ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Diplomová práce

Využití ergonomické simulace v rámci návrhu montážních pracovišť

The use of ergonomic simulation in the design of assembly workplaces

Autor: Bc. Adam Tomášek

Studijní program: N0715A270001 – Výrobní inženýrství

Studijní obor: N071TVIN – Bez specializace

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Kellner

Praha 2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Tomášek** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **483916**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**

Studijní program: **Výrobní inženýrství**

Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití ergonomické simulace v rámci návrhu montážních pracovišť

Název diplomové práce anglicky:

The use of ergonomic simulation in the design of assembly workplaces

Pokyny pro vypracování:

1. Teorie ergonomie montáže
2. Analýza současného stavu metod zhodnocení ergonomie
3. Návrh nových metod s využitím simulačních nástrojů
4. Návrh metodiky zhodnocení ergonomie montáže.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Tomáš Kellner ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **31.03.2023** Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2023**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Tomáš Kellner podpis vedoucí(ho) práce	Ing. Libor Beránek, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

. _____
Datum převzetí zadání

_____
Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na vytvoření metodiky, pomocí níž bude analyzována ergonomie v rámci návrhu montážních linek pomocí simulačního softwaru ve společnosti Continental. Teoretická část práce je věnována ergonomii a platné české legislativě v oblasti ergonomie. V praktické části je rozebrán aktuální proces posuzování ergonomie, výběr simulačního nástroje, návrh začlenění simulačního nástroje, vytvoření metodiky analýzy ergonomie s využitím simulace a aplikace navržené metodiky na vybranou montážní linku.

Klíčová slova: ergonomie, ergonomická analýza, simulace ergonomie, průmyslová ergonomie, ergonomická legislativa, Siemens Process Simulate

Abstract

The thesis aims to develop a methodology to analyse ergonomics in assembly line design using simulation software at Continental. The theoretical part of the thesis is devoted to ergonomics and current Czech legislation in the field of ergonomics. The practical part discusses the current ergonomics assessment process, the selection of the simulation tool, the design of the integration of the simulation tool, the development of a methodology for ergonomics analysis using simulation and the application of the proposed methodology to a selected assembly line.

Key words: ergonomics, ergonomic analysis, ergonomics simulation, industrial ergonomics, ergonomic legislation, Siemens Process Simulate

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Využití ergonomické simulace v rámci návrhu montážních pracovišť* vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Tomáše Kellnera a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu zdrojů.

V Praze dne: …… Podpis autora: ……

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce, panu Ing. Tomáši Kellnerovi za čas, cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině, která mi byla při studiu a tvorbě diplomové práce vždy oporou.

Obsah

1 Úvod ... 1
2 Úvod do teorie výrobních systémů a montáže ... 2
2.1 Technologické projektování ... 2
2.2 Výrobní systém ... 2
2.3 Výrobní proces ... 3
2.3.1 Navrhování výrobního procesu ... 4
2.3.2 Členění výrobního procesu ... 4
2.4 Montáž a montážní proces ... 5
2.4.1 Montážní linka ... 6
2.4.2 Prostorové uspořádání montážních linek ... 7
3 Ergonomie ... 11
3.1 Definice a úkoly ergonomie ... 11
3.2 Ergonomický systém ... 13
3.3 Ergonomie ve výrobních systémech ... 15
3.4 Prostředí pracoviště a pracovní místo ... 15
3.4.1 Prostředí pracoviště ... 16
3.4.2 Pracovní místo ... 23
4 Platná ergonomická legislativa a analýzy ... 26
4.1 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ... 26
4.1.1 Hodnocení energetického výdeje ... 26
4.1.2 Hodnocení lokální svalové zátěže ... 27
4.1.3 Hodnocení pracovní polohy ... 28
4.1.4 Hodnocení ruční manipulace s břemenem ... 33
4.2 Analýza RULA ... 35
4.3 Analýza Low Back ... 37
5 Analýza současného stavu procesu ergonomie ... 38
5.1 Představení společnosti Continental AG ... 38
5.1.1 Historie společnosti ... 38
5.1.2 Současnost společnosti ... 39
5.1.3 Společnost Continental v České republice ... 40
5.2 Současný stav procesu ergonomie ... 41
5.2.1 Popis procesu ergonomie ... 41
5.2.2 Program BDS ... 44

5.3 Analýza současného stavu ... 47
6 Návrh optimalizace procesu ergonomie ... 48
6.1 Výběr nástroje virtuální ergonomie ... 48
6.1.1 Process Simulate Human ... 48
6.1.2 DELMIA V6 Human ... 51
6.1.3 Motion Capture v prostředí Unity ... 52
6.1.4 HTC Vive Body Tracking v prostředí Process Simulate ... 54
6.1.5 Shrnutí porovnání a výběr nástroje ... 55
6.2 Návrh metodiky zhodnocení ergonomie ... 57
6.2.1 Průběh a zařazení simulací ergonomie ... 57
6.2.2 Návrh informačního a datového toku uvnitř závodu ... 58
6.2.3 Návrh metodiky analýzy ergonomie ... 60
7 Aplikace navržené metodiky na výrobní linku ... 62
7.1 Popis výrobní linky ... 62
7.2 Prvotní ergonomická analýza ... 64
7.2.1 Kontrola výšky pracovních rovin ... 64
7.2.2 Kontrola rozmístění ovladačů, sdělovačů a dosahu ... 66
7.2.3 Analýza statických pracovních poloh ... 66
7.2.4 Vyhodnocení prvotní ergonomické analýzy ... 80
7.2.5 Úprava a ergonomická optimalizace ... 81
7.3 Detailní ergonomická analýza ... 85
7.3.1 Vytvoření dynamické simulace ... 85
7.3.2 Vyhodnocení a výstupy dynamické simulace ... 87
8 Zhodnocení a přínosy ... 92
9 Závěr ... 94
Použitá literatura ... 95
Seznam obrázků ... 98
Seznam tabulek ... 101
Seznam použitých zkratek a symbolů ... 103
Použitý software ... 104

1 Úvod

V oblasti průmyslové výroby dochází v současné době k rychlému rozvoji mechanizace, automatizace a robotizace. Jejich zavádění umožňuje průmyslovým podnikům zvýšit výrobní efektivitu současně se snížením výrobních nákladů. Lidský faktor je však stále v převážné míře nepostradatelný a nenahraditelný a jeho opomíjení klade stále vyšší nároky na člověka. Tyto nároky jsou ale omezeny schopnostmi a také možnostmi člověka. Z tohoto důvodu je vhodné umět používat a zavádět do praxe poznatky z oblasti ergonomie.

Ergonomie aplikovaná na výrobní procesy se zabývá převážně pracovními podmínkami na pracovišti a jejím hlavním úkolem je ochrana zdraví pracovníků při výkonu práce. Důsledkem a přínosem správného využití ergonomických poznatků je však nejen zamezení nemocí a zranění pracovníků, ale také celkové zlepšení výrobních procesů a produktivity lidské práce. Zefektivnění poté vede ke snížení výrobních nákladů, zvýšení kvality, příznivějším ekonomickým podmínkám v rámci výrobního podniku a zlepšení konkurenceschopnosti na trhu.

Stále více jsou v souvislosti s posouzením výrobních pracovišť z pohledu ergonomie využívány simulační nástroje. Ty umožňují provést ergonomickou analýzu ve fázi, kdy je dané výrobní pracoviště navrhováno, bez nutnosti čekat na jeho konstrukci a výrobu. Správné začlenění ergonomických simulací do procesu virtuální přejímky pak může odhalit potenciální nedostatky a ušetřit vícenáklady a také čas, který by si posléze úprava pracoviště vyžádala.

Cílem této práce tedy bude navrhnout metodiku, podle které bude možné pomocí simulací ergonomie provádět ergonomické vyhodnocení pracovišť. Tato metodika bude využita ve společnosti Continental, v rámci níž tato práce vzniká. V teoretické části bude popsána podstata ergonomie a dále rozebrána platná legislativa, která musí být dodržena, aby mohlo být pracoviště posouzeno jako ergonomicky přijatelné a bylo uvedeno do provozu. V praktické části pak bude popsán současný stav, jak je v současné době ve výrobním podniku ergonomie analyzována, bude proveden výběr vhodného simulačního nástroje a dále již bude vytvořena samotná metodika. Na závěr pak bude dle této metodiky vyhodnocena výrobní linka a dojde ke zhodnocení přínosů navrženého řešení.

2 Úvod do teorie výrobních systémů a montáže

Výrobní systém je základním a nejdůležitějším prostředkem k realizaci výrobních procesů ve výrobních podnicích. Na následnou efektivitu a produktivitu výroby má velký dopad již samotný návrh výrobního systému. Pro dosažení hospodárného procesu výroby a vytvoření výrobku nejvyšší technické úrovně a užitné hodnoty je tedy nutné zabývat se zejména plánováním a optimalizací výrobních systémů a procesů.

2.1 Technologické projektování

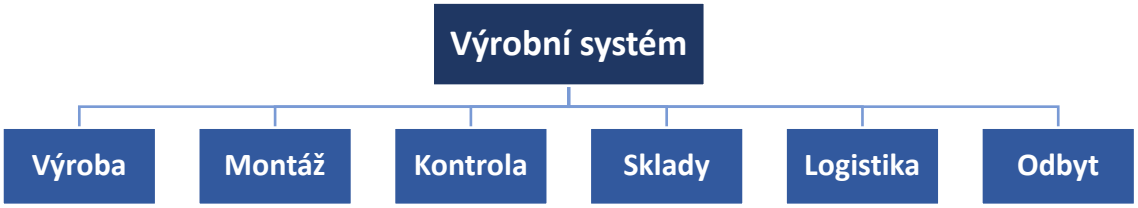
Navrhováním výrobních systémů se zabývá obor technologického projektování. Technologické projektování je činností jak technického, tak i ekonomického charakteru, jenž má za cíl vytváření analýz různých variant organizace a uspořádání výrobních systémů. Požadavkem při technologickém plánování je zejména optimální využití všech hmotných zdrojů (materiálů, energií a ploch), prostředků (výrobních, manipulačních a kontrolních) a také pracovních sil [1].

Výstupem činností technologického projektování je zejména vypracování technologických a pracovních postupů výroby a montáže a také zpracování technickoorganizačního projektu samotné výroby. Ve fázi návrhu dochází zpravidla ke zhodnocení několika navržených variant, z nichž je realizována ta varianta, která je z hlediska technického, organizačního i ekonomického nejlepší. K těmto činnostem jsou poté také přidruženy procesy návrhu jednoúčelových zařízení a speciálního nářadí a také vypracování norem spotřeby materiálu a času [1, 2].

2.2 Výrobní systém

Výrobní systém je v podstatě skupinou hmotných zdrojů, které jsou prostorově, organizačně a také technologicky uskupeny a vzájemně provázány. Těmito zdroji jsou výrobky, materiál a polotovary, stroje a výrobní zařízení a v neposlední řadě také pracovní síly. Samotné výrobní systémy jsou řízeny na základě postupů, principů a metod tak, aby byly podle předem stanovených požadavků vstupy přetvářeny na výstupy s určitou přidanou hodnotou. Výrobní systém pak zastřešuje jednotlivé na sebe navazující výrobní procesy, které v rámci něj fungují a vytváří požadované výstupy [1, 3].

Struktura výrobních systémů je tvořena vnitřními a vnějšími prvky. Vnitřní strukturou se rozumí vlastní výrobní proces, který se zabývá výrobou a montáží. Vnější struktura a její prvky se starají zejména o provoz výrobních systémů jako celků. Do vnější struktury spadá problematika plánování a řízení, skladování, logistiky, energetiky a také materiálového zásobování. Základní prvky výrobních systémů ukazuje obr. 2.1 [3].

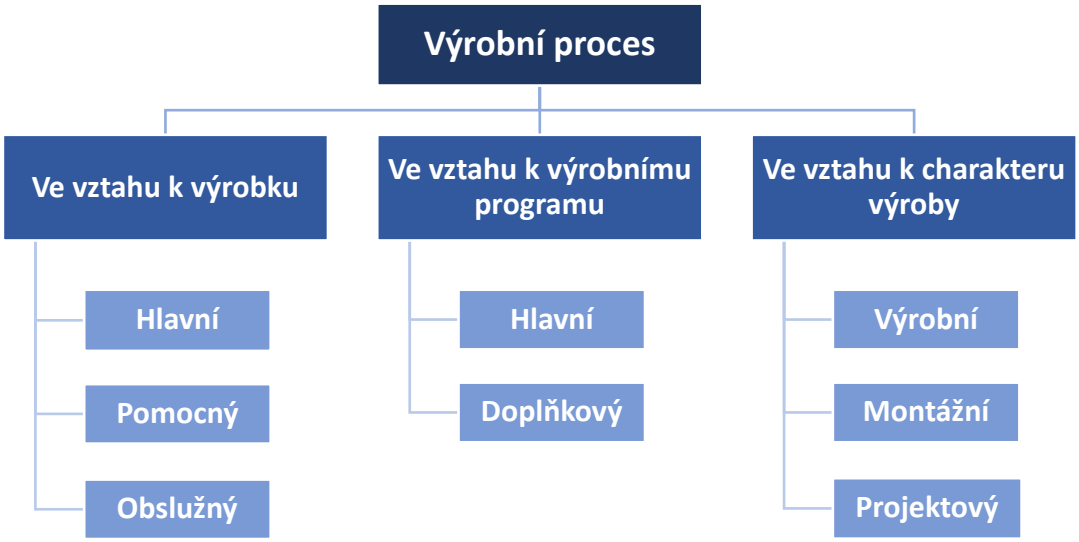


Obr. 2.1: Jednotlivé prvky výrobního systému [4]

2.3 Výrobní proces

Výrobní proces je uskutečňován ve výrobním systému a je také jeho podmnožinou. Z hlediska jeho charakteristiky je souhrnem technologických, kontrolních, řídících a manipulačních činností, které mají za cíl změnit tvar, rozměry, složení, jakost a spojení výchozích materiálů a polotovarů za dodržení požadovaných podmínek. Mezi ně patří zejména podmínky technické, organizační a ekonomické [3].

Strojírenský výrobní proces lze z hlediska technologického projektování dělit podle vztahu k výrobku, k výrobnímu programu v rámci dané výroby nebo k charakteru samotné výroby. Toto rozdělení je dáno schématem na obr. 2.2 [3].



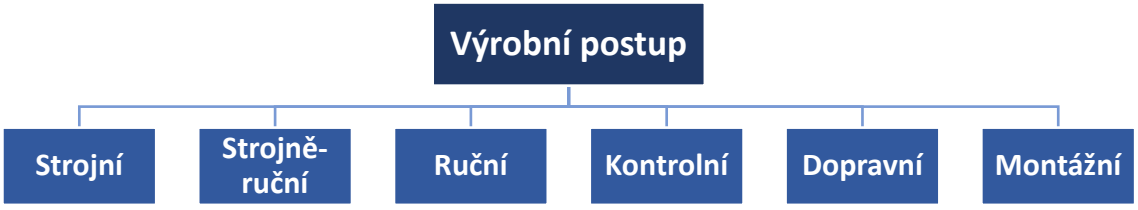
Obr. 2.2: Rozdělení výrobního procesu [4]

2.3.1 Navrhování výrobního procesu

Změna výchozího materiálu do stavu finálního výrobku je uskutečňována výrobním procesem. Probíhající změny v průběhu výrobního procesu, tedy jednotlivé technologické a pracovní činnosti, jejich pořadí, správné provedení výrobních úkonů a podmínky nutné k jejich realizaci, jsou zaneseny ve výrobním postupu. Ten je základní a zcela nedílnou součástí pro uskutečnění racionálního výrobního procesu. Součástí výrobního postupu je zpravidla následující [3]:

- návrh druhu polotovaru, stanovení jeho rozměrů a požadovaných vlastností,
- stanovení počtu technologií, pořadí těchto technologií a pracovních činností,
- určení a volba výrobních strojů a zařízení, technologického vybavení pracovišť a pracovních podmínek,
- stanovení podmínek odměňování a kvalifikace pracovníků, plánování, organizace a řízení výroby.

Výrobní postup, jenž se zaobírá čistě sledem technologií, které je nutné pro uskutečnění vyžadovaných změn během výrobního procesu použít, se nazývá technologický postup. Pokud je výrobním postupem pouze předpis zahrnující činnosti pracovníků, pak je tento postup nazýván pracovní. Příklad členění výrobního postupu je ukázán na obr. 2.3 [3].



Obr. 2.3: Členění výrobního postupu [4]

2.3.2 Členění výrobního procesu

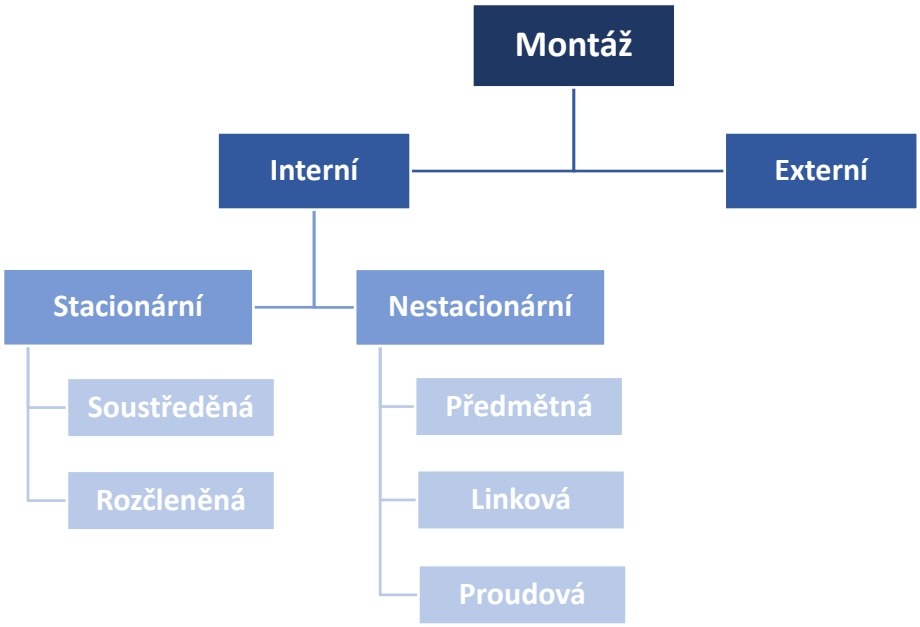
Výrobní procesy lze dělit také z hlediska časového. Dělení spočívá v rozložení výrobního procesu na menší úseky zpravidla podle toho, jak velkou částí výrobního procesu tento úsek je. Podrobnost a hloubka členění je dána sériovostí a opakovatelností výroby a také stupněm mechanizace a automatizace výrobního procesu [3, 4].

Časové rozdělení výrobního procesu je následující [3]:

- **Operace** je základní strukturální jednotka výrobního procesu. Zpravidla je realizována v rámci jednoho pracoviště bez přestavení zařízení. Operace může být vykonána jedním pracovníkem, dle potřeby i větším počtem pracovníků.
- **Operační úsek** je dílčí částí operace, která je vykonávána na jednom stroji jedním nástrojem za stejných technologických podmínek.
- **Operační úkon** vznikne rozdělením operačního úseku. Jedná se o jednoduchou pracovní činnost stejného charakteru prováděnou strojem či pracovníkem.
- **Pracovní pohyb** je elementární částí výrobního procesu, kdy se jedná o nejmenší časově měřitelnou část. Toto dělení se využívá zejména v hromadné výrobě s ohledem na dodržení požadovaného času, postupu, přesnosti a ergonomie práce ve výrobním procesu.

2.4 Montáž a montážní proces

Zpravidla závěrečnou fází výrobního procesu ve strojírenské výrobě je montáž. Právě montáž často udává spolehlivost, kvalitu, a také přidanou hodnotu výrobku. Montáží se rozumí soubor činností lidí, strojů a výrobních zařízení, které vykonáváním úkonů v určeném pořadí a čase dávají za vznik z jednotlivých součástí a montážních skupin hotový výrobek. Charakteristikou montážních procesů je spojování dvou a více součástí do montážních podskupin a skupin. Základní dělení montáže je na obr. 2.4 [5].



