předpoklady této linky pro navržení ergonomicky vyhovujících pracovišť.

9 Výsledné zhodnocení výstupů

Empirická část této diplomové práce byla rozdělena do čtyř hlavních kapitol. První kapitolou, představující zkoumanou výrobní linku a kladný přístup vybraného podniku k ergonomii, je kapitola 5. Přínosem a hlavním výstupem této kapitoly pro diplomovou práci a především pro podnik je zpracování vlastních 3D modelů strojů, které byly podstatné pro navazující tvorbu ergonomických analýz a jejich následné vyhodnocení.

Závěrečné shrnutí výstupů z diplomové práce, z kapitol 6, 7 a 8, je rozděleno do následujících tří částí, a to:

- výstupy z ergonomických metod,
- řešení prostorového uspořádání linky,
- výstupy z provedených simulací.

Tyto podkapitoly jsou stěžejní částí této diplomové práce, proto budou rámci této kapitoly shrnuty jejich výstupy.

9.1 Výstupy z ergonomických metod

Součástí ergonomického hodnocení pracovních poloh bylo zvolení vhodných hodnocených pozic. K tomuto účelu bylo vybráno autorem práce šest různých poloh, které byly vyhodnoceny analýzou RULA a metodou NV 361/2007 Sb., v rámci kapitoly 6.

Zkoumané pozice:

- vyjmutí předního krytu kamerky z krabice,
- založení prázdné krabice do regálu,
- odebrání kamerky z výrobní plochy,
- ohyb pro proklad,
- zakládání do pece,
- úchop více komponentů naráz.

Provedené ergonomické metody pomohly odhalit potenciální riziková místa výrobní linky, která se nacházejí především při pozici zakládání do pece a odebírání prokladů ze spodních pater vozíků. Mimo to byly odhaleny další drobné nedostatky, které byly dále společně řešeny v rámci kapitoly 6.5. Výsledné hodnoty z provedené analýzy RULA a metody NV 361/2007 Sb. jsou zobrazeny a popsány v tabulce 6-2 a tabulce 6-3. Do diplomové práce pak byla zahrnuta již zmíněná kapitola 6.5, představující návrhy na jednotlivé úpravy pracovišť a rizikových míst. Celkem bylo vytvořeno pět návrhů, mezi které patří:

- návrh na úpravu pracoviště Před-Montáž 1,
- návrh na úpravu pracoviště pece
- přidání vozíku s prázdnými proklady na pracoviště VCAS,
- úprava regálů,
- změna využívaných přepravních vozíků.

Po navržení úprav byla následně provedena kontrolní analýza RULA, která měla za cíl potvrdit a dokázat, že výsledné hodnoty RULA skóre v případě implementace navržených změn dosáhnou lepších a přijatelnějších hodnot, než v případě porovnávaného výchozího stavu.

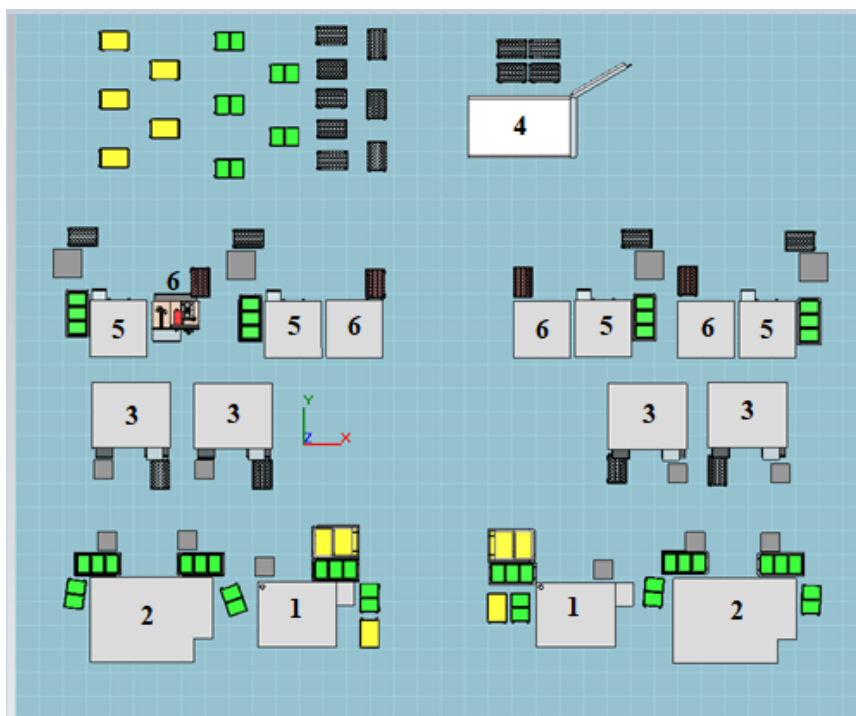
Finální výsledky RULA analýzy a hodnocení jsou vyobrazeny v souhrnné tabulce 6-4. Z tabulky je zřejmé, že výrazného zlepšení bylo dosaženo zejména v oblasti zakládání do pece a odebírání prokladů z vozíků. U obou rizikových poloh bylo dosaženo snížení výsledného RULA skóre z kritických hodnot 6 či 7 na hodnot 2 a 3, které jsou považovány za přijatelné či