Obr. 2.4: Základní dělení montáže [4]

Montážní proces je podsystémem výrobního systému, jehož účelem je provést montáž výrobků. Základní strukturální jednotkou montážního procesu je montážní operace. Montážní operace jsou zpravidla velmi nákladné a pracné, z tohoto důvodu je ve strojírenských podnicích kladen důraz na technickoorganizační úroveň montáže. Další časové rozdělení montážního procesu na dílčí úseky koresponduje s dělením výrobního procesu, tj. dělení na montážní úsek, úkon a pohyb [5].

Základními dokumenty pro řešení technologie montáže, organizaci a řízení montážního procesu je montážní schéma a technologický postup montáže. Montážní schéma je výchozím podkladem pro zpracování technologického postupu montáže. Toto schéma udává součásti použité v procesu montáže a jejich vzájemné vazby. Díky tomuto lze pak vypracovat technologický postup montáže, který udává pořadí operací, jejich popis, potřebné nářadí, pomůcky, přípravky a další dodatečné informace o montáži [4, 5].

Montážní procesy jsou v praxi realizovány s různým stupněm mechanizace. Dle úrovně mechanizace je dělení montáže následující [6]:

- **Ruční montáž**, která je nejrozšířenějším druhem montážních procesů. Typickými znaky ruční montáže je jednoduchost procesu, menší efektivita, použití univerzálně použitelných nástrojů či upínacího zařízení zpravidla jednodušší konstrukce.
- **Mechanizovaná montáž** je pokročilejším stupněm montáže, kdy se již využívá více sofistikované mechanizované nářadí či jiná mechanizovaná zařízení.
- **Automatizovaná montáž**, jež zabezpečuje nejvyšší stupeň racionalizace a optimalizace. Automatizované procesy jsou cílem rozvoje montážních procesů.

2.4.1 Montážní linka

Montážní linku je možné definovat jako soubor pracovišť, která jsou rozmístěna tak, aby jejich uspořádání korespondovalo s technologickým postupem. Jednotlivá pracoviště montážní linky jsou propojena pomocí mezioperační dopravy, nejčastěji v podobě různých druhů dopravníků. Montážní linka jako celek slouží k uskutečňování operací montáže celého výrobku nebo jeho jednotlivých částí. Všechny montážní operace a doba jejich trvání jsou, pokud možno, co nejrovnoměrněji rozloženy mezi jednotlivá montážní pracoviště tak, aby mohla linka hotové výrobky dodávat v požadovaném taktu a nedocházelo k přetěžování samotných pracovišť a také pracovníků [5, 7].

Ke klasifikaci jednotlivých druhů montážních linek jsou užívána různá hlediska. Nejčastěji jsou linky děleny podle hledisek uvedených níže [5, 6].

- **Stupeň mechanizace a zapojení člověka do montáže:**
  - ruční linky,
  - mechanizované (poloautomatizované) linky,
  - automatizované linky.
- **Způsob pohybu montovaného výrobku:**
  - stacionární linky,
  - nestacionární linky s pohybujícím se výrobkem (výrobek se pohybuje buď soustavně, nebo až po ukončení operace).
- **Způsob provádění montážních prací:**
  - přímo na dopravníku,
  - mimo dopravník.
- **Stupeň synchronizace:**
  - synchronizované (nepřetržité) linky,
  - nesynchronizované (přerušované) linky.
- **Montážní takt:**
  - linky s pevným (vázaným) montážním taktem,
  - linky s volným (nevázaným) montážním taktem.
- **Počet druhů montovaných výrobků na lince:**
  - jednopředmětové (stálé) linky,
  - vícepředmětové (střídavé) linky.

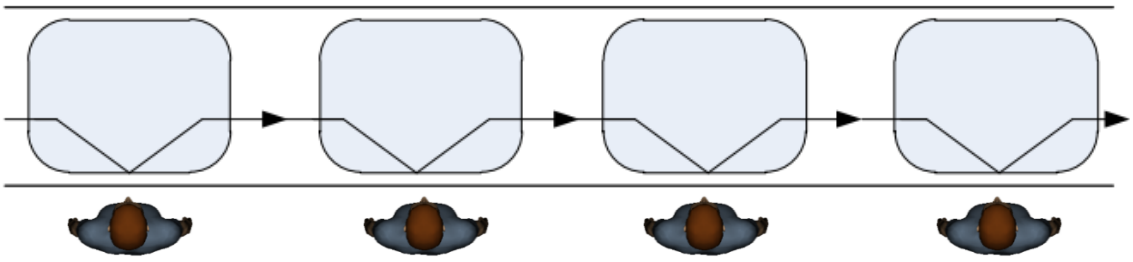
2.4.2 Prostorové uspořádání montážních linek

Ve výrobních podnicích je jedním z nejdůležitějších aspektů při návrhu montážních linek jejich prostorová dispozice a uspořádání. Kromě výše uvedeného dělení je tedy možné montážní linky rozdělit také z hlediska jejich prostorového uspořádání, jak je uvedeno dále [5, 6].

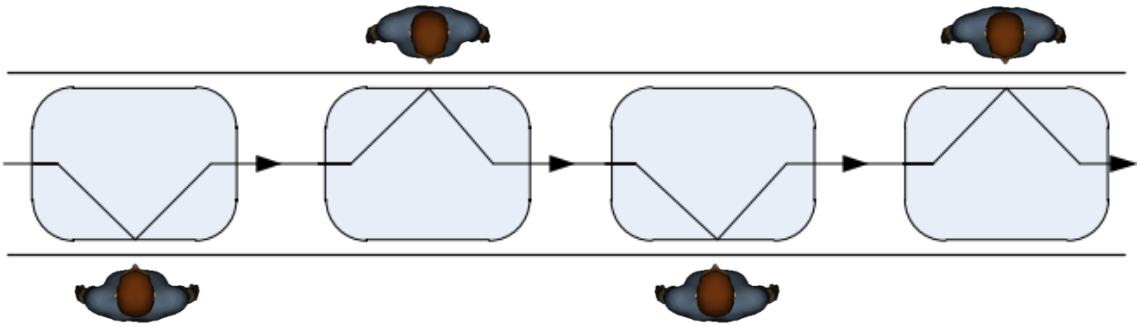
- **Obecné prostorové uspořádání linky:**
  - jednoduché linky,
  - rozvětvené linky.

- **Obsazení stran linky:**
  - jednostranné linky,
  - oboustranné linky.
- **Směr pohybu linky:**
  - jednosměrné linky,
  - obousměrné linky.
- **Postavení montážních pracovišť k lince:**
  - boční postavení pracovišť,
  - čelní postavení pracovišť.

Jednostranné a oboustranné uspořádání montážní linky je vyobrazeno na obr. 2.5 a obr. 2.6. Jednotlivá uspořádání se liší vzájemným postavením pracovníků a pracovišť na montážní lince, kdy pracovníci v případě jednostranné linky obsluhují pracoviště pouze po jedné straně linky. Pokud je linka oboustranná, pracovníci jsou na lince rozmístěni po obou jejich stranách. Oboustranné uspořádání je z hlediska úspory prostoru výhodnější, jelikož v případě jednoduchého jednostranného uspořádání je zastavěná plocha větší, což se poté promítá do prodloužení drah dopravníků [5, 6].

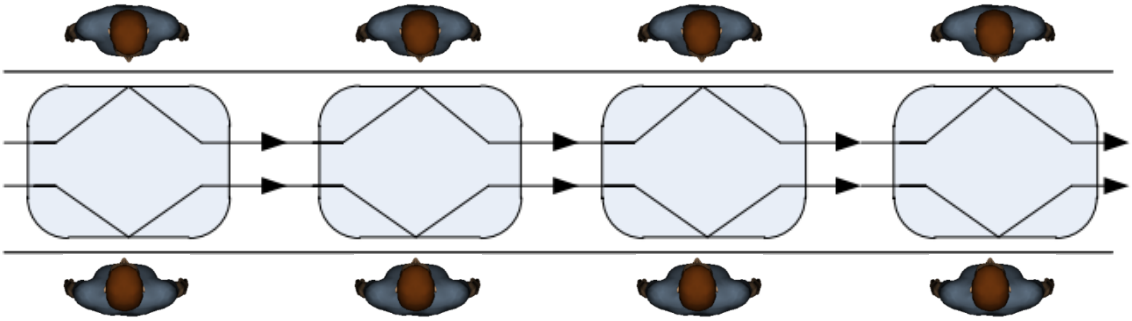


Obr. 2.5: Prostorové uspořádání jednostranné jednosměrné montážní linky [5]

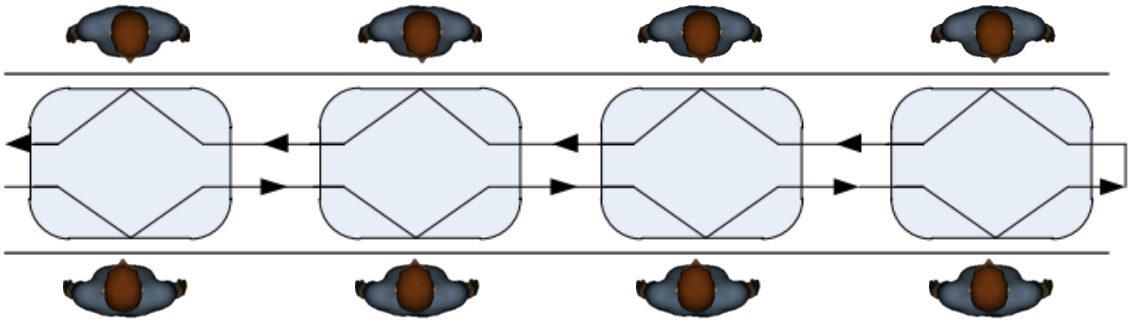


Obr. 2.6: Prostorové uspořádání oboustranné jednosměrné montážní linky [5]

V případě linek jednosměrných projde montovaný výrobek přes všechna pracoviště beze změny směru. Obousměrné uspořádání je oproti tomu charakteristické změnou směru postupu výrobku na konci montážní linky, přičemž výrobek dále pokračuje v opačném směru. Oba tyto případy ilustrují obr. 2.7 a obr. 2.8 [5].

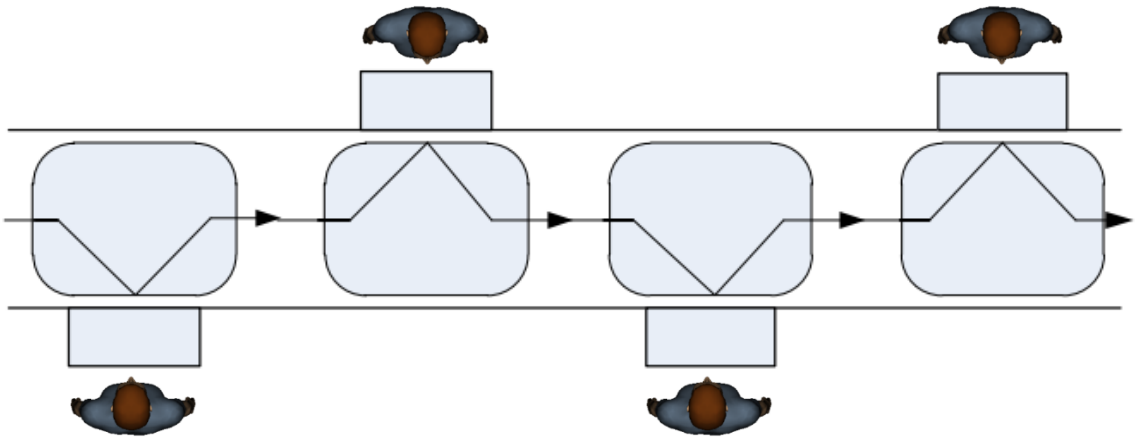


Obr. 2.7: Prostorové uspořádání oboustranné jednosměrné montážní linky [5]

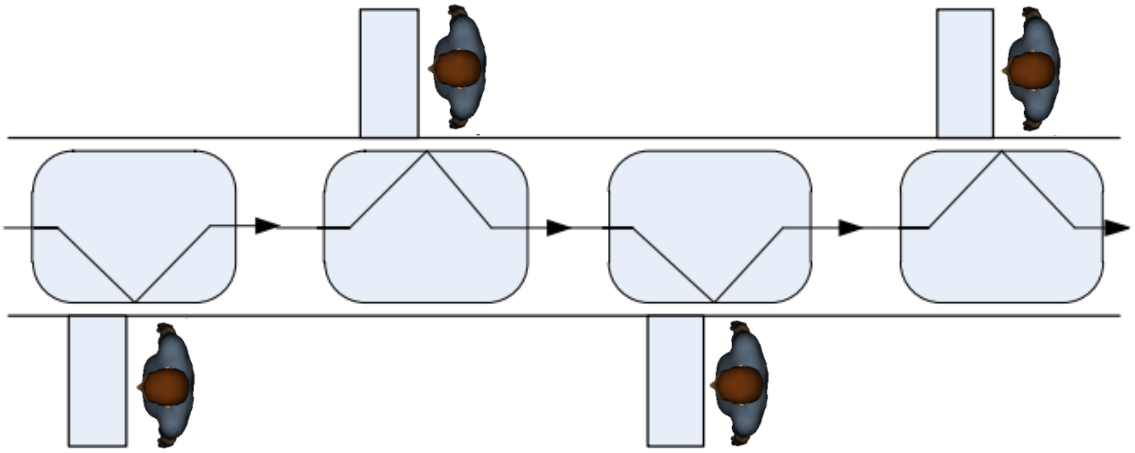


Obr. 2.8: Prostorové uspořádání oboustranné obousměrné montážní linky [5]

Dalším možným dělením je dělení na montážní linky s čelním nebo bočním postavením pracovišť. Oba tyto případy ukazují obr. 2.9 a obr. 2.10.



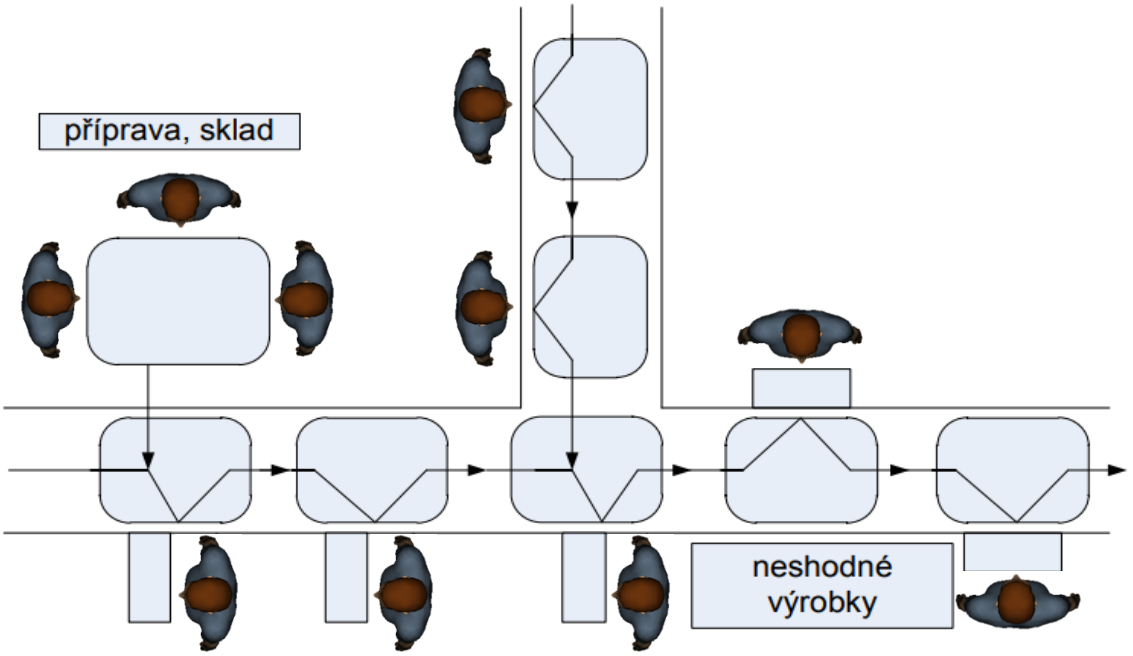
Obr. 2.9: Prostorové uspořádání montážní linky s čelním postavením pracovišť [5]



Obr. 2.10: Prostorové uspořádání montážní linky s bočním postavením pracovišť [5]

Výhodou linek s čelním postavením pracovišť je zejména menší potřeba prostoru a s tím spojené kratší dráhy dopravníků. Na těchto pracovištích je ale vzhledem k omezenému pracovnímu prostoru možné využít pouze malé přípravky a ručně ovládané pracovní prostředky. Oproti tomu montážní linky s bočním postavením pracovišť umožňují lepší užití montážních strojů a větších přípravků, ovšem za cenu větších manipulačních vzdáleností. Z hlediska ruční montáže je toto uspořádání ale výhodnější, neboť jednotlivá pracoviště jsou dobře ohraničená a jsou také přehlednější [6].

Posledním případem prostorového uspořádání montážních linek jsou linky rozvětvené. Jejich struktura je již podstatně komplikovanější a jednotlivá prostorová uspořádání mohou být v rámci jedné linky kombinována. Příkladem je obr. 2.11 [5].



Obr. 2.11: Prostorové uspořádání rozvětvené montážní linky [5]

3 Ergonomie

V rámci neustálého vědeckého a technického rozvoje jsou v průmyslu využívány nové technologie, stroje, zařízení a také nové metody práce. Z tohoto pohledu v mnoha případech dochází k nerovnováze mezi nároky a požadavky, které jsou spjaty s novými činnostmi a technikou a možnostmi, schopnostmi a dovednostmi člověka, které jsou touto novou technikou při výkonu činností a obsluhy vyžadovány. Následkem neakceptování těchto faktů je přetížení člověka, které může vést k únavě, selhání a v nejzazším případě také k havárii celého systému včetně zdravotního poškození člověka. Cílem ergonomie je tedy přizpůsobení pracovních podmínek výkonnostním možnostem člověka ve výrobě, tj. řešení optimálních pracovních podmínek v souvislosti s požadavky nové techniky a technologie [8, 9].

3.1 Definice a úkoly ergonomie

Ergonomie je interdisciplinární vědní disciplínou, která slučuje poznatky z mnoha vědních oborů, jako je fyziologie, antropometrie, konstruování, biomechanika, psychologie, statistika, bezpečnost a hygiena práce za účelem zkoumání pracovních podmínek, jejich zlepšení a zvýšení produktivity práce [10].