podmíněně přijatelné polohy. V tabulce po provedení úprav se již nevyskytuje žádná pozice, která by dosahovala nepřijatelných hodnot a lze tak konstatovat, že plánovaná výrobní linka má vysoký potenciál pro navržení ergonomicky vhodných pracovních pozic.

9.2 Řešení prostorového uspořádání linky

Druhou stěžejní kapitolou v empirické části diplomové práce, v kapitole 7, bylo navržení potenciálního re-layoutu linky, který by splňoval řadu nezbytných omezení. Pro tento účel byly zvoleny hodnotící kritéria, na základě kterých byly navržené layouty hodnoceny. U prostorového uspořádání linky byly hodnoceny tři různé návrhy, kde prvním z nich byl výchozí návrh společnosti. Další dva návrhy byly vytvořeny na základě zvolených kritérií.

Nejlepšího skóre dosáhl návrh č. 2, jenž je vyobrazen na obrázku 9.1. Signifikantním prvkem tohoto návrhu je rozdělení linky na dvě oddělené části, kde stroje VCAFT a kamerová kontrola (stroje 5 a 6) jsou ke zbytku linky otočeny. Výhodou tohoto návrhu je potenciální snadné oddělení linky do prostorů čistého prostředí. Dalšími přínosy tohoto návrhu je délka materiálového a personálního toku, ale také velká přehlednost jednotlivých pracovišť a dostatek místa u jednotlivých pozic. Mimo to je velkým přínosem snadný přístup k jednotlivým pracovištím a s tím spojené zásobování jednotlivých strojů. Tato navrhovaná varianta prostorového uspořádání linky se bez větších problémů vejde na předem vymezené místo a nacházel by se zde i dostatečný prostor pro potenciální manipulační uličku vedoucí do meziskladu.



Obrázek 9.1: Prostorové uspořádání Varianta 2

9.3 Výstupy z provedených simulací

V poslední řadě byly v praktické části provedeny simulace ve virtuální realitě pomocí MOCAP obleku. Cílem těchto simulací bylo ověření ergonomické situace zkoumané linky po navržení úprav. K tomuto účelu byly vytvořeny dvě simulace, jejichž výstupy byly hodnoceny dle platných legislativních předpisů, a to konkrétně dle NV 361/2007 Sb. Navzdory výstupům z analýzy RULA po provedení úprav byl pomocí simulací odhalen potenciální výskyt

nepříjemné polohy především při zakládání do pece. Pozitivním výstupem ze simulací je výsledek výskytu práce v dosahových zónách. Na základě simulací nebyly dále zjištěny další výraznější nedostatky na jednotlivých pracovištích. I přes velmi dobrý potenciál této linky bude při zavádění linky do provozu nutné standardizovat pracovní postupy na jednotlivých pracovištích tak, aby se pracovník v co nejnižší míře nacházel v nepříjemných polohách. To podniku může zajistit nižší riziko výskytu nemocí z povolání, a tím i zvýšení konkurenceschopnosti podniku.

Závěr

Předložená diplomová práce byla zpracována na téma „*Ergonomická analýza pracoviště*“. Diplomová práce je rozdělena do devíti hlavních kapitol, přičemž první čtyři kapitoly představují zpracování problematiky ergonomie, ergonomických analýz, prostorového uspořádání pracoviště a softwarových nástrojů za použití odborných publikací a dalších sekundárních zdrojů a jež tak tvoří teoretický základ zkoumané problematiky pro empirickou část diplomové práce. Empirická část práce je rozdělena do pěti hlavních kapitol.