Existuje několik základních definic ergonomie, které vystihují její podstatu jakožto vědního oboru. Dle normy ČSN EN 614-1:2006 je znění definice následující [10]:

„*Ergonomie se zabývá studiem vzájemných vztahů (interakcí) 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.*“

Jiná definice, kterou přijala Mezinárodní ergonomická asociace (IEA) v roce 2000, má tento obsah [10, 11]:

„*Ergonomie je vědecká disciplína, optimalizující interakci mezi člověkem a dalšími prvky systému a využívající teorii, poznatky, principy, data a metody k optimalizaci pohody člověka a výkonnosti systému.*“

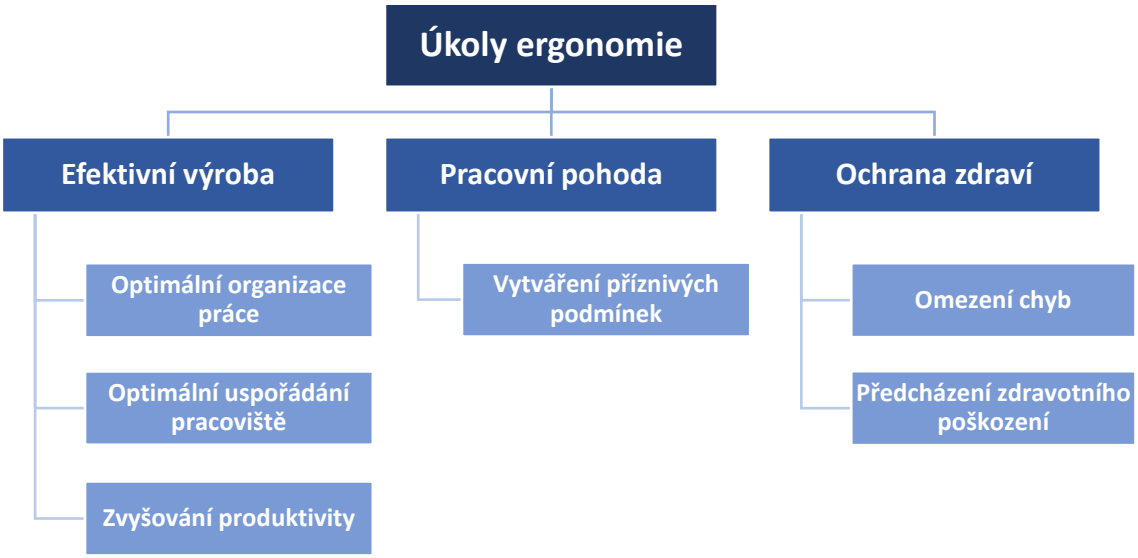
Samotná ergonomie jako vědní celek se dělí do několika oblastí. Tyto oblasti jsou definovány podle toho, z pohledu kterého vědního oboru je na ergonomii nahlíženo. Dle IEA je dělení ergonomie následující [10, 11]:

- fyzická ergonomie,
- kognitivní (psychická) ergonomie,
- organizační ergonomie,
- rehabilitační ergonomie,
- psychosociální ergonomie,
- myoskeletární ergonomie.

V průmyslové praxi je kladen největší důraz na ergonomii fyzickou. Ta se zabývá zejména vlivem pracovních podmínek a pracovního prostředí na člověka a také anatomickými, antropometrickými a biomechanickými charakteristikami v souvislosti s fyzickou aktivitou. Do této oblasti spadá zejména problematika pracovních poloh, opakovaných pracovních činností, svalové zátěže, manipulace s břemeny, uspořádání pracoviště a pracovního místa, ale také otázka bezpečnosti práce, ochrany zdraví na pracovišti a otázka muskuloskeletálních poruch [10, 11].

Hlavním cílem ergonomie je, jak již bylo nastíněno v úvodu, zejména přizpůsobení práce a pracovního prostředí možnostem pracovníka za využití antropometrického přístupu. Mezi další úkoly patří [10]:

- vytváření technických a organizačních podmínek zaručujících hospodárnou a účelně využitou lidskou práci,
- snižování nadměrné pracovní zátěže, nároků na tuto práci a s tím spjaté zvyšování pracovní pohody,
- omezení podmínek pro chyby a nepřesnosti, které mohou v krajním případě vést ke zdravotnímu ohrožení člověka,
- přizpůsobení pracovních postupů, pracovního vybavení a pracovního prostředí schopnostem člověka tak, aby byl schopen bez rizika ohrožení zdraví co nejlépe vykonávat dané pracovní činnosti,
- dosažení hospodárně, efektivně a kvalitně fungující výroby při zachování podmínek pracovní pohody a bezpečnosti práce.



Obr. 3.1: Úkoly ergonomie [10]

3.2 Ergonomický systém

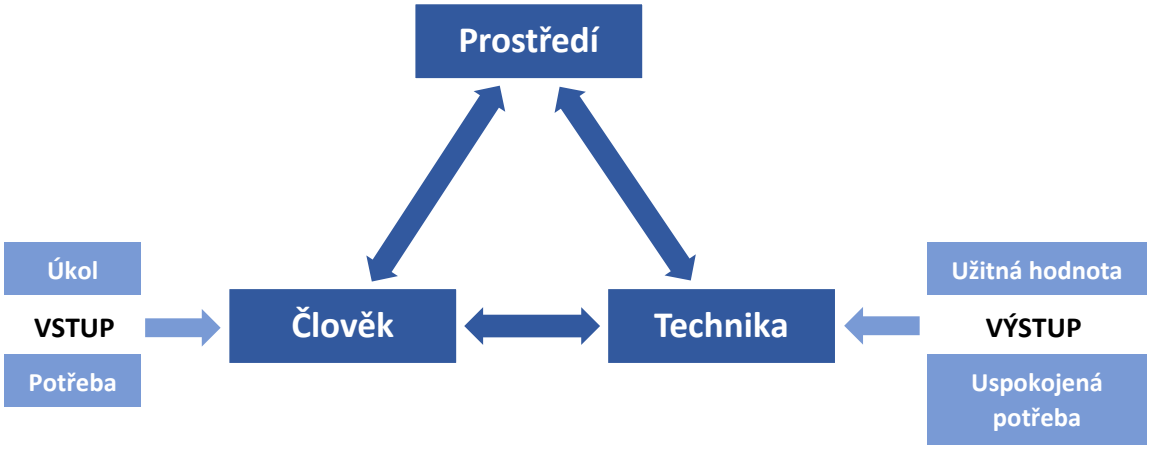
Ve výrobních i nevýrobních procesech je nutné přistupovat k řešení problematiky ergonomie systematicky, tj. posuzovat všechny prvky ergonomického systému včetně vazeb mezi jeho jednotlivými členy. Tento fakt vychází z poznatku, že ergonomický systém složený z člověka jakožto hlavního prvku, techniky a z okolního prostředí, není pouhou kompozicí těchto prvků, ale vzájemnou tvorbou vazeb mezi těmito prvky a jejich spolupůsobením dojde k vytvoření nového komplexního systému, jenž má specifické vlastnosti a hodnoty. Tzn. jednotlivé prvky zpravidla nelze hodnotit izolovaně, neboť mezi sebou vzájemně působí a ovlivňují se. [8, 10].

Základem při řešení problémů v otázce ergonomie je systematický přístup, který je zcela nezbytný a charakterizuje řešení problémů v oblasti ergonomie. Je zaměřen na vztah mezi člověkem a jeho okolím a také zdůrazňuje nezbytnost analýzy spolupůsobení všech prvků, které v rámci daného ergonomického systému koexistují. Znalost těchto vztahů umožňuje stanovit efektivitu ergonomického systému a jeho prvků a nadále ji zlepšovat. Obecná definice takového komplexního systému zní [8]:

„Systém lze definovat jako soubor několika prvků, které jsou funkčně vzájemně propojeny a mezi nimiž existují vazby, které umožňují, aby z daných vstupů byly dosaženy zamýšlené výstupy – výsledky, v rámci daných omezujících podmínek. Systém je tedy účelově definovaná množina prvků a vazeb mezi nimi, které společně určují vlastnosti celku.“

Sytém lze charakterizovat různými vlastnostmi, kdy mezi nejdůležitější patří stabilita a spolehlivost. Tyto vlastnosti zaručují schopnost systému realizovat v procesu danou funkci v požadovaných mezích a v nich po určitý čas setrvat. Dále je možné systémy klasifikovat a dělit dle jejich složitosti, podmínek vzniku a vztahu k okolí [8].

Ergonomický systém člověk – technika – prostředí je systémem dynamickým a otevřeným. Charakteristikou tohoto systému je přítomnost člověka, který je zpravidla jeho stálým prvkem. Člověk je v této souvislosti chápán jako rozhodující složka, a zároveň je v rámci ergonomického systému hlavní omezující složkou, která ovlivňuje jeho konečné chování a vlastnosti. Díky této znalosti je třeba brát do úvahy nejen spolehlivost technických prvků, ale také spolehlivost samotné lidské složky [8].



Obr. 3.2: Schéma ergonomického systému člověk – technika – prostředí [8]

V rámci ergonomického systému je možné řešit čtyři základní druhy úloh [8]:

- **Ergonomickou racionalizaci**, kdy systém existuje, je známá jeho struktura, vazby a chování a cílem je najít parametry, při nichž se systém podle určitého posuzovaného hlediska chová nejvýhodněji.
- **Ergonomické modelování**, při němž systém existuje, avšak struktura je neznámá a na základě navržené struktury se zjišťuje pravděpodobné chování systému.
- **Ergonomickou analýzu**, při které není známa ani struktura ani chování zkoumaného systému. V tomto případě se experimentálně zjišťuje chování systému a ze zjištěného chování se určí vhodná struktura.
- **Projekční ergonomii**, v rámci níž systém rovněž neexistuje a má být na základě daného požadovaného chování zkonstruován.

3.3 Ergonomie ve výrobních systémech

Lidský faktor je v současnosti nepostradatelnou složkou výrobních systémů. Z tohoto důvodu je klíčové přistupovat k řešení problematiky systému člověk – technika – prostředí nejen systematicky, ale také antropocentricky.

Technický vývoj, zefektivnění a zhromadnění výroby vedlo v důsledku k výrobě a používání techniky, která nebrala v potaz schopnosti člověka, a to jak v otázce vynakládaných sil, tak i v otázce rozměrů strojů a nářadí. Tento přístup, který je nazván jako mechanocentrický, je koncepčně špatný, neboť nerespektuje fyzické a psychické limity člověka. Člověk je zpravidla nejslabším článkem ve výrobních systémech a z tohoto důvodu je třeba aplikovat antropocentrický přístup, který jediný zajišťuje, že budou všechny prvky výrobních systémů odpovídat antropometrickým, biomechanickým a fyziologickým parametrům pracovníků [10, 12].

Respektováním a zohledněním antropometrického přístupu je možné docílit ochrany psychofyziologického zdraví pracovníků, zvýšení bezpečnosti práce a také celkové zlepšení efektivity systému člověk – technika – prostředí [12].

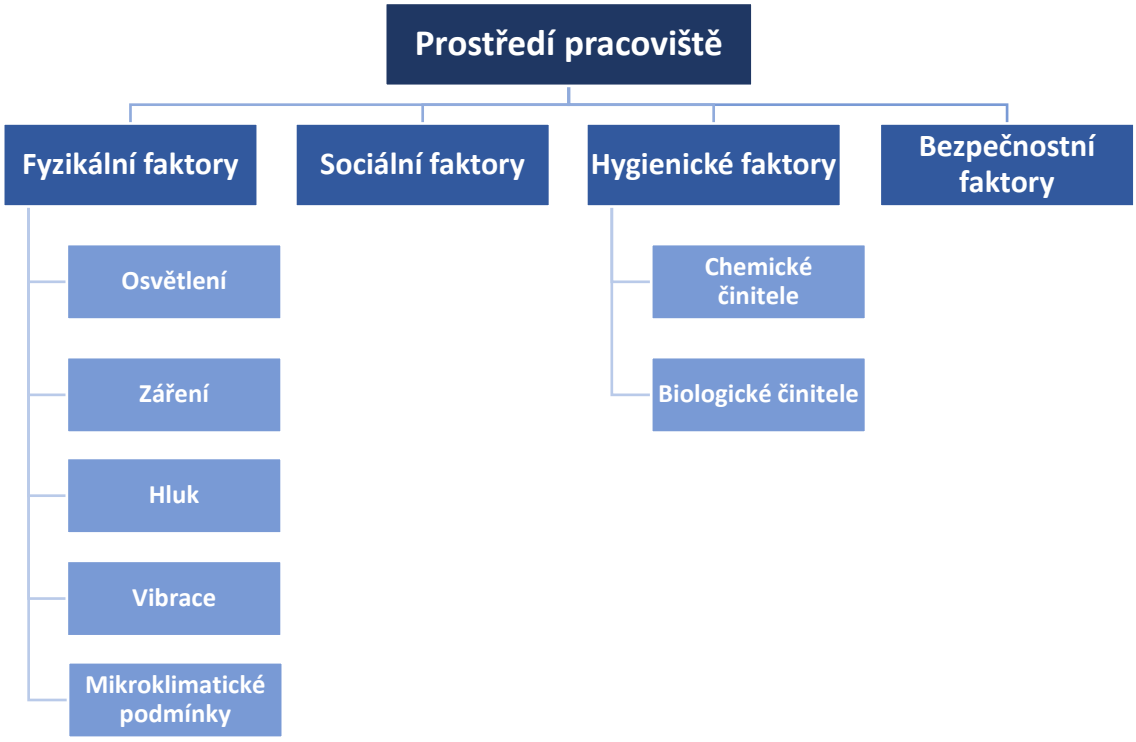
3.4 Prostředí pracoviště a pracovní místo

Problematika ergonomie pracovního místa a prostředí pracoviště je úzce spjata s potřebami pracovníka, který na pracovišti vykonává danou práci. Při ergonomickém zhodnocení pracoviště a návrhu jeho uspořádání je nutné se zaměřit nejen na samotné fyzické vybavení pracoviště, ale také na prostředí pracoviště tak, aby byla zaručena fyzická a duševní pohoda pracovníka. Pohodu a výkon pracovníka na pracovišti ovlivňují zejména tyto faktory [13]:

- pracovní prostor (velikost a uspořádání),
- vybavení pracoviště (pracovní stůl, umístění ovladačů a sdělovačů),
- mikroklimatické podmínky pracovního prostředí,
- druh práce (fyzická, psychická, senzorická a jejich kombinace),
- pracovní poloha a pohyby,
- fyziologické vlastnosti (tělesné rozměry, hmotnost, pohlaví, věk),
- doba, po kterou je práce vykonávána,
- zdravotní stav (fyzická síla, nemoci, duševní pohoda).

3.4.1 Prostředí pracoviště

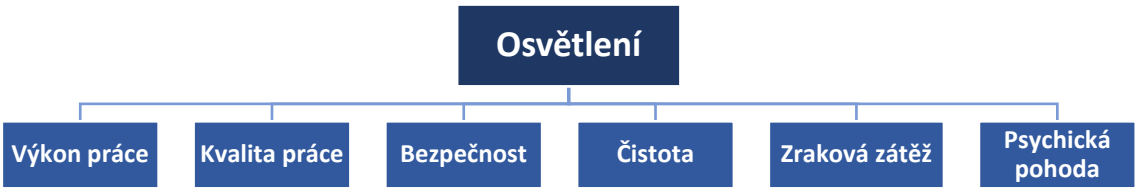
Prostředí pracoviště tvoří společně s pracovním místem a člověkem základní prvky ergonomického systému. Samotným prostředím rozumíme všechny faktory, které působí na člověka a techniku. Mezi hlavní jsou zahrnuty zejména fyzikální faktory (osvětlení, záření, hluk, vibrace, mikroklimatické podmínky), sociální faktory, hygienické faktory (chemické činitele a biologické činitele) a také bezpečnostní faktory. Neméně důležitou složkou při posuzování ergonomie pracoviště je také vliv prostředí pracoviště na psychickou zátěž pracovníka a jeho celkovou pracovní pohodu. Schéma všech faktorů spoluvytvářejících prostředí pracoviště je znázorněno na obr. 3.3 [8, 13].



Obr. 3.3: Prostředí pracoviště a působící faktory [8]

Osvětlení

Vhodné osvětlení je jednou z elementárních podmínek, kterou je nutné zabezpečit pro vykonávání práce. Většina činností vykonávaných člověkem je kontrolována pomocí zraku, kdy je tímto způsobem získáváno cca 80–90 % informací. V případě, že je osvětlení nedostatečné či naopak dochází k oslňování, dochází při výkonu práce k tzv. zrakové zátěži. Správně zvolené a umístěné osvětlení má přímý vliv na výkon práce, její kvalitu, čistotu, bezpečnost, zrakovou zátěž a v neposlední řadě také na psychickou pohodu [8, 13, 16].



Obr. 3.4: Faktory ovlivněné volbou osvětlení [8]

V rámci návrhu vhodného osvětlení pracoviště existují tři základní zdroje (druhy) světla, které se liší v jeho původu. Na základě použitého zdroje se poté osvětlovací soustavy dělí na [8, 13]:

- **Soustavy přirozeného (denního) osvětlení**, jejichž hlavní výhodou je to, že jejich využití nestojí žádné náklady a člověk je na ně adaptován. Nevýhodou je však nestálost intenzity světla, která nastává vlivem počasí, denní doby a ročního období. Zároveň také dochází ke kolísání barvy světla rovněž vlivem denní doby. V neposlední řadě je nevýhodou také přítomnost tepelného záření, které může negativně ovlivnit pracovní pohodu člověka a tím i jeho výkonnost.
- **Soustavy umělého osvětlení** (zářivky, výbojky, diody, lasery), které jsou v průmyslové praxi využívány přednostně, neboť zajišťují neměnné světelné podmínky na pracovišti. Je jimi také možné rovnoměrně rozložit světelný tok do osvětlovaného prostoru.
- **Soustavy sdruženého osvětlení** (kombinace denního a umělého osvětlení), jenž tvoří kompromis mezi přirozenými a umělými zdroji světla. Jejich využívání je zpravidla spjato s automatizací přechodu z přirozeného na umělé osvětlení při poklesu intenzity přirozeného osvětlení.

V rámci hodnocení osvětlení je třeba zvážit celou řadu kritérií, která definují výsledné světelné podmínky na pracovišti. Jedná se o intenzitu, směr, rovnoměrnost, stínivost, stálost, oslnivost a barvu. Z hlediska zrakové zátěže pracovníka na pracovišti je důležitá zejména intenzita osvětlení a oslnivost [8, 12].

Intenzita osvětlení, měřená v luxech [lx], je základním kritériem, které má významný vliv na vizuální vnímaní. Hodnota intenzity nezbytná pro výkon práce je dána jejím druhem a jemností. Dle toho lze dělit práci do šesti základních tříd. Pro posouzení dostatečné intenzity osvětlení je zaveden jako hlavní rozlišovací faktor velikost kritického detailu. Kritický detail je geometrickým útvarem, který je nutno při dané intenzitě osvětlení rozlišit a správně identifikovat z určité pozorovací vzdálenosti [8, 12].

Požadavek na hodnotu osvětlení v závislosti na velikosti kritického detailu a vzdálenosti ilustruje tab. 3.1.

Tab. 3.1: Rozdělení tříd prací s ohledem na intenzitu osvětlení [8]

Třída	Požadavky na osvětlení	Velikost kritického detailu (mm) ze vzdálenosti		Osvětlení (lx)
		350 mm	1000 mm	
1	Mimořádné	0,1	0,3	nad 5000
2	Velmi vysoké	0,1 až 0,2	0,3 až 0,6	2000 až 5000
3	Vysoké	0,2 až 0,4	0,6 až 1,2	600 až 2000
4	Průměrné	0,4 až 0,8	1,2 až 2,3	250 až 600
5	Malé	0,8 až 1,5	2,3 až 4,4	100 až 250
6	Velmi malé	1,5 až 3,0	4,4 až 8,8	25 až 100

Oslnivost osvětlení je nepříznivým stavem zraku, kdy dochází ke zhoršení zrakové pohody a rovněž také ke zhoršení až znemožnění vidění. Oslnění je způsobeno velkým jasem v zorném poli či prostorovým nebo časovým kontrastem jasů. Na základě stupně oslnění může být oslnění považováno buď za rušivé nebo omezující. Pro posouzení možného oslňování na pracovišti slouží norma ČSN EN 12464-1, která specifikuje oslnění pomocí tabulkové metody UGR. Hodnota UGR nesmí přesáhnout hodnoty uvedené v normě ČSN EN 12464-1, kde jsou specifikovány hodnoty pro rozličné pracovní prostory a činnosti. Hodnocení oslnivosti osvětlení ukazuje tab. 3.2 [8, 13].

Tab. 3.2: Hodnocení oslnění osvětlení subjektivně a pomocí hodnoty UGR [14]

Subjektivní hodnocení oslnění	UGR		Prostory
Právě rozeznatelné	10		
Právě přijatelné	16	16	Rýsovny
		19	Kanceláře, školy
Právě nepříjemné	22	22	Jemná průmyslová výroba
		25	Běžná průmyslová výroba
Právě nesnesitelné	28	28	Hrubá průmyslová výroba

Záření

Záření je jedním z průvodních jevů při zavádění a používání nových technologií a zdrojů energie, které může mít na člověka při vykonávání pracovní činnosti negativní vliv. Z tohoto důvodu je nutné volit vhodné formy technické prevence a ochrany tak, aby se omezilo či zabránilo působení záření na pracovníky [8].

Z hlediska přenášené energie se záření dělí do dvou hlavních kategorií [8, 15]:

- **Neionizující záření**, které představuje elektrické a magnetické pole, elektromagnetické záření včetně světla ve viditelném spektru a rovněž ultrafialové a infračervené záření. Neionizující záření nízkých frekvencí je přítomno u zdrojů mikrovlnného, infračerveného a ultrafialového záření a projevuje se zejména tepelnými účinky na lidský organismus. Neionizující záření o vysokých frekvencích je přítomno na pracovištích s vysokofrekvenčním ohřevem či při práci u vysílačů elektromagnetických vln. V obou případech nesmí hodnoty ozáření překročit hygienicky stanovené hodnoty uvedené v nařízení vlády č. 291/2015 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením.
- **Ionizující záření**, jehož účinky jsou pro lidský organismus nebezpečné i při malých dávkách. Jedná se o záření vycházející se zářiče o energii vyšší než 5 keV, zejména záření alfa, beta, gama a rentgenové záření. Při nadměrném ozáření hrozí celkové poškození zdraví, odumírání kostní dřeně a tkání. Při práci, kdy hrozí vystavení ionizujícímu záření, je nutné dodržovat speciální podmínky, včetně odstínění zdroje záření a provádění pravidelných lékařských podmínek.

Hluk

Hluk je možné definovat jako zvukový jev, který je spojen s vyvoláním nepříjemného, rušivého nebo škodlivého sluchového vjemu s negativním dopadem na lidské zdraví. Objektivní hodnoty hluku se vyjadřují pomocí základní hladiny akustického tlaku, která je měřítkem zvukové energie, jenž je emitována zdrojem hluku. Základní jednotkou hodnoty hluku je decibel [dB]. Kromě hodnoty hluku se posuzuje i časový průběh hluku (ustálený, proměnný, impulsní) a jeho výška (infrazvuk, nízkofrekvenční, vysokofrekvenční, ultrazvuk). Tab. 3.3 ukazuje jednotlivá pásma hluku dle jeho intenzity a jejich popis [8, 15].

Tab. 3.3: Pásma intenzity hluku a jejich charakteristika [8]

Intenzita hluku [dB]	Charakteristika pásma
Kolem 0	Bezzvukovost, která je v přírodě těžko dosažitelná. Na člověka působí nepříznivě.
Do 30	Přírodní prostředí, normální hluk vyskytující se v přírodě, jako pohyby osob a zvířat, vítr, déšť, listí atd.
30–65	Relativní hluk, jeho vliv na člověka závisí na subjektivním hodnocení (nepříjemné zvuky). Dlouhodobě působí rušivě při psychických činnostech.
65–80	Absolutní hluk, který je škodlivý bez ohledu na individuální postoj člověka. Působí nervové podráždění, ruší duševní soustředění, snižuje kvalitu práce atd.
80–95	Působí nepříznivě na sluchové orgány, při dlouhodobé expozici způsobuje hluchnutí.
95–110	Je třeba používat osobní ochranné pomůcky, způsobuje bolesti hlavy, zvyšuje únavu.
110–130	Vnímání začíná vzbuzovat bolest, je nutné nosit protihlukové přilby, poškozuje sluch.
130–150	Rychlé poškození sluchu, vznik závratí a prudkých bolestí.
Nad 150	Způsobuje okamžité ohluchnutí, při vyšších intenzitách a u slabších jedinců smrt.

Z hlediska hodnocení hluku je možné jeho nepříznivé vlivy rozdělit do tří stupňů dle toho, jak na člověka hluk působí [8]:

- **Obtěžující vliv**, při kterém dochází k narušení pracovní pohody, člověk má při výkonu práce nepříjemné pocity, avšak nemá přímý dopad na produktivitu práce.
- **Rušivý vliv**, který již přímo ovlivňuje činnost člověka a je spjat s poklesem kvality prováděné práce a také s poklesem produktivity.
- **Škodlivý vliv**, jenž je spjat s výrazným poklesem výkonu pracovníka a také s trvalými změnami lidského organismu.

V případě, že hladina hluku překračuje hygienicky povolené limity, je třeba navrhnout nápravná opatření, která hladinu hluku sníží. Mezi ně patří změna konstrukce strojního zařízení, změna technologických podmínek či úprava technickoorganizačního uspořádání. V případě, že není možné daná opatření provést, je nutné pracovníka chránit pomocí osobních ochranných pomůcek v kombinaci s pracovními přestávkami [8, 17].

Vibrace (chvění)

Vibracemi se rozumí mechanické kmitání a pohyb hmotného pružného tělesa či prostředí. Z těchto zdrojů dochází k přenosu vibrací dále na člověka přímo nebo prostřednictvím dalších materiálů a médií. Zdrojem vibrací je zejména chod strojů, přístrojů, motorů, ale může jím být i samotná stavba. V rámci návrhu pracoviště se musí zamezit zejména přenosu nízkofrekvenčních vibrací (4–7 Hz) na člověka, neboť mají za následek rezonanci lidského těla či jeho částí. Kromě frekvence je dále posuzována amplituda, rychlost, zrychlení (hladina a efektivní hodnota), časový průběh a směr vibrací. Při dlouhodobém nebo i intenzivním krátkodobém působení vibrací se může jejich negativní vliv projevit zejména [8, 13, 15, 17]:

- zvýšenou fyzickou i psychickou únavou,
- změnami funkce nervů ve stěně tepen,
- změnami ve vazivové tkáni,
- změnami elastické pleteně tepen,
- změnami na kostech, kloubních a kostních chrupavkách a kloubech.

Pro omezení negativního vlivu vibrací je nutné aplikovat preventivní opatření zejména s ohledem na odstranění zdroje vibrací tak, aby nedocházelo k překračování hygienických limitů. V případě, že není možné zdroj vibrací odstranit, je třeba pracovníka z pole vibrací co nejvíce oddálit a pracoviště mechanizovat, automatizovat, popřípadě ho vybavit dálkovým ovládáním. Další variantou je snižování frekvence a amplitudy vibrací pomocí osobních ochranných pomůcek nebo omezením trvání pracovní činnosti pracovníka na problematickém pracovišti [8, 15, 17].

Mikroklimatické podmínky

Mikroklimatické podmínky jsou zásadním faktorem, který je při konstrukci pracoviště nutné řešit. Rozumí se jimi kvalita a vlastnosti ovzduší, ve kterém je vykonávána pracovní činnost. V rámci mikroklimatických podmínek je posuzována zejména teplota, vlhkost, rychlost proudění vzduchu, čistota a ionizace. Vliv nepříznivých mikroklimatických podmínek na pracovišti je velmi významný, projevuje se narušením pracovní pohody, snížením produktivity práce a při dlouhodobém překračování hygienicky přípustných limitů může dojít i k ohrožení zdraví pracovníka [8, 19].

Fyzická a psychická zátěž

Zátěží se rozumí stav, při kterém působí na pracovníka soubor faktorů v ergonomickém systému člověk – technika – prostředí, které vyvolávají příslušnou reakci v podobě změny svého jednání či změn psychofyziologických funkcí. Takovými faktory mohou být vnější podmínky, stavy napětí nebo požadavky práce. Nutné je hodnotit zejména faktory, které narušují pracovní pohodu člověka, tedy takové, které způsobují nadměrnou zátěž organismu. Pracovní zátěž se projevuje působením na fyzickou i psychickou stránku člověka. Dle toho, jakou mírou na člověka působí, můžeme fyzickou i psychickou zátěž rozdělit do těchto stupňů [8]:

- **Optimální zátěž**, při které faktory působí na člověka převážně aktivačně a jsou v ideálních mezích. Tento stav umožňuje přesné a bezpečné vykonávání pracovní činnosti za plné pracovní pohody člověka.
- **Mírná zátěž**, kdy již dochází k mírnému narušení pracovní pohody v důsledku přesažení optimálních hodnot některých faktorů. Při mírné zátěži nedochází k poklesu výkonu pracovníka ani ke zvýšení únavy.
- **Velká zátěž**, která je již spjata se snížením výkonu a odezvami organismu na výrazné přesažení hodnot faktorů.
- **Nepřijatelná zátěž**, při níž dochází k nevratnému ohrožení a poškození zdraví po výrazném překročení povolených hodnot faktorů.

Fyzická zátěž nastává při fyzické aktivitě člověka na pracovišti a vyplývá z jakékoliv činnosti, při které dochází k výdeji energie nad rámec klidového stavu. Do oblasti posuzování fyzické zátěže spadá problematika pracovních poloh, manipulace s břemeny, lokální svalové zátěže, opakovaných pohybů, energetického výdeje, nemocí z povolání, bezpečnosti práce či uspořádání pracovního místa.

V rámci rostoucí míry mechanizace a automatizace klesá zátěž fyzická a roste podíl zátěže psychické. Mezi zdroje psychické zátěže se pak řadí monotónní opakované činnosti, množství a popřípadě nedostatek informací, špatné prostředí nebo časový stres. Psychickou zátěží se zabývá kognitivní a psychosociální ergonomie, kam spadá problematika stresu a stresových faktorů, výkonnosti a také sociálních faktorů [8, 15].

3.4.2 Pracovní místo

Hlavním úkolem při návrhu vhodného pracovního místa je vytvoření takových pracovních podmínek, aby bylo dosaženo co největšího pracovního pohodlí a zároveň byly odstraněny všechny škodlivé či rušivé vlivy. Pracovní místo lze charakterizovat mnoha faktory, které je při návrhu nutné posuzovat, zejména se jedná o [10, 13]:

- pracovní stanoviště (rozměry, uspořádání, pracovní roviny a prostory),
- sedadla (rozměry, tvar sedadla, materiály, opěrky, nastavitelnost sedadla),
- ovladače (typ, umístění, hmatníky, síly pro jejich použití),
- sdělovače (typ, umístění, čitelnost),
- zorné podmínky na pracovišti,
- nářadí a pomůcky (velikost, hmotnost, hmatníky, síly pro jejich použití).

Pracovní rovina

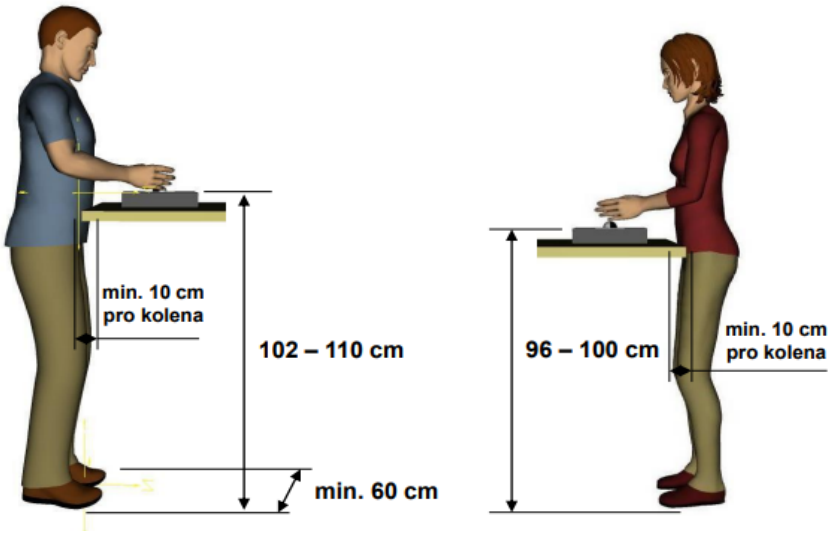
Pracovní rovina (nebo také manipulační rovina) je jedním z nejdůležitějších prvků, který je při návrhu pracoviště posuzován. Jedná se o rovinu proloženou místem, ve kterém je prováděna většina ručně vykonávaných pohybů. Výška pracovní roviny závisí na rozměrech pracovníka, rozměrech a hmotnosti předmětu práce (popřípadě vynakládaných silách), požadavcích na přesnost práce a zrakovou kontrolu. Přibližné rozměry pracovní roviny s ohledem na pohlaví pracovníka ukazuje obr. 3.5. Obecně lze pro určení přibližné výšky pracovní roviny použít následující vztah [10, 13]:

$$V_r = (V_T \cdot p) + v_p \; [cm] \tag{3.1}$$

kde V_r je výška pracovní roviny [cm], V_T je výška těla [cm], p je parametr (0,4 pro práci v sedě a 0,6 pro práci ve stoje) a v_p je výška podpatku [cm].

Při návrhu pracovní roviny je tedy nutné se zaměřit zejména na [10, 13]:

- konstrukci a rozměry pracovní roviny (výška, šířka a hloubka),
- charakter vykonávané práce, rozměry pracovníka, použité technologie, pracovní prostředí a druh vykonávané práce,
- nastavitelnost výšky a sklonu pracovní roviny, stabilitu a pevnost,
- možnost přidání pomocných zařízení (polohovadla, svěráky), zábran, opěrek.

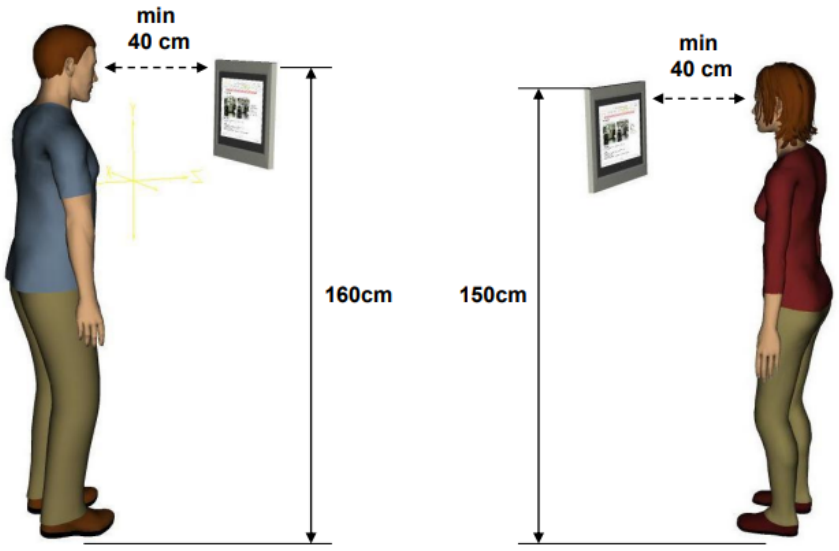


Obr. 3.5: Doporučená výška a rozměry pracovní roviny [20]

Ovladače a sdělovače

Ovladače a sdělovače jsou nedílnou součástí pracovišť, jejich funkcí je ovládat děje na pracovišti pro dosažení žádoucích změn řízených veličin a informovat o průběhu výroby, chodu stroje nebo sledovaných parametrech. Při návrhu je opět třeba zhodnotit celou škálu parametrů, které jsou řešeny normou ČSN EN 894. Mezi ně patří [8, 20]:

- volba vhodného typu ovladače a sdělovače,
- umístění a provedení ovladače a sdělovače,
- rozměrové řešení ovladače a sdělovače,
- velikost detailu (intenzita), barva, kontrast, potřebná doba expozice, provedení symbolů na ovladačích a sdělovačích ad.



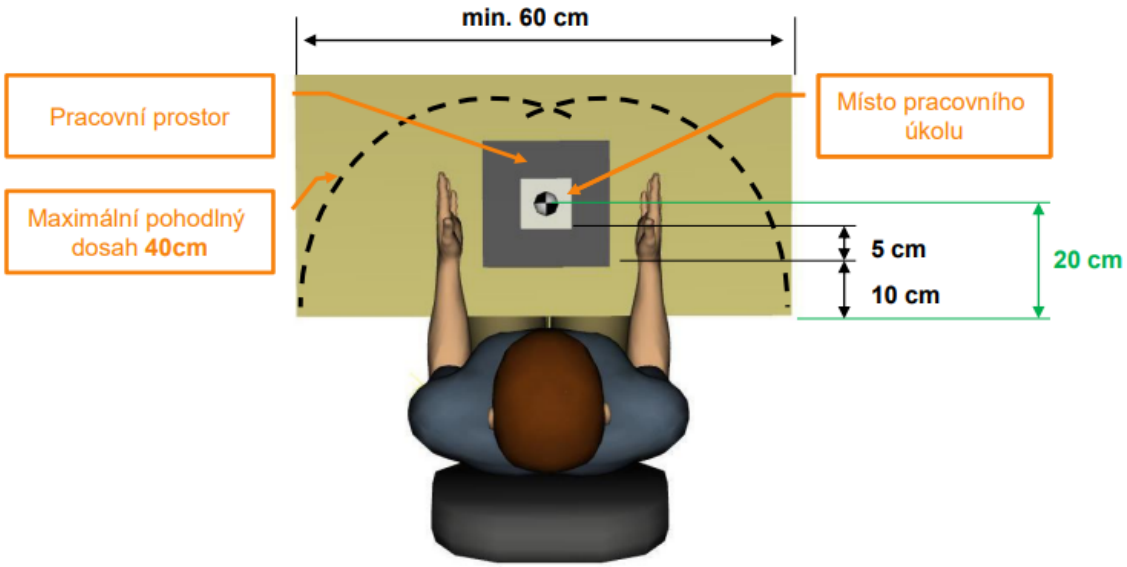
Obr. 3.6: Příklad vhodného umístění sdělovačů [20]

Uspořádání pracoviště

Správné uspořádání pracoviště je klíčovou částí návrhu ergonomicky vhodného pracovního místa. Pracoviště by mělo být uspořádáno tak, aby pracovní roviny, pohybové prostory a vynakládané síly odpovídaly drahám pohybu, které jsou vykonávány s největší četností a také musí odpovídat tělesným rozměrům pracovníka. Pro návrh uspořádání je také nutná znalost základní pracovní pozice [21].

Uspořádání prvků pracoviště v horizontální rovině by mělo respektovat maximální dosahové vzdálenosti, kterých může pracovník dosáhnout, ale zároveň musí být kladen důraz na koncentraci pohybů s nejvyšší četností a vyžadovanou přesností v blízké oblasti před pracovníkem. Vyhovující je rovněž umístění prvků do oblastí, kdy pracovník nemusí změnit jeho základní pracovní polohu. Pracovní oblasti, ve kterých dochází k využití maximálního dosahu pracovníka či se mění jeho základní pracovní poloha, jsou z hlediska uspořádání nevhodné [21].

Vzdálenosti mezi jednotlivými prvky musí být takové, aby nebyla zbytečně prodlužována dráha pohybu. Uspořádáním pracoviště a jeho součástí lze dosáhnout minimální dosažitelné fyzické námahy pracovníka a maximální efektivnosti práce díky snížení časové náročnosti pracovních úkonů. Příklad vhodně uspořádaného pracoviště ukazuje obr. 3.7 [21].



Obr. 3.7: Příklad vhodného uspořádání pracoviště [20]

4 Platná ergonomická legislativa a analýzy

V této kapitole bude popsána nejdůležitější legislativa platná v rámci ČR, která se zabývá ergonomií, bezpečností a ochranou zdraví pří práci. Dále budou rovněž popsány vybrané ergonomické analýzy, které budou v rámci praktické části této práce dále využity.

4.1 Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Jedním ze základních právních dokumentů a předpisů v rámci legislativy České republiky, která se zabývá oblastmi ergonomie a ochrany zdraví při práci, je nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Nesprávná pracovní poloha, manipulace s břemeny či nedodržování platných hygienických a ergonomických limitů může mít nepříznivý vliv na zdraví pracovníka a sekundárně také vliv na jeho výkon a kvalitu vykonané práce. Z tohoto důvodu stanovuje nařízení vlády č. 361/2007 Sb. podmínky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích uzavřených v rámci České republiky. Toto nařízení se zabývá několika oblastmi, mezi které například patří [16]:

- rizikové faktory pracovních podmínek a jejich členění, hygienické limity,
- způsob hodnocení rizikových faktorů, způsob zjišťování hygienických limitů z hlediska ochrany zdraví zaměstnance, popis metod jejich zjišťování,
- minimální rozsah opatření k ochraně zdraví zaměstnance,
- hygienické požadavky na pracoviště a pracovní prostředí,
- požadavky na způsob organizace práce při fyzické zátěži ad.