V první kapitole je představeno základní pojetí ergonomie, možné definice a přístupy, a také rozdělení ergonomie do dvou oblastí dle Mezinárodní ergonomické asociace. Významnou podkapitolou první části této práce je objasnění významu ergonomie a jejích cílů. Dále tato kapitola popisuje platnou legislativní úpravu ergonomie. Závěr kapitoly je věnován možným nemocím z povolání, které v důsledku pracovní činnosti vznikají. Podstatou druhé kapitoly je definování ergonomie ve vztahu k pracovišti. Zároveň jsou zde uvedeny typy prostorového uspořádání pracoviště, přičemž blíže byly popsány dva způsoby, a to předmětné a technologické prostorové uspořádání výroby.

Vzhledem k hlavnímu cíli této práce se třetí kapitola věnuje metodám v hodnocení ergonomických rizik. Stěžejními metodami pro další postup v empirické části práce je metoda RULA a hodnocení pracovních poloh dle nařízení vlády (NV) č. 361/2007 Sb. Navazující kapitolou je kapitola čtyři, která je poslední kapitolou teoretické části této práce. V rámci této kapitoly jsou blíže přiblíženy softwarové nástroje pro podporu ergonomie a pro tvorbu layoutu. Ze softwarové podpory pro podporu ergonomie byly vybrány programy Tecnomatix Jack Human Simulation a Process Simulate, od společnosti Siemens.

Pátá kapitola je zároveň vstupní kapitolou empirické části diplomové práce, která současně propojuje teoretickou část s praktickou částí. V této kapitole byl představen vybraný podnik a zkoumané pracoviště. Pro zpracování diplomové práce byl vybrán podnik **VALEO AUTOKLIMATIZACE, k.s.**, který sídlí v Rakovníku a problematiku ergonomie již v rámci své podnikové kultury řeší. Tato kapitola tedy nejen seznamuje se samotným podnikem, ale také představuje postoj společnosti Valeo k ergonomii pomocí příruček a standardů podniku pro práci vstoje. Tato kapitola zahrnovala popis současného stavu pracoviště a výrobní linky, skládající se z 6 samostatných strojů. Závěrem této kapitoly je mockup model plánované výrobní linky, který přibližuje podobu výrobní linky, jejích rozměrů a predispozic, ale také odhalených nedostatků v layoutu.

Šestá kapitola s názvem aplikace ergonomických metod je stěžejní kapitolou celé diplomové práce. Pro další postup práce byly zvoleny analýza RULA a metoda NV 361. Jako softwarová podpora byl vybrán program Tecnomatix Jack od společnosti Siemens. Při práci bylo pracováno s 3D postavami reprezentující dle výšky a váhy 5. a 95. percentil lidské populace. Pro realizaci ergonomických analýz a metod bylo vybráno celkem 6 pozic. V rámci analýzy RULA dosáhlo nejvyššího, tedy nejhoršího RULA skóre pozice 4 – ohyb operátora pro plato, a to jak pro 5. percentil, tak 95. percentil. Mezi pozicemi s vysokým RULA skóre se také objevila pozice pátá, která je zakládání do pece. Zde dosáhla pozice RULA skóre 6 pro 5. percentil populace. Na základě hodnocení NV 361 jsou pozice 4 a 5 také v rámci ergonomie neuspokojivé. Jako rizikové oblasti jsou zde označeny především ramena, zápěstí a trup. Pro 95. percentil jsou navíc za nepřijatelné polohy označeny pozice 1 – úchop pouzdra a 6 – úchop kamery a krytu, a to z důvodu nepřijatelné polohy hlavy a krku. Na základě provedených analýz a shrnutí výstupů jsou v práci dále představeny návrhy na zlepšení pracovišť. Navrženými návrhy je vytvoření odkládací plochy blíže k operátorovi, úprava poliv v peci, přidání schůdku v prostoru

před pecí a úprava regálů. Jako návrh byl také zapracován podnět ke změně přepravních vozíků, který by nabízel funkci mechanického či pneumatického zdvihu.

Sedmá kapitola se zabývala prostorovým uspořádáním linky, která byla zahrnuta do diplomové práce na vlastní žádost podniku Valeo. Podstatou této kapitoly je představení současného návrhu prostorového uspořádání nové výrobní linky a dvou vlastních návrhů alternativ layoutu. Na základě stanovených hodnocených kritérií, omezení a významnosti kritérií za pomoci Saatyho metody bylo sestaveno výsledné pořadí významnosti kritérií. Dále jsou všechny tři návrhy popsány a jsou zde shrnuty výhody a nevýhody pro každou variantu, včetně délky materiálového a personálního roku a rozmístění pracovišť. Závěrem této kapitoly je zhodnocení variant prostorového uspořádání, a to pomocí výsledných hodnot multikriteriálního vyhodnocení pro jednotlivé kritérium. Za nejvhodnější variantu dle výpočtů byla zvolena varianta layoutu 2, jež bude také podniku Valeo představena.

Osmou kapitolou je kapitola řešící simulaci výrobního cyklu pomocí využití virtuální reality a MOCAP obleku. V kapitole jsou blíže přiblíženy dvě provedené simulace a jejich výstupy, jež byly hodnoceny dle metody NV 361/2007 Sb. Závěrem kapitoly jsou tyto výstupy zhodnoceny.

Závěrečnou kapitolou je kapitola devátá, v rámci které jsou shrnuty výstupy ze stěžejních kapitol této diplomové práce. Ergonomická analýza poukázala na několik problematických pracovních poloh. Implementace navržených návrhů na zlepšení by však mohla podniku docílit velmi přívětivého pracovního prostředí pro své zaměstnance a přinést pozitivní efekt nejen z pohledu humánního, v podobě např. zvýšení spokojenosti pracovníků, ale také především z pohledu ekonomického, v podobě zvýšení produktivity práce, snížení celkového času potřebného k vykonání určitého pracovního úkonu nebo snížení výskytu některých nemocí z povolání.

Seznam použité literatury

- [1] BUREŠ, M. ŽIVDIG. *Tvorba a optimalizace pracoviště, e-book*. Plzeň: ZČU-KPV, 2013. ISBN 978-80-87539-32-3
- [2] SHORROCK, S., WILLIAMS, C. *Human Factors and Ergonomics in Practice Improving System Performance and Human Well-Being in the Real World*. CRC Press, 2017. ISBN 9781472439253.
- [3] MALÝ, S. a spol. *Ergonomické stresory pod kontrolou aneb Ergonomie – jak na to*. 1.vyd. Praha: VÚBP, 2016. ISBN 978-80-87676-27-1
- [4] CHUNDELA, L. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. 173 s. ISBN 978-80-01-05173-3
- [5] GILBERTOVÁ, S., MATOUŠEK, O. *Ergonomie – Optimalizace lidské činnosti*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2002. ISBN 80-247-0226-6
- [6] BUREŠ, M. *Ergonomie – Úvod*. Plzeň, 2012. Přednáška z předmětu ŘOP. Západočeská univerzita v plzni, FST, Katedra KPV
- [7] *What Is Ergonomics (HFE)?* [online]. [cit. 06-11-2022]. Dostupné z: <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>
- [8] *Poznátky ergonomie uplatňované v technické praxi*. [online]. [cit. 14-10-2022]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/poznatky-ergonomie-uplatnovane-v-technicke-praxi>
- [9] SLAMKOVÁ, E., DULINA, L., TABAKOVÁ, M. *Ergonómia v priemysle*. 1.vyd. Žilina: GEORG knihárstvo, 2010. ISBN 978-80-89401-09-3
- [10] SOARES, M. M. *Ergonomics in design – methods and techniques*. CRC Press, 2019. ISBN 9780367356903.
- [11] MAREK, J., SKŘEHOT, P. *Základy aplikované ergonomie*. Praha: VÚBP, 2009. ISBN 978-80-86973-58-6
- [12] *Nariadení vlády č. 361/2007 Sb.* [online]. [cit. 18-10-2022]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>
- [13] ŠVÁBOVÁ, K., a kol. *Vybrané kapitoly z pracovního lékařství. Díl 1, Pracovnílékařské služby, pracovní prostředí, nemoci z povolání, ergonomie*. 1. vydání. Praha: Institut postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví, 2015. ISBN 978-80-87023-32-7.
- [14] *Nejčastější nemoci z povolání v České republice za posledních 10 let (2010–2020)*. 2021. [online]. [cit. 15-11-2022]. Dostupné z: <https://www.bozp.cz/aktuality/nemoci-z-povolani-2010-2020/>
- [15] *Nemoci z povolání v České republice*. [online]. [cit. 09-11-2022]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/publikace/data/nemoci-z-povolani-a-ohrozeni-nemoci-z-povolani-v-ceske-republice>
- [16] *Pracovní prostředí: pracovní místo*. [online]. [cit. 14-10-2022]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/ergonomicke-parametry-pracovniho-mista>
- [17] *Workplace Ergonomics*. [online]. [cit. 09-11-2022]. Dostupné z: <https://ergo-plus.com/workplace-ergonomics/>
- [18] BUREŠ, M. *Ergonomie – pracoviště*. Plzeň, 2018. Přednáška z předmětu ŘOP. Západočeská univerzita v plzni, FST, Katedra KPV
- [19] MALÝ, S., SVOBODOVÁ, L., TILHON, J., MLEZIVOVÁ, I. *Ergonomické stresory pod kontrolou aneb Ergonomie – jak na to*. 2. vyd. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2019. ISBN: 978-80-87676-28-8.