4.1.1 Hodnocení energetického výdeje

Celková fyzická zátěž je posuzována z hlediska energetické náročnosti vykonávané práce. Tato náročnost je vyhodnocována na základě energetického výdeje. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. určuje hygienické limity energetického výdeje, konkrétně limity směnové průměrné, směnové přípustné, minutové přípustné a roční. Hygienické limity energetického výdeje dané v nařízení vlády č. 361/2007 Sb. uvádí tab. 4.1 [16].

Tab. 4.1: Limit energetického výdeje dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [16]

Energetický výdej	Muži	Ženy
Směnový průměrný [MJ]	6,8	4,5
Směnový přípustný [MJ]	8	5,4
Roční [MJ]	1600	1060
Minutový přípustný [kJ·min^{-1}]	34,5575	23,7395

4.1.2 Hodnocení lokální svalové zátěže

Lokální svalovou zátěží se dle definice rozumí dlouhodobé jednostranné nadměrné přetěžování stále stejných svalových skupin při výkonu práce končetinami. K lokální svalové zátěži může dojít zejména při činnostech, kdy je nutné pro splnění pracovního úkolu vynaložit velkou svalovou sílu či při opakování pohybů ve fyziologicky nepříznivých polohách. Při překročení hygienických limitů může dojít k rozvoji zejména muskuloskeletárních onemocnění (tj. nemoci šlach, kloubů, úponů, kostí a svalů) [22].

V rámci hodnocení lokální svalové zátěže se hodnotí vynakládané svalové síly, počty pohybů, pracovní polohy končetin a rozsah statické a dynamické složky práce. Přípustné hygienické limity pro vynakládanou svalovou sílu jsou vyjádřeny v procentech maximální svalové síly (% F_{max}), kterou je daný pracovník schopen ve vyšetřované poloze danou svalovou skupinou dosáhnout. Přípustné celosměnové hodnoty přepočtené na osmihodinovou směnu dané nařízením vlády č. 361/2007 Sb. ukazuje tab. 4.2 [10, 16, 22].

Tab. 4.2: Hodnoty lokální svalové zátěže dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 22]

Typ práce	Přípustný limit	Nepřípustný limit
Statická	10 % F_{max}	více než 45 % F_{max}
Dynamická	30 % F_{max}	více než 70 % F_{max}

Z hlediska četnosti pohybů je dále posuzováno, zda minutově, popřípadě v rámci směny, nebyl překročen při dané vyvinuté svalové síle odpovídající hygienický limit. Celkový počet pohybů, který je stanoven jako bezpečný a pracovník by ho při standartní osmihodinové směně nesmí přesáhnout, činí 27 000. Dále platí, že s rostoucí hodnotou % F_{max} se přípustný počet pohybů snižuje. Vybrané hodnoty % F_{max} a přípustného počtu pohybů udává tab. 4.3 [10, 16].

Tab. 4.3: Limit pro počet pohybů dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [16]

% F_{max}	Počet pohybů za směnu	Počet pohybů za minutu
10	19 800	41
20	10 400	22
30	7 200	15
40	4 800	10
50	2 700	7

V rámci analýzy lokální svalové zátěže se hodnotí zejména to, zda jsou úkony vykonávány jednostranně, v nadměrné míře a dlouhodobě. Pro posouzení daného pracoviště a dodržování hygienických limitů je tedy nutné znát [16, 22]:

- podíl statické a dynamické složky práce,
- velikost svalové síly, která je při pracovním úkonu užita,
- dobu, po kterou daná síla působí,
- počet vykonaných pohybů,
- intenzitu práce, její silový průběh a také její plynulost,
- specifické pracovní návyky daného pracovníka.

V případě, že daná pracovní činnost překračuje hygienické limity svalové zátěže nebo počet pohybů dané nařízením vlády č. 361/2007 Sb., musí být dle nařízení vlády č. 68/2010 Sb. tato pracovní činnost přerušena povinnými bezpečnostními přestávkami s dobou trvání 5 až 10 minut po každých 2 hodinách od započetí výkonu práce. Pokud tyto podmínky nelze zabezpečit, je nezbytné zajistit střídání pracovních činností nebo rotaci zaměstnanců na příslušných pracovních pozicích [16, 23].

4.1.3 Hodnocení pracovní polohy

V případě, kdy je pracovní činnost pracovníkem opakovaně vykonávána na stejném pracovním místě a v rámci pracovní činnosti si pracovník nemůže tuto pracovní polohu sám upravit (z důvodu konstrukce stroje, uspořádání pracoviště, kvůli charakteru práce), zvyšuje se zdravotní riziko spojené se setrváním v této pracovní poloze [16].

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. přebírá definici hodnocení pracovní polohy a pohybů z normy ČSN EN 1005-4. Tato norma specifikuje následující stupně pracovní polohy [10, 16, 20, 24]:

- **Přijatelné**, kdy je zdravotní riziko považováno za nízké či zanedbatelné pro téměř všechny zdravé dospělé osoby. Není třeba provádět žádné změny a opatření.
- **Podmíněně přijatelné**, v nichž hrozí zvýšené zdravotní riziko pro celou skupinu pracovníků anebo jejich část. Riziko a s ním spojené rizikové faktory je nutné analyzovat a snížit či eliminovat. V případě, že snížení rizika není možné, musí být přijata jiná opatření. Hygienický limit pro práci v podmíněně přijatelné pracovní poloze je 160 minut za osmihodinovou směnu, v případě práce ve dvanáctihodinové směně se tento limit navyšuje o 15 %. Doba, po kterou pracovník setrvává v jednotlivých podmíněně přijatelných polohách, nesmí přesáhnout 1 až 8 minut v závislosti na konkrétní zaujaté pracovní poloze.
- **Nepřijatelné**, při jejichž dosažení je zdravotní riziko nepřijatelné pro jakoukoliv skupinu pracovníků. Rekonstrukce návrhu pro zlepšení pracovního prostředí je bezpodmínečně nutná. Hygienický limit pro práci v nepřijatelné pracovní poloze je 30 minut za osmihodinovou směnu, v případě práce ve dvanáctihodinové směně se tento limit navyšuje o 15 %. Setrvání v této poloze opět nesmí překročit dobu 1 až 8 minut.

V rámci dalšího rozdělení, které je dále specifikováno v nařízení vlády č. 361/2007 Sb., také platí rozdělení pracovních poloh na statické a dynamické. V případě statické pracovní polohy je uveden rozsah, ve kterém je tato pracovní poloha podmíněně přijatelná a kdy je již nepřijatelná. Pokud je pracovní pozice posouzena jako dynamická, dále platí, že podmíněně přijatelná poloha je vyhovující při frekvenci pohybů menší než 2/min. Za dynamickou nepřijatelnou polohu je brána taková poloha, jejíž frekvence je vyšší než 2/min [16].

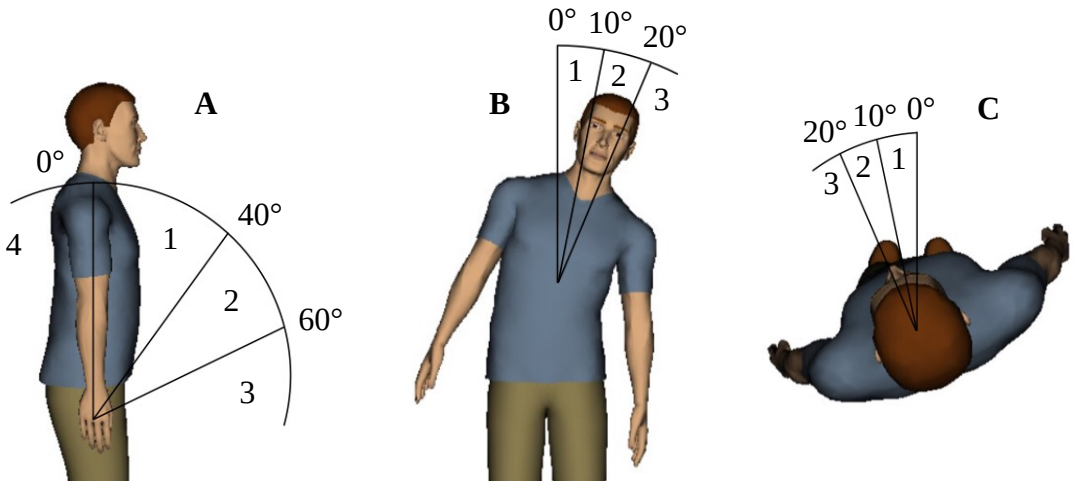
Anatomické pohyby

Přijatelné, podmíněně přijatelné a nepřijatelné polohy jsou v nařízení vlády č. 361/2007 Sb. a normě ČSN EN 1005-4 definovány pomocí anatomických pohybů. Anatomické pohyby jsou vázány na pohyby v kloubech kosterně svalového ústrojí a udávají vzájemnou polohu zkoumaných částí lidského těla. Mezi základní druhy anatomických pohybů, které ve své definici používá nařízení vlády č. 361/2007 Sb. a norma ČSN EN 1005-4 patří [10, 25]:

- **Flexe** – tzv. ohýbání, dochází ke zmenšení úhlu mezi dvěma částmi těla (např. ohnutí paže v lokti a předklon),
- **Extenze** – tzv. napřimování, tedy opak flexe, dochází ke zvětšení úhlu mezi dvěma částmi těla (např. natažení paže a záklon),
- **Rotace** – otáčení kolem podélné osy těla,
- **Lateroflexe** – tzv. úklon, boční pohyb,
- **Abdukce** – odtažení části těla od osy souměrnosti (pohyb končetiny ve směru od středové roviny), např. upažení,
- **Addukce** – opak abdukce, přitažení části těla k ose souměrnosti (pohyb končetiny ve směru ke středové rovině), např. připažení,
- **Pronace** – tzv. stočení (např. stočení předloktí dovnitř),
- **Supinace** – tzv. vytočení, opak pronace.

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. tedy blíže specifikuje pracovní polohu trupu, hlavy a krku a také horních končetin. Dále jsou zmíněny i pozice zápěstí a předloktí, které nejsou legislativně posuzovány, ale v rámci interního hodnocení ve společnosti Continental jsou tyto pracovní pozice rovněž uvažovány. Legislativně závazné limity společně s interně stanovenými limity na posuzované části těla jsou uvedeny v tabulkách níže. Přijatelné podmíněně přijatelné a nepřijatelné polohy jsou pro jednodušší orientaci a názornost vyznačeny barevně dle stupně přijatelnosti [16, 20].

Hodnocení pracovní polohy trupu

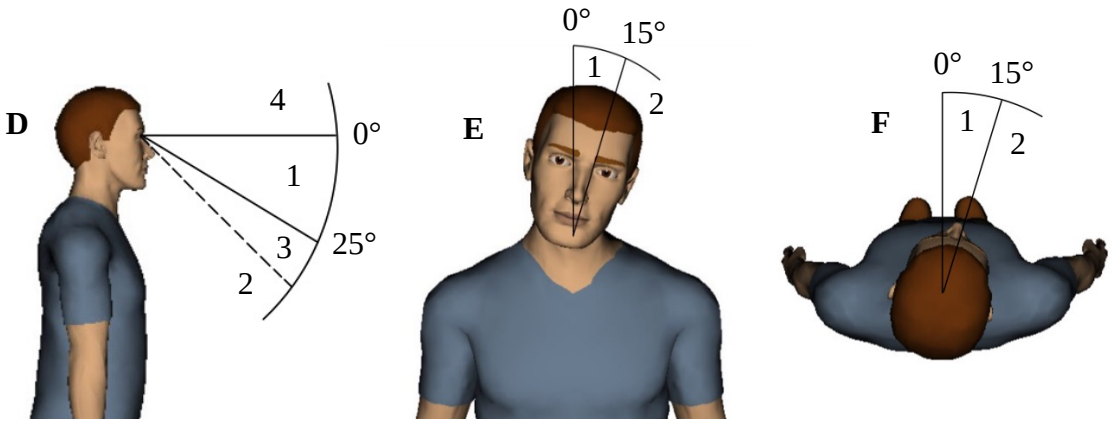


Obr. 4.1: Pracovní poloha trupu dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [20]

Tab. 4.4: Limity polohy trupu dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 16]

	Poloha	Přijatelná poloha	Číslo	Podmíněně přijatelná poloha	Číslo	Nepřijatelná poloha	Číslo
A	Flexe/ extenze	0°–40°	1	40°– 60°	2	0° a méně	4
						60° a více	3
B	Lateroflexe	0°–10°	1	10°– 20°	2	20° a více	3
C	Rotace	0°–10°	1	10°– 20°	2	20° a více	3

Hodnocení pracovní polohy hlavy a krku

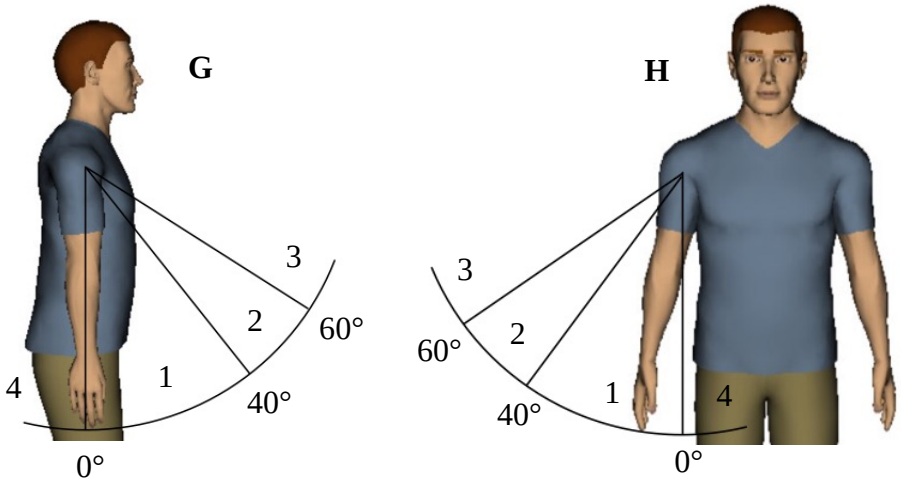


Obr. 4.2: Pracovní poloha hlavy a krku dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [20]

Tab. 4.5: Limity polohy hlavy a krku dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 16]

	Poloha	Přijatelná poloha	Číslo	Podmíněně přijatelná poloha	Číslo	Nepřijatelná poloha	Číslo
D	Flexe/ extenze	0°–25°	1	25°– 40°*	2	0° a méně	4
						25° a více	3
E	Lateroflexe	0°–15°	1	–		15° a více	2
F	Rotace	0°–15°	1	–		15° a více	2
* v případě současné podpory celého trupu							

Hodnocení pracovní polohy horních končetin

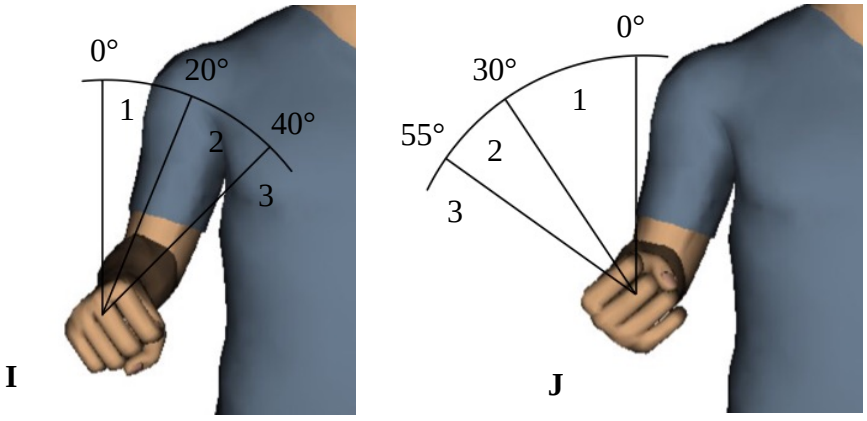


Obr. 4.3: Pracovní poloha horních končetin dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [20]

Tab. 4.6: Limity polohy horních končetin dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 16]

	Poloha	Přijatelná poloha	Číslo	Podmíněně přijatelná poloha	Číslo	Nepřijatelná poloha	Číslo
G	Flexe/ extenze	0°–40°	1	40°– 60°	2	0° a méně	4
						60° a více	3
H	Abdukce/ addukce	0°–40°	1	40°– 60°	2	0° a méně	4
						60° a více	3

Hodnocení pracovní polohy předloktí

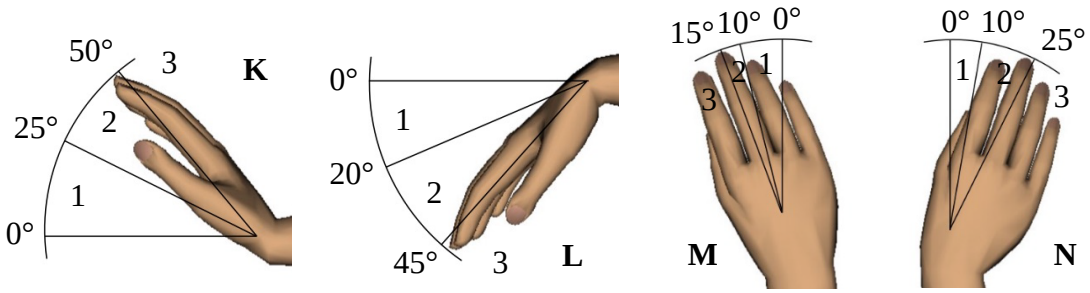


Obr. 4.4: Pracovní poloha předloktí dle interních pravidel [20]

Tab. 4.7: Limity polohy předloktí dle interních pravidel [10, 16]

	Poloha	Přijatelná poloha	Číslo	Podmíněně přijatelná poloha	Číslo	Nepřijatelná poloha	Číslo
I	Pronace	0°–20°	1	20°–40°	2	40° a více	3
J	Supinace	0°–30°	1	30°–55°	2	55° a více	3

Hodnocení pracovní polohy zápěstí



Obr. 4.5: Pracovní poloha zápěstí dle interních pravidel [20]

Tab. 4.8: Limity polohy zápěstí dle interních pravidel [10, 16]

	Poloha	**Přijatelná poloha**	**Číslo**	**Podmíněně přijatelná poloha**	**Číslo**	**Nepřijatelná poloha**	**Číslo**
K	Dorzální flexe	0°–25°	1	25°–50°	2	50° a více	3
L	Palmární flexe	0°–20°	1	20°–45°	2	45° a více	3
M	Radiální dukce	0°–10°	1	10°–15°	2	15° a více	3
N	Ulnární dukce	0°–10°	1	10°–25°	2	25° a více	3

4.1.4 Hodnocení ruční manipulace s břemenem

Vyhodnocení silových a hmotnostních limitů při manipulaci s břemeny je jednou z nejdůležitějších částí při ergonomické optimalizaci pracoviště. Důvodem je fakt, že i přes narůstající mechanizaci a automatizaci při manipulaci s břemeny je zhruba polovina všech zranění a poškození páteře v pracovním procesu spojena s nesprávnou manipulací s břemeny, neboť ne všude lze tyto činnosti automatizovat a mechanizovat a je stále zapotřebí manipulaci vykonávat ručně, tedy s použitím lidské práce [10].

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. definuje ruční manipulaci s břemenem jako přepravování či nošení břemene jedním nebo více pracovníky současně včetně všech příslušných úkonů spojených s manipulací s břemenem, tj. zvedání, posunování, strkání a přemisťování. Při této manipulaci může pak v důsledku vlastností břemene nebo nepříznivých ergonomických podmínek dojít k poškození páteře nebo vzniku dalších onemocnění, která jsou spojena s nadměrnou jednostranně koncentrovanou zátěží. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. udává přípustné hygienické limity pro manipulaci s břemeny, viz. tab. 4.9 [10, 16].