- [20] NĚMCOVÁ, V. *V kanceláři 18 °C, na WC 15 °C. Jak vláda změnila minimální teplotu na pracovištích?* 2022. Finance.cz [online]. [cit. 15-11-2022-]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/543855-snizeni-teplot-na-pracovisti-2022/#K2>
- [21] KERKOVSKÝ, M., VALSA, O. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3. vyd. Praha: C. H. Beck, 2012. 176 s. ISBN 987-80-7179-319-9
- [22] RUSHTON, A., CROUCHER, P., BAKER, P. *The handbook of logistics and distribution management*. 5th edition. 2014. ISBN 978-0-7494-6627-5.
- [23] TOMEŠ, R., ALCNAUER, J. *Konzistence matice párových porovnání při použití Analytického hierarchického procesu (AHP)*. 2014. [online]. [cit. 03-05-2023]. Dostupné z: http://bit.fsv.cvut.cz/issues/02-14/full_02-14_06.pdf
- [24] JANUŠKA, M. *Úvod do operativního řízení projektu*, Plzeň: Západočeské univerzita v Plzni, 2018. 170 s. ISBN 978-80-261-0800-9
- [25] RIEGEL, J. *Sankey diagram benefits for factory layout planning*. [online]. [cit. 10-11-2022]. Dostupné z: <https://www.vistable.com/blog/sankey-diagram-benefits-for-factory-layout-planning/>
- [26] TVRDOŇ, L., BAZALA, J, a kolektiv. *Metoda CRAFT*. [online]. [cit. 10-11-2022]. Dostupné z: https://www.dlprofi.cz/log/?uniqueid=mRRWSbk196FNf8-jVUh4EkKpRnC_SJUxt_ewfx1ZZw&coolurl=1§ion=33
- [27] BOWDEN, S. *Rapid Upper Limb Assessment Tool (RULA)- A step by step guide*. [online]. [cit. 20-10-2022]. Dostupné z: <https://www.morganmaxwell.co.uk/rapid-upper-limb-assessment-rula-worksheet-tool-free-pdf-download/>
- [28] MIDDLESWORTH, M. *A Step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool*. [online]. [cit. 20-10-2022]. Dostupné z: <https://ergo-plus.com/rula-assessment-tool-guide/>
- [29] MIDDLESWORTH, M. *A Step-by-Step Guide Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*. [cit. 20-10-2022]. Dostupné z: <https://ergo-plus.com/wp-content/uploads/RULA-A-Step-by-Step-Guide1.pdf>
- [30] HLÁVKOVÁ, J., VALEČKOVÁ, A. *Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik*. Praha: Státní zdravotní ústav, 2007. ISBN 978-80-7071-289-4
- [31] SEKULOVÁ, K., ŠIMON, M. *Využití legislativy jako součásti ergonomického nástroje Tecnomatix Jack*. Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti [online]. [cit. 14-10-2022]. 2012, roč. 5, č. 3-4. Dostupný z: <https://www.bozpinfo.cz/josra/vyuziti-legislativy-jako-soucasti-ergonomickeho-nastroje-tecnomatix-jack>
- [32] BUREŠ, M. *Ergonomie – člověk*. Plzeň, 2018. Přednáška z předmětu ŘOP. Západočeská univerzita v Plzni, FST, Katedra KPV
- [33] https://vyuka.o2chytraskola.cz/clanek/51/virtualni-realita-vr-ve-vzdelavani/?gclid=CjwKCAjwjMiiBhA4EiwAZe6jQx6z2gvoo85vLq7s8gDv_yv2KgMCsONhy3bw5-aZty_GS7OE8K907xoC32UQAvD_BwE
- [34] KVASNIČKA, T., *Možnosti využití systémů Motion Capture*. Liberec, 2022. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [35] *Axis studio – Complete Motion Capture Software Solution*. [online]. [cit. 03-05-2023]. Dostupné z: <https://neuronmocap.com/pages/axis-studio>
- [36] ŠPLÍČHALOVÁ, A. *Lokální svalová zátěž*. [online]. [cit. 06-11-2022]. Dostupné z: <https://www.mediprofi.cz/33/lokalni-svalova-zatez-dale-tez-lsz-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EtMunbzcZlB9k8kPJn8luNs/>