Tab. 4.9: Hmotnostní limity manipulace dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 16]

Pohlaví	Občasná manipulace [kg]	Častá manipulace [kg]	Práce v sedě [kg]	Kumulativně [kg]
Muži	50	30	5	10 000
Ženy	20	15	3	6 500

- **Občasná manipulace** – občasně vykonávané zvedání a přenášení břemen, které nepřesahuje souhrnně 30 minut v průměrné osmihodinové směně.
- **Častá manipulace** – zvedání a přenášení břemen s vyšší četností přesahující 30 minut v průměrné osmihodinové směně.
- **Kumulativní limit** – suma hmotností manipulovaných břemen v rámci průměrné osmihodinové směny [16].

Dále se v nařízení vlády č. 361/2007 Sb. uvádí hygienický limit pro tlačné a tažné síly v případě, že je s břemeny manipulováno pomocí jednoduchého bezmotorového prostředku. Tyto síly jsou uvedeny v tab. 4.10 [16].

Tab. 4.10: Silové limity pro manipulaci dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 16]

Pohlaví	Tlačná síla [N]	Tažná síla [N]
Muži	310	280
Ženy	250	220

Manipulaci s břemeny a hodnocení zdravotního rizika při manipulaci je nutné hodnotit komplexně. Kromě daných hmotnostních a silových limitů musí být rovněž dodrženy i limity energetického výdeje, popřípadě tepové frekvence. Dále se vyhodnocují také samotné pracovní podmínky, při nichž k manipulaci s břemeny dochází [16].

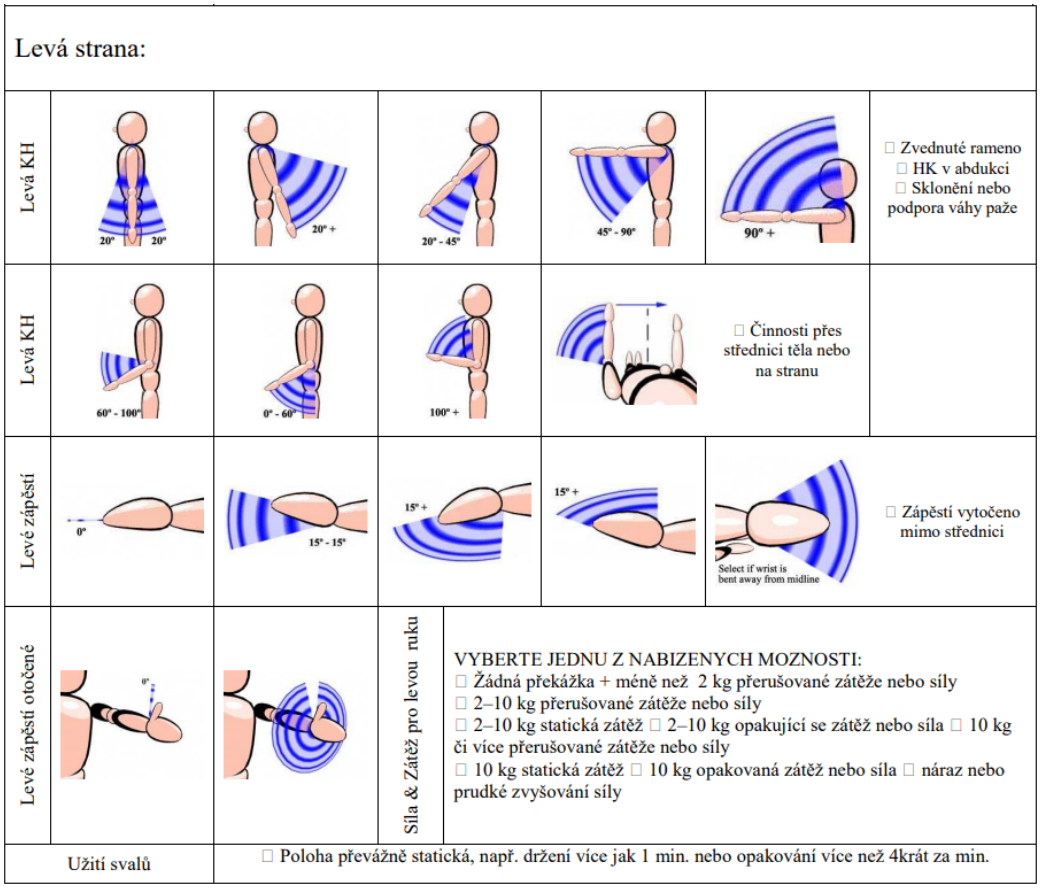
4.2 Analýza RULA

Analýza RULA (Rapid Upper-Limb Assessment) je nástrojem, který poskytuje jednoduše kvantifikovatelné hodnocení rizika v případech pracovních úkonů, při kterých je zvýšena zátěž zejména na horní končetiny (paže, předloktí a zápěstí) hlavu a krk. Obsahuje ale také hodnocení pracovní pozice trupu a nohou. RULA umožňuje komplexní zhodnocení, které zahrnuje pracovní polohu, trvání vyhodnocovaného úkonu a jeho četnost, užití svalů a také hmotnost břemene. Analýzu lze využívat v případech, kdy pracovník stojí a také při pracovní pozici v sedě. Výsledkem je bodové ohodnocení dle stupnice, které dále slouží k rozhodnutí, zda je pracovní poloha přijatelná nebo bude nutné zavést změny a nápravná opatření [28, 29].

Hlavními aplikacemi analýzy RULA jsou následující [28]:

- změření muskuloskeletálního rizika, obvykle jako součást širšího ergonomického zhodnocení,
- porovnání muskuloskeletální zátěže současného a upraveného pracoviště,
- vyhodnocení výsledků jako je produktivita či vhodnost použitého vybavení,
- vzdělávání pracovníků o muskuloskeletálních rizicích spojených s různými pracovními polohami.

K provedení analýzy RULA slouží ergonomické checklisty. Ty sestávají z hodnocení polohy horních končetin, postavení krku, trupu a nohou a také přiřazení svalových a silových parametrů v dané pracovní poloze. Následně je pomocí tabulky stanoveno bodové skóre pro horní končetiny a skóre pro krk, trup a nohy. Po přičtení svalových a silových parametrů vznikne konečné skóre pro každou z těchto dvou kategorií a po dosazení a maticovém vyhledání ve finální tabulce vznikne výsledné skóre dle metodiky RULA. Příklad ergonomického checklistu hodnocení metodou RULA pro levou horní končetinu ukazuje obr. 4.6 [29].



Obr. 4.6: Checklist pro hodnocení levé horní končetiny metodou RULA [29]

Na základě dosaženého skóre je pak daná pracovní poloha zařazena do příslušné kategorie podle toho, jaký zásah je v důsledku příslušného bodového ohodnocení vyžadován. Jednotlivé skupiny jsou uvedeny v tab. 4.11 [28, 29].

Tab. 4.11: Vyhodnocení kategorie rizika analýzou RULA [28, 29]

Kategorie	Skóre	Vyhodnocení a úroveň rizika
1	1–2	Práce v této pozici je přijatelná, pokud není prováděna po dlouhou dobu či není opakována.
2	3–4	Při práci v této pozici existuje nízké riziko, je třeba další zhodnocení a měly by být vyžadovány změny.
3	5–6	Existuje střední riziko, je třeba provést změnu v provádění práce v nejbližší možné době.
4	7	Změna v provádění práce je nutná ihned, riziko je vysoké.

4.3 Analýza Low Back

Chronická onemocnění bederní páteře vznikají dlouhodobým přetěžováním těžkou fyzickou prací. V důsledku manipulace s těžkými břemeny je zvyšován kompresní tlak na ploténku L4/L5, což může vést k morfologickým změnám v tomto segmentu, jako je např. snížení meziobratlové ploténky, její protruze, popřípadě posun obratlového těla. Z tohoto důvodu je nutné dle nařízení vlády č. 506/2021 Sb. analyzovat a dokládat, zda při pracovní činnosti nedochází k překračování hodnoty kompresního tlaku vycházející z limitu NIOSH US 3400 N. Tab. 4.12 ukazuje hodnoty kompresního tlaku [30].

Tab. 4.12: Vyhodnocení úrovně zátěže L4/L5 dle metodiky NIOSH [31]

Kompresní tlak	Vyhodnocení úrovně zátěže L4/L5
do 3400 N	Komprese je pod limitní hodnotou NIOSH, představuje minimální riziko pro většinu zdravých pracovníků.
3400–6400 N	Komprese je nad limitní hodnotou NIOSH, existuje zvýšené riziko zranění bederní páteře pro některé pracovníky.
nad 6400 N	Komprese je nad kritickou hodnotou, riziko poškození bederní páteře je výrazně zvýšeno, je nutné provést změny.

Použitím analýzy Low Back, kterou je možné provádět pomocí nástrojů digitální ergonomie, je možné zjistit následující informace [32]:

- kompresní tlak na ploténku L4/L5 a porovnání tohoto tlaku s doporučenými a přípustnými limity metodiky NIOSH,
- sagitální, laterální a axiální reakční momenty na ploténce L4/L5, které představují přenesené síly od hmotnosti břemene a jiných působících sil,
- úroveň aktivity svalových skupin trupu potřebnou k vyrovnání momentů vznikajících od zatížení bederní páteře v oblasti L4/L5.

5 Analýza současného stavu procesu ergonomie

V této kapitole bude popsána historie společnosti Continental AG, současný stav této společnosti ve světě a v České republice a samotný závod v Brandýse nad Labem, kde je tato diplomová práce realizována. Následně bude analyzován současný proces ergonomie a nástroje využívané při hodnocení ergonomie výrobních i nevýrobních pracovišť v závodu v Brandýse nad Labem.

5.1 Představení společnosti Continental AG

Společnost Continental AG patří k největším světovým dodavatelům pro automobilový průmysl. Tato společnost se sídlem v německém Hannoveru má pobočky v 59 zemích a celosvětově zaměstnává více než 233 000 zaměstnanců. Continental se zaměřuje na výrobu multimediálních systémů a autorádií, ovládacích panelů klimatizací, palivových jednotek, pneumatik a dalších komponent. Mezi zákazníky společnosti patří většina světových automobilek, jako je koncern Volkswagen, PSA, Ford, Toyota, Renault, BMW, Fiat či Daimler [33].

Obr. 5.1: Logo společnosti Continental AG [20]

5.1.1 Historie společnosti

Společnost Continental byla založena 8. října 1871 pod názvem Continental-Caoutchouc und Gutta-Percha Compagnie. Prvními výrobky, na které byla výroba soustředěna, byly převážně pevné pneumatiky pro vozy a jízdní kola, pogumované textilie a další pryžové součástky [34].

Roku 1898 započíná Continental v Hannoveru výrobu automobilových pneumatik bez dezénu a v roce 1904 společnost představuje jako první na světě pneumatiky s dezénem. Kromě pneumatik se firma zaměřuje i na výrobu speciálního materiálu pro stavbu pláště vzducholodí či trupu a křídel letadel. V první polovině 20. století se společnost Continental stále specializuje výhradně na vývoj nových druhů pneumatik a vylepšuje jejich materiálové složení [34].

V dalších letech firma rozšiřuje své výrobkové portfolio, a kromě pneumatik začíná vyrábět další součástky pro automobilový průmysl, například hadice, hydraulická ložiska a tlumiče a dále upevňuje svou pozici jakožto globálního lídra výroby pneumatik pro osobní i nákladní vozidla [34].

Na přelomu 21. století Continental zintenzivňuje své podnikání v automobilovém sektoru a výrazně investuje do dalšího rozvoje zejména v oblasti automobilové elektroniky. Akvizicí společností Temic v roce 2001 a automobilové divize Motorola Inc. roku 2006 se společnost dostává mezi největší celosvětové dodavatele. Díky převzetí společnosti Siemens VDO Automotive AG začíná Continental vyrábět také informační a bezpečnostní systémy, airbagy a palivová čerpadla a stává se jedním z pěti největších dodavatelů pro automobilový průmysl [34].

5.1.2 Současnost společnosti

V současné době je společnost Continental AG na trhu lídrem v mnoha oblastech výroby komponent pro automobilový průmysl, například palubní elektroniky, displejů a displejových jednotek, ale také ve vývoji systémů bezpečnosti, autonomního řízení a podílí se na rozvoji elektromobility. Výhradní postavení společnosti potvrzují i její tržby, které v roce 2022 dosáhly hodnoty téměř 40 miliard eur [33].

Samotná společnost je rozdělena do tří základních divizí, nad nimiž je divize Continental Group, která má na starosti řízení firmy, strategii, finance a komunikaci. Divize, které se zabývají výrobou, jsou následující [35]:

- **Automotive** – tato divize se dále dělí na podskupiny Safety and Motion, Architecture and Networking, User Experience, Smart Mobility a Autonomous Mobility. Obecně se divize zabývá vývojem asistenčních systémů a autonomního řízení a také výrobou interiérové elektroniky a dalších elektronických systémů.
- **Tires** – skládá se z podskupin Original Equipment, Replacement APAC, Replacement EMEA, Replacement the Americas a Specialty Tires. Tato divize je výhradně specializována na vývoj a výrobu pneumatik a dalšího příslušenství.
- **ContiTech** – součástí jsou podskupiny Advanced Dynamics Solutions, Conveying Solutions, Industrial Fluid Solutions, Mobile Fluid Systems, Power Transmission Group a Surface Solutions. Divize se zaměřuje na výrobu gumových dílů a komponent, jako hadice, součásti palivového systému ad.

5.1.3 Společnost Continental v České republice

V České republice začíná společnost Continental působit v roce 1993 pod názvem Continental Automotive Czech Republic s.r.o., kdy se stává většinovým vlastníkem společnosti Barum v Otrokovicích. V následujících letech firma buduje další výrobní pobočky v Adršpachu, Brandýse nad Labem, Frenštátě pod Radhoštěm, Trutnově a také v Jičíně, kde je alokováno sídlo firmy pro Českou republiku. Firma v těchto lokalitách zaměstnává téměř 11 000 zaměstnanců a patří k největším zaměstnavatelům v zemi [33].

Pobočka Continental v Brandýse nad Labem byla založena roku 2007, kdy započala výroba v halách původně státního podniku PAL Kbely. Společnost zde ve čtyřech výrobních závodech zaměstnává 2500 pracovníků. Mezi produkty vyráběné touto pobočkou patří multimediální systémy, palubní přístroje, autorádia, panely klimatizací, panely informačních systémů a displejové jednotky. Zdejší továrna má k dispozici jak technologie výroby plošných spojů, tak i čisté prostory pro skládání vrstev displejů, lisovnu, lakovnu a lokální R&D centrum [33].

Obr. 5.2: Závod Continental v Brandýse nad Labem [20]

V rámci závodu v Brandýse nad Labem bylo roku 2020 založeno oddělení Smart Automation, v jehož spolupráci tato diplomová práce vznikla. Oddělení se zabývá obecně digitalizací a automatizací výrobních procesů, výrobními simulacemi a zaváděním nových technologií v rámci konceptu průmyslu 4.0.

5.2 Současný stav procesu ergonomie

Proces ergonomie ve výrobním závodu v Brandýse nad Labem je nedílnou součástí pracovního postupu, jehož cílem je jak posuzování stávajících manuálních pracovišť, tak i posuzování a specifikace nových manuálních pracovišť z pohledu ergonomie. Tento pracovní postup má na starost ergonomický tým, který je složen jak z ergonomů, tak i z inženýrů zodpovědných za návrh a konstrukci manuálních pracovišť. Úkolem ergonomického týmu je pak koordinace řešení ergonomických problémů na úrovní celého závodu. Agenda ergonomického týmu je následující:

- řízení procesu ergonomie,
- identifikace a řešení aktuálních ergonomických problémů,
- kontrola aktivit vedoucích k implementaci navržených ergonomických opatření,
- delegace úkolů k odstranění ergonomických rizik a sledování jejich plnění,
- sledování míry fyzické zátěže napříč závodem,
- schvalování akčních plánů pro snižování míry zátěže,
- stanovení cílů v oblasti ergonomie pro nadcházející období.

Mezi hlavní cíle ergonomického týmu a celkově procesu ergonomie v závodu patří zejména kontinuální zvyšování podílu ergonomicky nezávadných pracovních míst, která budou zároveň věkově nezávislá a stabilní. Tento cíl vychází z korporátního demografického průzkumu, který zejména pro evropské prostředí predikuje výrazné zvýšení počtu pracovníků ve věkové skupině nad 50 let. Mezi další cíle patří rovněž využití nástrojů digitální továrny pro zhodnocení ergonomie manuálních pracovišť, tomuto tématu bude vyhrazen zbytek této diplomové práce.

5.2.1 Popis procesu ergonomie

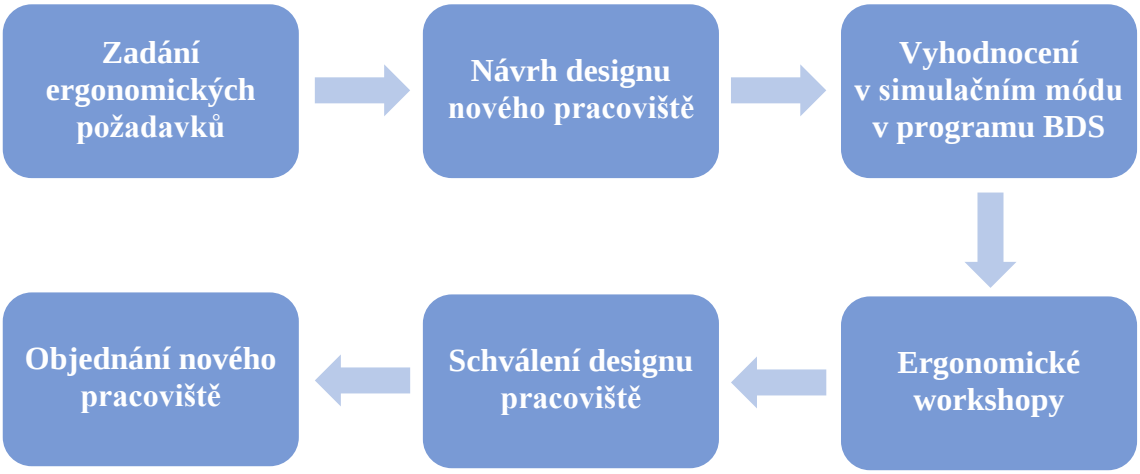
Proces zhodnocení ergonomie je v současné době začleněn jak do samotného návrhu a nákupu nového pracoviště, tak i do fáze, kdy je třeba před zahájením výroby na daném pracovišti provést ergonomický audit. Po jeho ukončení je možné výrobní linku uvolnit do sériové výroby. Schéma postupu těchto fází je ukázáno na obr. 5.3.

Obr. 5.3: Schéma dílčích fází procesu ergonomie v závodu Continental

Návrh nového pracoviště

K zapojení ergonomického týmu dochází již v rámci návrhu nového pracoviště. Oddělení, která jsou zodpovědná za návrh a konstrukci nového manuálního pracoviště, jsou povinna zohlednit ergonomické požadavky dané normami, platnou legislativou a také interními ergonomickými pravidly.

Postup při zhodnocení návrhu nového pracoviště v současnosti sestává z několika kroků. V první fázi je provedeno první předběžné vyhodnocení pomocí programu BDS (viz. kapitola 5.2.2) v simulačním módu. V návaznosti na výsledek ergonomické analýzy jsou poté organizovány workshopy, jejichž cílem je tento výsledek zhodnotit a schválit takový design pracoviště, který je v souladu s ergonomickými požadavky. Na základě schválení designu jsou pak nová pracoviště výrobní linky objednána.



Obr. 5.4: Současný proces ergonomie při návrhu nového pracoviště

Účelem tohoto postupu je, aby pracoviště splňovalo požadavky na prostor, pracovní polohy, manipulaci s břemeny, dosahové vzdálenosti, vynakládané pohyby, ale také na osvětlení, hluk, vibrace ad. I přes provedení výše uvedeného postupu se často stává, že nedostatky zejména v oblasti fyzické ergonomie nejsou kvůli absenci vhodných nástrojů odhaleny, což přináší četné problémy při zahajování sériové výroby. V této práci tedy bude řešena modifikace současného postupu tak, aby došlo k eliminaci těchto problémů.

Nákup nových zařízení

V případě, že se jedná o nové strojní zařízení, tj. zařízení tohoto typu není dosud standardizováno a zároveň je vyžadováno ergonomické zhodnocení tohoto zařízení, je provedena analýza v programu BDS v simulačním módu. Jestliže je poté výsledek tohoto ergonomického vyhodnocení zařízení nevyhovující, je nutné vyžadovat vhodná opatření, aby došlo k odstranění ergonomických rizik. Po zapracování nápravných opatření je poté provedeno nové vyhodnocení v programu BDS. Pokud není možné provést žádné změny designu a neexistují další řešení, o schválení, popřípadě zamítnutí takového zařízení, rozhodne po zvážení všech aspektů ergonomický tým.

Ergonomický audit nového pracoviště

Po nákupu a následné instalaci nových pracovišť výrobní linky do výrobních prostor je třeba před započetím sériové výroby provést komplexní ergonomický audit. První fází ergonomického auditu je kontrola splnění kritérií, která byla stanovena na ergonomických workshopech ve fázi návrhu.

Pro uvolnění linky do sériové výroby musí být splněny všechny požadované body ergonomického auditu. Základními předpoklady je v tomto případě splnění legislativních požadavků a také provedené hodnocení v programu BDS v produktivním módu. Výsledkem hodnocení v programu BDS nesmí být překročené limity pro fyzickou zátěž. V případě nesplnění legislativních požadavků nebo překročení limitů pro fyzickou zátěž v programu BDS není pracoviště uvolněno do výroby. V případě nesplnění ostatních ergonomických požadavků je pracoviště schváleno podmínečně s tím, že musí být předložen plán pro odstranění ergonomických nedostatků.

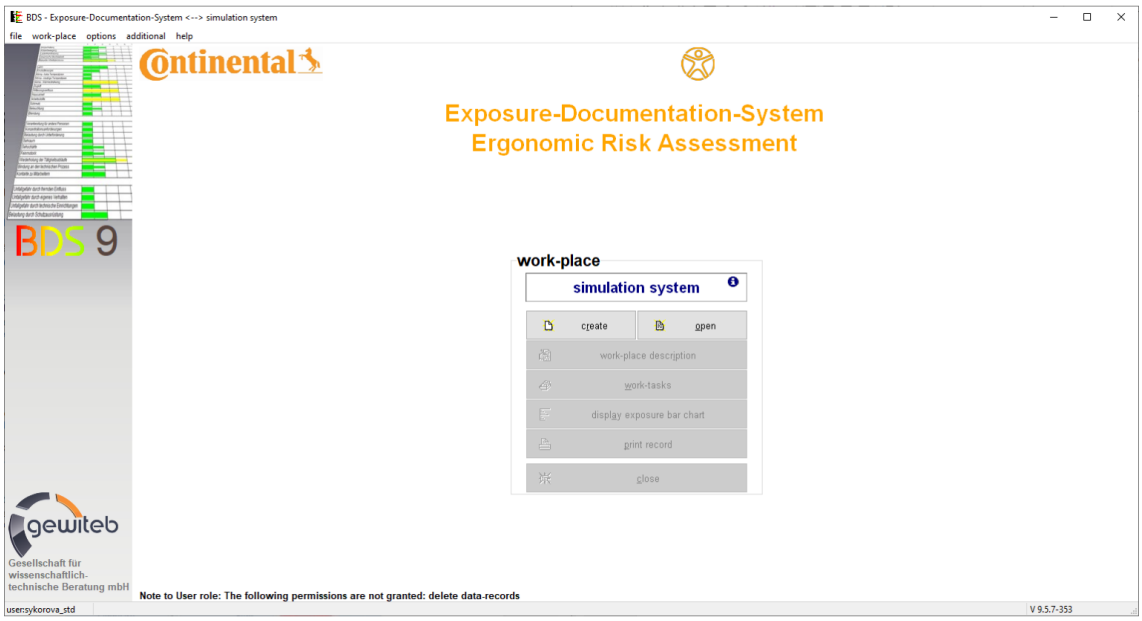
Nejdříve tři měsíce po zahájení sériové výroby je pak na novém pracovišti možné provést měření a odborné hodnocení lokální svalové zátěže, celkové fyzické zátěže a pracovní polohy pracovníků na pracovišti. Cílem tohoto měření je potvrzení splnění legislativních požadavků a dodržení hygienických limitů pro fyzickou zátěž pracovníků. Příslušné měření provádí autorizovaná laboratoř fyziologie práce. Měření je následně přepočteno na cílovou produkci linky, řízenou rotaci na pracovních pozicích a zastoupení pracovníků dle pohlaví. Součástí výsledků je rovněž údaj o maximálním objemu práce na pracovišti tak, aby nedocházelo k překračování hygienických limitů.

Změny na lince

Posledním bodem, který spadá do gesce ergonomického týmu, je posuzování změn na linkách. Tento bod již nespadá do problematiky návrhu nových pracovišť, avšak je nedílnou součástí ergonomického procesu. V případě, že dojde ke změně layoutu linky, přestěhování linky, změně standardů práce či přestavbě zařízení linky, je nutné zástupce ergonomického týmu o těchto změnách informovat a ti následně provedou nový ergonomický audit. Jeho výstupem musí být opět kladný výsledek analýzy z programu BDS v produktivním módu. Pokud nejsou změny na lince zásadní, zástupce ergonomického týmu vyhodnotí nutnost provedení nového auditu zejména s ohledem na to, zda se předpokládá zvýšení zátěže na pracovišti.

5.2.2 Program BDS

BDS je vnitropodnikový korporátní software vytvořený divizí Tires, který je nedílnou součásti ergonomické analýzy nových i stávajících pracovišť. Všechna nová pracoviště musí být systémem BDS vyhodnocena a výsledky zde musí být archivovány. Hlavním účelem tohoto programu je zjistit, zda jsou splněny legislativní požadavky na pracovníky, kteří na příslušných pracovištích pracují. BDS umožňuje na základě videozáznamu vytvořit popis a rozbor pracovních činností, které jsou na pracovišti vykonávány. Pracovní rozhraní korporátního ergonomického programu BDS je ukázáno na obr. 5.5.



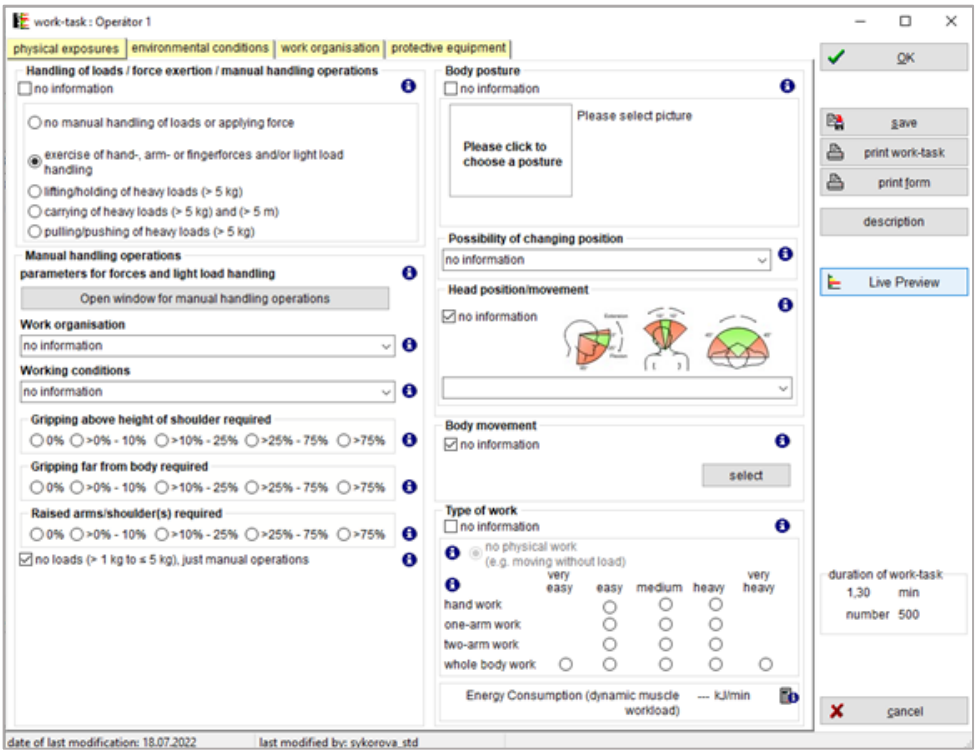
Obr. 5.5: Pracovní rozhraní ergonomického programu BDS

Program BDS je možné používat ve dvou pracovních módech v závislosti na tom, v jaké fázi je dané pracoviště z pohledu ergonomie posuzováno:

- **Simulační mód** – v tomto módu jsou pracoviště vyhodnocována v rámci jejich návrhu a schvalování konstrukce.
- **Produktivní mód** – tento mód je využíván ve fázi probíhajícího ergonomického auditu před zahájením sériové výroby.

Samotnému vytvoření ergonomické analýzy předchází získání vstupních dat, jako je videozáznam výrobního cyklu, informace o počtu pracovníků na pracovišti, délce směny, počtu přestávek, cyklovém času, počtu kusů vyrobených za směnu a hmotnosti břemen manipulovaných na lince. Pokud jsou vstupní data shromážděna, následuje samotná ergonomická analýza. Ta sestává z popisu pracovního místa (work-place description) a z rozboru příslušné činnosti (work-task).

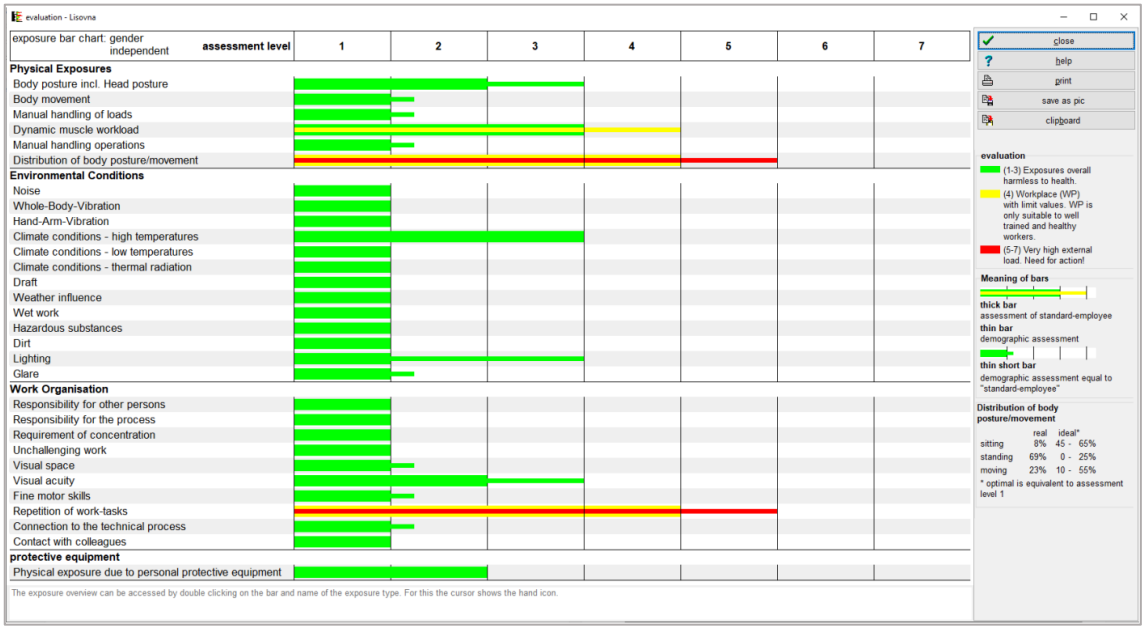
V rámci popisu pracovního místa je nutné zadat informace o názvu a označení linky, počtu pracovníků na dané lince a počtu minut dané směny a počtu přestávek. Dále je zde také vyplňována informace o pohlaví pracovníků na příslušném pracovišti. V rámci závodu v Brandýse nad Labem platí povinnost hodnotit všechna pracoviště jako genderově neutrální tak, aby byla vhodná pro muže i ženy.



Obr. 5.6: Popis pracovní činnosti v BDS z hlediska fyzické ergonomie

Na základě údajů o pracovním místě je následně možné vyplnit detaily rozboru samotné pracovní činnosti. Rozbor se skládá ze čtyř částí. V první části je třeba vyplnit popis pracovní činnosti z hlediska pohybů, pracovních poloh a využití sil (obr. 5.6). V další části jsou hodnoceny parametry prostředí, je zde hodnocen vliv hluku, teploty, intenzity osvětlení, vlhkosti či vliv přítomnosti nebezpečných chemických látek. Následující část je věnována popisu organizace práce, tj. do hodnocení jsou zde zaneseny faktory cyklového času a repetitivní práce, přítomnost vizuální kontroly v rámci výrobního cyklu a příslušných vizuálních podmínek, kontakt s dalšími pracovníky a také míra zodpovědnosti, kterou má daný pracovník za jiné osoby či za samotný proces. V poslední části rozboru pracovní činnosti je zaznamenáno, zda daný pracovník při práci používá pracovní pomůcky a ty jsou následně vybrány ze seznamu.

Po vyplnění všech potřebných údajů je automaticky provedena kontrola a uživatel je upozorněn na případné nedostatky. V případě, že se nedostatky nevyskytují, software vygeneruje grafické zhodnocení, ze kterého je možné určit, zda je linku možné uvolnit pro sériovou výrobu či nikoliv. Příklad vyhodnocení pracoviště v BDS je na obr. 5.7.



Obr. 5.7: Příklad ergonomické analýzy v pracoviště v lisovně pomocí BDS

Grafická interpretace analýzy zobrazuje zelené, žluté a červené vodorovné čáry. Délka čar ukazuje bodové ohodnocení pracoviště na stupnici 1–7. Tyto čáry mohou být silné nebo slabé, tloušťka je dána věkem pracovníka. Silná čára ukazuje hodnocení pro standartního pracovníka, slabá čára pro pracovníky ve věku 55 let a starší. Pracoviště, která mají bodová ohodnocení v rozmezí 5–7, nejsou uvolněna do sériové výroby.

5.3 Analýza současného stavu

V současnosti je z ergonomického hlediska vhodnost nových pracovišť zajišťována dvěma způsoby. Těmi je poskytnutí ergonomické příručky dodavateli, který má na starost návrh a konstrukci linky a analýza v simulačním módu programu BDS.

Analýza v programu BDS je ve velké míře postavena na videozáznamu dané manuální činnosti. Tento videozáznam však ve fázi návrhu není k dispozici a provádí se tudíž pouze odhad na základě manuálních pracovišť, která jsou navrhovanému pracovišti nejvíce podobná, a to jak prováděnou činností, tak i konstrukcí. Odhadované zhodnocení může být v tomto případě i do značné míry zkreslené.

Program BDS nabízí také hlavně z hlediska fyzické ergonomie poměrně málo funkcí, je nedostatečně detailní a vzhledem k výše uvedenému postupu i nepřesný. V praxi poté v mnoha případech nastala situace, kdy nedostatky nebyly odhaleny v návrhové fázi, design byl schválen a linka v byla s těmito nedostatky vyrobena a dodána. Následkem přítomnosti ergonomických nedostatků pak je:

- neschválení pracoviště na ergonomickém auditu,
- posunutí data počátku výroby,
- finanční výdaje na změnu konstrukce pracovišť,
- finanční ztráty plynoucí z neprobíhající výroby na dotčené lince.

Aby se těmto problémům předešlo, bylo rozhodnuto, že dojde ke změně postupu při ergonomické analýzy pracovišť v návrhové fázi. Zejména dojde k začlenění nástrojů virtuální ergonomie tak, aby mohla být nová pracoviště těmito nástroji vyhodnocována ve spolupráci s korporátním programem BDS či aby byl jimi v budoucnu tento program nahrazen. Dále bude tedy popsán výběr vhodného nástroje, popřípadě jejich kombinace, a jeho zasazení do současného postupu procesu ergonomie v závodě Continental v Brandýse nad Labem.

6 Návrh optimalizace procesu ergonomie

Tato kapitola se bude zabývat návrhem optimalizace procesu analýzy ergonomie s využitím simulačních nástrojů ve virtuálním prostředí. První část optimalizace se bude zabývat zejména výběrem vhodného nástroje pro virtuální analýzu ergonomie. Bude provedena rešerše možných řešení a také vyhodnocení stávajících možností pomocí nástrojů, které jsou již v závodu v Brandýse nad Labem k dispozici. V druhé části optimalizace bude navržena a vytvořena příslušná metodika, která bude následně začleněna do současného procesu ergonomie ve výrobním závodě Continental.

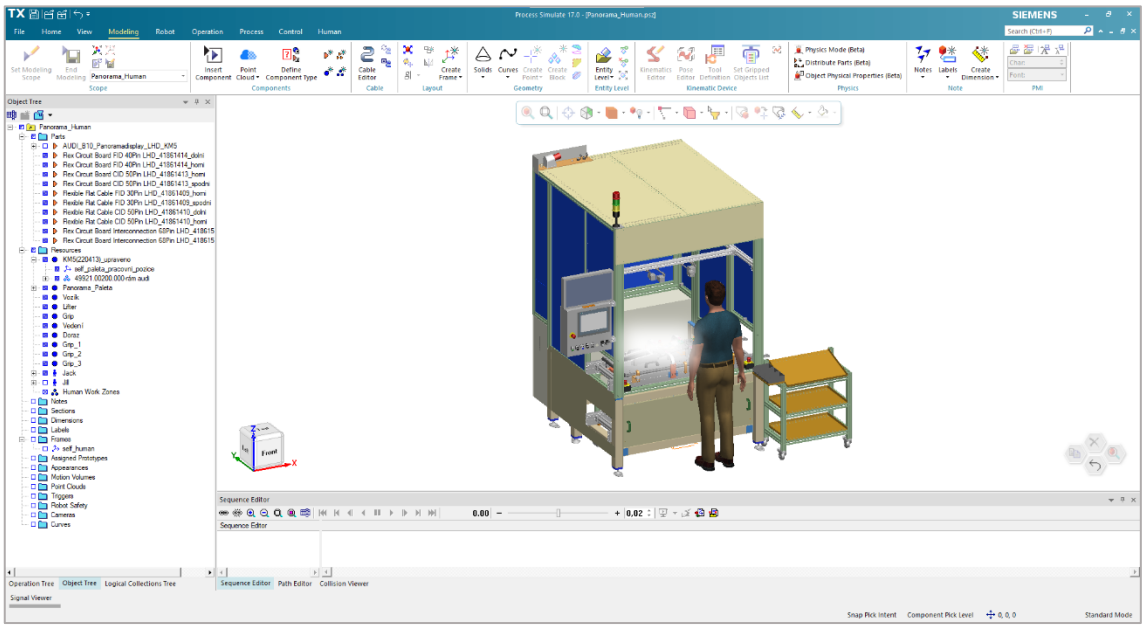
6.1 Výběr nástroje virtuální ergonomie

Z hlediska implementace nástroje pro simulaci ergonomie je důležitá zejména jeho funkcionalita a také možnost tvorby co nejvěrnější simulace pracovní činnosti. Zároveň by však měl být kladen důraz na jednoduchost ovládání, popřípadě spolupráci s dalšími simulačními softwary, které jsou již v současnosti využívány. Budou popsána jak čistě softwarová řešení, tak i možné kombinace softwaru pro virtuální ergonomii a hardwarových pomůcek, jako je virtuální realita a Motion Capture.