- [37] *Věstník*. Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2022. [online]. [cit. 15-11-2022]. Dostupné z: https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/2022/05/Vestnik-MZ_6-2022.pdf
- [38] *NIOSH Lifting Index*. [online]. [cit. 15-11-2022]. Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/NIOSH-Lifting-Index.htm>
- [39] *CAD.cz* [online]. [cit. 26-10-2022]. Dostupné z: <https://m.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/8546-software-od-spolecnosti-siemens-umoznil-vytvorit-v-automotive-lighting-ergonomictejsi-pracoviste-a-prrspel-k-vyssi-efektivite-prace.html>
- [40] *Delmia V5 Robotics*. [online]. [cit. 26-10-2022]. Západočeská univerzita v Plzni, FST, Katedra KPV. Dostupné z: <https://www.digipod.zcu.cz/index.php/oblasti-nasazeni/robotika/delmia-v5-robotics>
- [41] *Tecnomatix Jack Human Simulation*. [online]. [cit. 02-11-2022]. Dostupné z: <https://www.inoprod.com/software/tecnomatix/jack-human/>
- [42] *Tecnomatix Jack*. [online]. [cit. 26-10-2022]. Západočeská univerzita v Plzni, FST, Katedra KPV. <https://www.digipod.zcu.cz/index.php/oblasti-nasazeni/ergonomie/jack>
- [43] *Tecnomatix Jack*. 2018. [online]. [cit. 26-10-2022]. <https://www.geopl.m.com/knowledge-base-resources/GEOPLM-Siemens-PLM-Tecnomatix-Jack.pdf>
- [44] *Tecnomatix Jack*. [online]. [cit. 09-11-2022]. Dostupné z: <https://dts-asia.com/products/tecnomatix-jack>
- [45] *Layout & material flow*. [online]. [cit. 09-11-2022]. Dostupné z: <https://www.vistable.com/>
- [46] *Valeo*, 2022a. [online]. [cit. 17-11-2022]. Dostupné z: https://www.valeo.com/cs/ceska-republika/#utm_source=firmy.cz&utm_medium=ppd&utm_campaign=firmy.cz-197084
- [47] *Valeo*, 2022b. [online]. [cit. 17-11-2022]. Dostupné z: <https://www.valeo.com/en/research-development/>
- [48] VALEO AUTOKLIMATIZACE, k.s. (2023). *Aplikace příručky doporučení Pozice*, Interní dokument podniku VALEO AUTOKLIMATIZACE, k.s. se sídlem v Rakovníku.
- [49] *LLM Handling*, 2023. [online]. [cit. 21-03-2023]. Dostupné z: <https://www.llmhandling.co.uk/category/scissor-lift-tables>
- [50] *Scissor Tables UK Ltd.*, 2023. [online]. [cit. 21-03-2023]. Dostupné z: <https://www.mobile-scissor-tables.co.uk/category/portable-hydraulic>
- [51] *First Mats Ltd.*, 2023. [online]. [cit. 21-03-2023]. Dostupné z: <https://www.firstmats.co.uk/collections/scissor-lift-trolleys>
- [52] *Kaiser+Kraft*, 2023. [online]. [cit. 21-03-2023]. Dostupné z: <https://www.kaiserkraft.cz/zvedaci-pristroje/nuzkove-zvedaci-voziky/c/7449183-KK>
- [53] ŘÍHOVÁ, A., *Navržení layoutu ručních pracovišť v nové výrobní hale*. Plzeň, 2017. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [54] *Návrh ergonomického pracoviště ve VR pomocí MOCAP*. [online]. [cit. 03-05-2023]. Dostupné z: <https://www.nastartujtese.cz/projekty/1461/navrh-ergonomickeho-pracoviste-ve-vr-pomoci-mocap>