6.1.1 Process Simulate Human

Process Simulate je software vyvíjený divizí Digital Industries Software společnosti Siemens spadající do balíku Tecnomatix PLM. Process Simulate umožňuje ve 3D prostředí navrhovat, simulovat a optimalizovat výrobní a montážní linky a v návaznosti na to také plánovat příslušné výrobní procesy. V rámci softwaru je tedy možné vytvořit výrobní koncept a následně ho validovat bez nutnosti ověření v reálném prostředí. Díky tomu je možné ušetřit finanční prostředky a urychlit zahájení výroby.

Samotný software se skládá z jednotlivých modulů, které je možné k základnímu programu libovolně dokupovat. Mezi tyto moduly patří i modul Human. Process Simulate Human je určen pro použití ve výrobních podnicích, kde je řešena ergonomie práce z pohledu pracovních poloh, manipulace s břemeny, zatížení zad a vynakládaných sil. Zároveň je také možné pomocí nástrojů dostupných v modulu Human řešit problematiku bezpečnosti práce, ověřovat bezpečnost výrobního procesu a dodržování průmyslových standardů. Ukázka pracovního prostředí programu je uvedena na obr. 6.1.



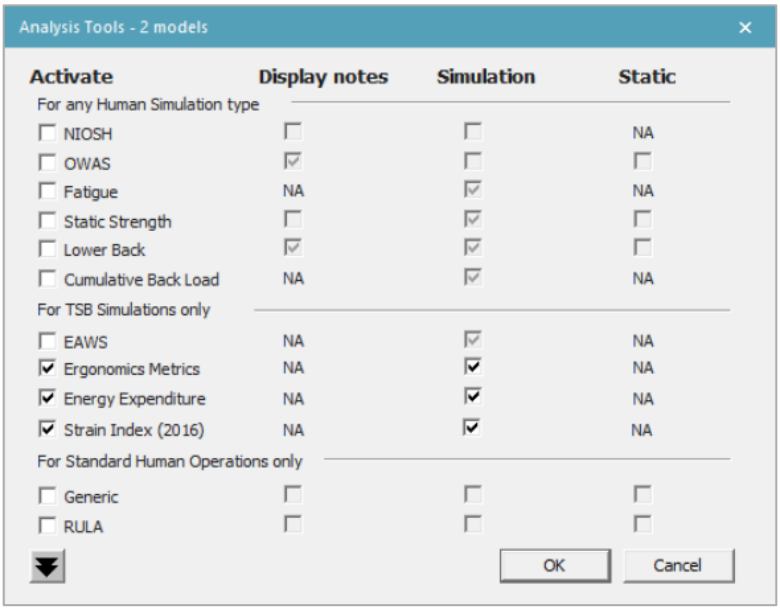
Obr. 6.1: Ukázka pracovního prostředí softwaru Process Simulate Human

Mezi hlavní přínosy modulu Process Simulate Human lze zařadit zejména:

- širokou antropologickou databázi pokrývající populaci celého světa,
- věrnou a jednoduše proveditelnou dynamickou simulaci,
- velké množství ergonomických analýz a zavedených standardů.

Process Simulate Human je jednoznačně nejrozšířenějším ergonomickým softwarem v průmyslové praxi. Jeho největší výhodou je zejména spojení realistického biomechanického modelu člověka spolu se širokou škálou ergonomických analýz. Obsáhlá knihovna antropometrických databází umožňuje vytvořit lidský model, který koresponduje s normou ČSN EN ISO 7250-1 a splňuje tedy požadavek na co nejpřesnější vstup do simulace ergonomie. Další výhodou je již zmíněné široké spektrum ergonomických analýz pokrývající zhodnocení dle platné legislativy (pracovní polohy a energetický výdej dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., zátěž L4/L5 dle nařízení vlády č. 506/2021 Sb., manipulace s břemeny dle ČSN EN 1005-2), tak i ostatní doporučené ergonomické metody (RULA, OWAS).

Samotné ovládání modulu a modelu člověka lze rovněž hodnotit pozitivně. Lidský model je možné ovládat pomocí inverzní kinematiky, kdy se při pohybu danou částí těla ostatní části přirozeně přizpůsobí. Tvorba dynamické simulace pomocí tzv. Task Simulation Builderu, tedy rozdělení pracovní činnosti na jednotlivé elementární úkony, a generování ergonomických protokolů, jsou rovněž jednoduché. Možnosti jejich generování vyobrazuje obr. 6.2. V neposlední řadě je výhodou také to, že balík Process Simulate je již v závodu využíván, což přináší benefity v podobě propojení modulu Human a ostatních modulů a s tím spojenou možnost zkoušet například spolupráci člověk – robot nebo bezpečnostní prvky typu optická závora ad.



Obr. 6.2: Ergonomické analýzy v modulu Process Simulate Human

Nevýhodou tohoto modulu může být jeho poměrně vysoká cena za licenci obnovovanou na roční bázi a s ní spjaté servisní poplatky. Jako nedostatek je možné také považovat vygenerované protokoly, jejich vzhled vypadá poměrně zastarale, není možné je žádným způsobem upravovat a individualizovat. Zmínit lze i občas ne příliš dobře fungující možnost automatického úchopu předmětů. Shrnutí hlavních výhod a nevýhod nástroje Process Simulate Human uvádí tab. 6.1.

Tab. 6.1: Shrnutí výhod a nevýhod softwaru Process Simulate Human

Výhody	**Nevýhody**
Rozsáhlé antropometrické databáze	Vysoká cena a poplatky
Široká škála ergonomických analýz	Vzhled protokolů ergonomických analýz
Věrný biomechanický model člověka	Nemožnost individualizace protokolů

6.1.2 DELMIA V6 Human

Podobně jako firma Siemens má společnost Dassault Systèmes také vlastní řešení v rámci PLM, jehož součástí je i software DELMIA V6. Pomocí tohoto programu je možné řešit obdobnou problematiku jako v případě Process Simulate, tzn. plánování výroby a příslušných procesů, robotiku a v neposlední řadě také ergonomii.

Samotný ergonomický modul DELMIA V6 Human je součástí platformy 3DExperience, která spojuje jak simulační software DELMIA, tak také CAD software CATIA od stejné společnosti. Ve verzi V6 je ergonomický modul rozdělen do jednotlivých dílčích rolí, jejichž hlavním cílem je specializovat se na různé oblasti ergonomie tak, aby si uživatel mohl vybrat, která role je pro danou průmyslovou aplikaci nejvíce vyhovující. Konkrétně se jedná o role Ergonomic Workplace Designer, Ergonomist, Ergonomics Specialist a Work Safety Engineer. Ukázka pracovního prostředí programu je uvedena na obr. 6.3 [36].

Obr. 6.3: Ukázka pracovního prostředí softwaru DELMIA V6 Human [36]

Mezi hlavní přínosy modulu DELMIA V6 Human patří:

- poměrně široká škála ergonomických analýz,
- dostatečně detailní biomechanický model člověka,
- rychlý import a tvorba modelů ve spojení s modulem CATIA.

Ergonomický modul od společnosti Dassault Systèmes je v průmyslové praxi poměrně dost rozšířen a svou funkcionalitou je obdobou řešení, které nabízí Siemens. Biomechanický model a jeho antropometrii lze uzpůsobit na základě dostupných databází, které ovšem nevychází z ČSN EN ISO 7250-1, avšak příslušná data je možné do parametrů modelu vložit ručně. Silnou stránkou, kterou může DELMIA V6 Human nabídnout, je škála ergonomických analýz. Za zmínku stojí například analýza dle metodiky RULA, analýza zvedání a pokládání (dle ČSN EN 1005-2), analýza tlačení a tažení (dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb.) a další biomechanické analýzy.

Ačkoliv je nabídka modulu v oblasti ergonomie nadprůměrná, práci v něm kladně hodnotit nelze. Zejména při porovnání s Process Simulate je ovládání celého prostředí komplikované, stejně jako ovládání samotného lidského modelu. DELMIA umožňuje rovněž tvorbu dynamické simulace, ta však vypadá poměrně nerealisticky a nepřirozeně. Samotné generování ergonomických analýz je nutné provádět skrze okna s nepřehledným obsahem a vizuální stránka výstupů z nich není vyhovující. Největším negativem je ovšem absence jednoduchého zhodnocení pracovní polohy dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., která je důležitým kritériem při volbě nejvhodnějšího řešení. V neposlední řadě je nevýhodou vysoká cena celého balíku, jakožto i nekompatibilita se softwarem od společnosti Siemens, který je v závodě v Brandýse nad Labem využíván. Shrnutí hlavních výhod a nevýhod nástroje DELMIA V6 Human uvádí tab. 6.2.

Tab. 6.2: Shrnutí výhod a nevýhod softwaru DELMIA V6 Human

Výhody	**Nevýhody**
Množství ergonomických analýz	Nepřehledné a komplikované ovládání
Propojení s CAD softwarem CATIA	Vizuální provedení modulu a analýz
Vyhovující model člověka	Vysoká cena

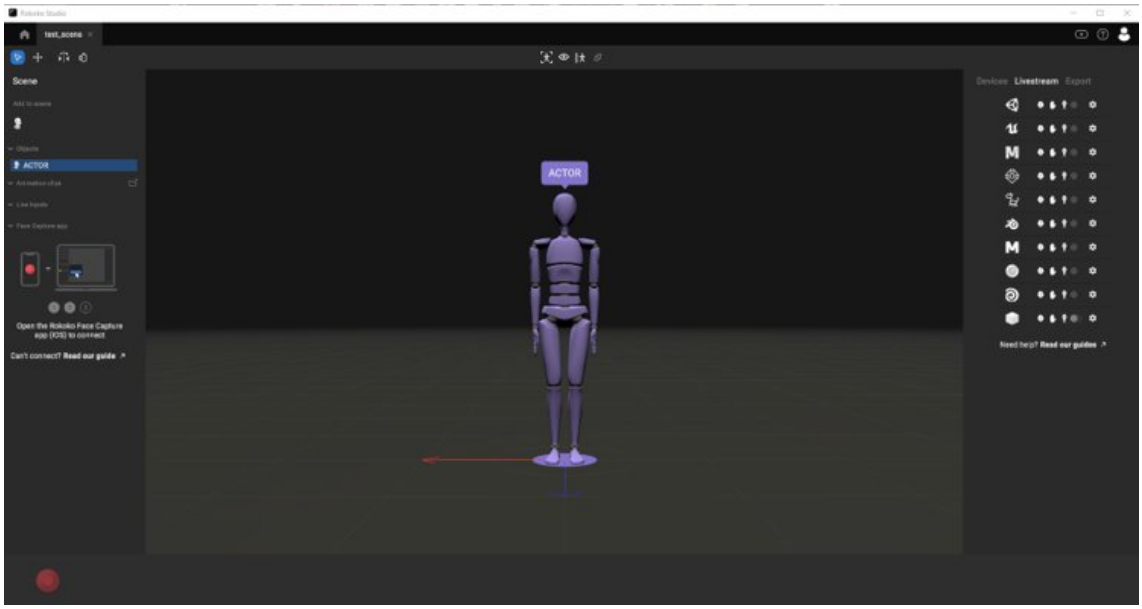
6.1.3 Motion Capture v prostředí Unity

Další možností, jak hodnotit ergonomii pracovišť, je využití obleku Motion Capture ve spolupráci s grafickým enginem Unity. Kinematický oblek Motion Capture umožňuje přenos pohybů v reálném čase do virtuálního prostředí enginu Unity, kde na základě zaznamenaných dat může dojít k vyhodnocení jednotlivých pracovních poloh, kterých bylo v rámci daného úkonu dosaženo. Takový pracovní úkon lze provádět jak na reálném pracovišti, tak i ve virtuálním prostředí pomocí VR brýlí.

Hlavními výhodami tohoto řešení jsou:

- objektivní vyhodnocení pracovní polohy na základě reálného záznamu pohybu,
- krátká doba potřebná na vytvoření a vyhodnocení simulace,
- relativně nízká cena v porovnání se softwarovými řešeními.

Ve společnosti Continental je Motion Capture oblek pro ergonomické analýzy k dispozici, konkrétně oblek Rokoko Smartsuit Pro II s rukavicemi Smartgloves. Pro záznam dat pohybu obleku slouží přidružený software Rokoko Studio, který umožňuje daná pohybová data z jednotlivých snímačů exportovat v textovém formátu jako vstup pro prostředí Unity. Příprava tohoto prostředí by tedy znamenala naprogramovat příslušné rozhraní pro import pohybových dat a dále další moduly pro vyhodnocení ergonomie ze zaznamenaného pohybu.



Obr. 6.4: Prostředí Rokoko Studio pro záznam Motion Capture dat

Velkou výhodou tohoto řešení je nesporně objektivita záznamu daného pohybu. Oproti simulaci, kterou je nutné vytvořit ručně, je proveden reálný záznam pohybu pracovníka, což může výrazně zpřesnit ergonomické analýzy. Pozitivem je rovněž i rychlost záznamu a vyhodnocení, které mohou probíhat takřka v reálném čase. V neposlední řadě je nutné uvážit i náklady, které jsou i přes poměrně vysokou cenu obleku řádově nižší než při koupi licence na výše uvedené ergonomické softwary.

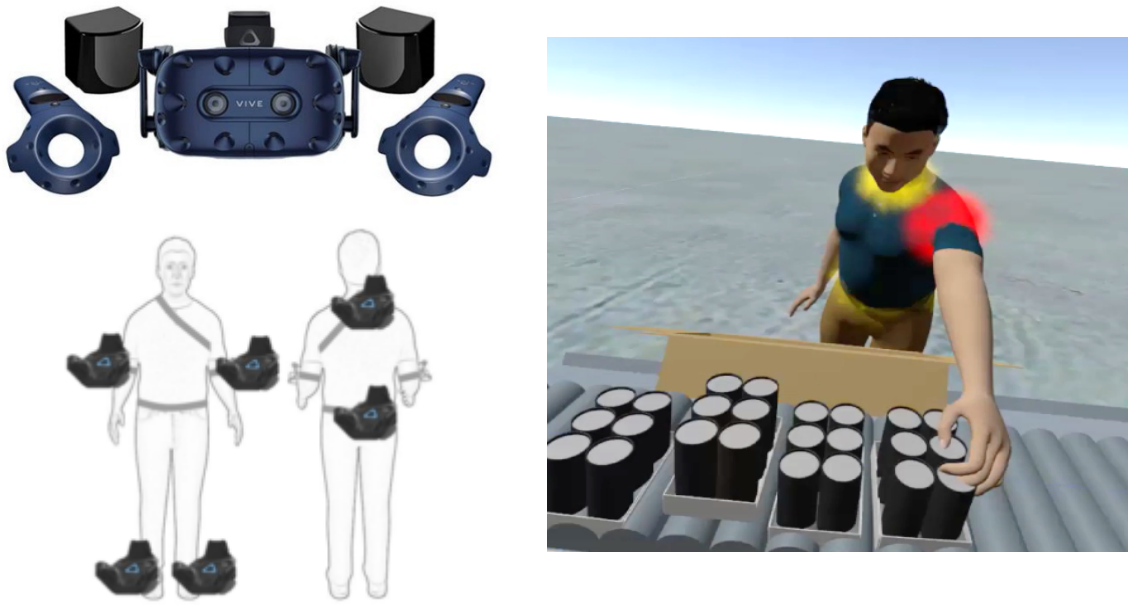
Mezi hlavní nevýhody lze ovšem započítat náročnost na vytvoření vhodného rozhraní v prostředí Unity, které by umožňovalo jak import dat, tak i tvorbu relevantních ergonomických výstupů. Zároveň v případě tohoto řešení není k dispozici kompletní biomechanický model člověka, což sice umožní vytvořit analýzy pracovních poloh dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., popřípadě dle metodiky RULA, ovšem není možné hodnotit zatížení bederní páteře L4/L5 či manipulaci s břemeny. Hlavní výhody a nevýhody tohoto navrženého řešení shrnuje tab. 6.3.

Tab. 6.3: Shrnutí výhod a nevýhod ergonomického obleku Motion Capture v Unity

Výhody	**Nevýhody**
Relativně nízká cena	Nutnost naprogramovat analýzy
Objektivní záznam pracovního úkonu	Absence biomechanického modelu
Rychlost záznamu a vyhodnocení	Nekompatibilita Unity s CAD softwary

6.1.4 HTC Vive Body Tracking v prostředí Process Simulate

Poslední navržená možnost spočívá ve využití virtuální reality a mapování pozice těla pomocí HTC trackerů v prostředí Process Simulate. Právě v nejnovější verzi Process Simulate 2301 je možné s licencemi Human a VR Analyze využít VR headset HTC Vive Pro, šestici HTC Vive Trackerů a dva HTC Vive Controllery pro záznam a vyhodnocení úkonu. Toto hardwarové vybavení je ve společnosti Continental rovněž k dispozici.



Obr. 6.5: HTC Vive Body Tracking a jeho ukázka ve VR v Process Simulate

Toto řešení má následující výhody:

- reálný záznam pohybu a okamžitá zpětná vazba přímo ve VR prostředí pracoviště,
- krátká doba potřebná k provedení simulace a vyhodnocení,
- široké spektrum ergonomických analýz.

Výhody využití těchto snímačů a VR brýlí jsou z velké míry shodné s výhodami Motion Capture obleku. V rámci analýzy ergonomie je možné zaznamenat reálný pohyb, přičemž následné vyhodnocení je časově nenáročné a také jednoduché. V prostředí virtuální reality lze ovládat lidský model Jack, který má modul Human k dispozici, z první osoby, s možností okamžitého vyhodnocení pracovní polohy dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. pomocí barevného zvýraznění těch částí těla, které jsou v podmíněně přijatelné či nepřijatelné poloze. Zároveň je daný pohyb možné nahrát a vyhodnotit i pomocí všech ostatních dostupných analýz, které modul Human nabízí.

V rámci nevýhod je možné zmínit dodatečné náklady na ročně obnovovanou licenci VR Analyze, popřípadě i zmíněný hardware. Zároveň je nutné zmínit, že místo rukavic pro detailní záznam pohybu zápěstí a prstů jsou použity kontroléry, pomocí nichž lze po stisknutí tlačítka s předměty manipulovat. Úchop předmětů je pak prováděn automaticky tak, že kopíruje geometrii daného předmětu. V důsledku toho je tedy pak nutné počítat se sníženou přesností vyhodnocení pracovní polohy zápěstí a také prstů. Jednotlivé výhody a nevýhody uvádí tab. 6.4.

Tab. 6.4: Shrnutí výhod a nevýhod HTC Vive Body Tracking v Process Simulate

Výhody	**Nevýhody**
Široké spektrum ergonomických analýz	Vysoká cena
Real-time vyhodnocení pracovní polohy	Nižší přesnost v oblasti zápěstí a prstů
Prohlídka pracoviště ve VR	Množství hardwarového příslušenství

6.1.5 Shrnutí porovnání a výběr nástroje

Jak bylo zmíněno výše, existuje několik vhodných nástrojů a příslušných řešení, která jsou vhodná pro zavedení virtuální ergonomie do stávajícího procesu ergonomie ve výrobním závodě Continental v Brandýse nad Labem. V tab. 6.5 je uveden výběr některých zvažovaných kritérií a stručné porovnání vybraných řešení.

Tab. 6.5: Zestručněný seznam porovnávaných kritérií navržených řešení

Parametr	**PS Human**	**Delmia V6 Human**	**MoCap v Unity**	**HTC Vive v PS**
Obtížnost ovládání	Jednoduché	Složitější	Složitější	Jednoduché
Biomechanický model člověka	Pokročilý	Zjednodušený	Chybí	Pokročilý
Možnosti ergonomických analýz	Rozsáhlé	Rozsáhlé	Omezené (nutno naprogramovat)	Rozsáhlé
Přesnost výstupů simulace	Vysoká	Nižší (nepřesný model člověka)	Vysoká	Nižší (v oblasti zápěstí)
Korelace s českou legislativou	Vysoká	Střední	Střední	Vysoká
Cena	Vysoká	Vysoká	Nízká	Vysoká
Návaznost na platformu	Siemens PLM	Delmia PLM	Není	Siemens PLM
Možnost použít VR	Ne	Ne	Ano	Ano

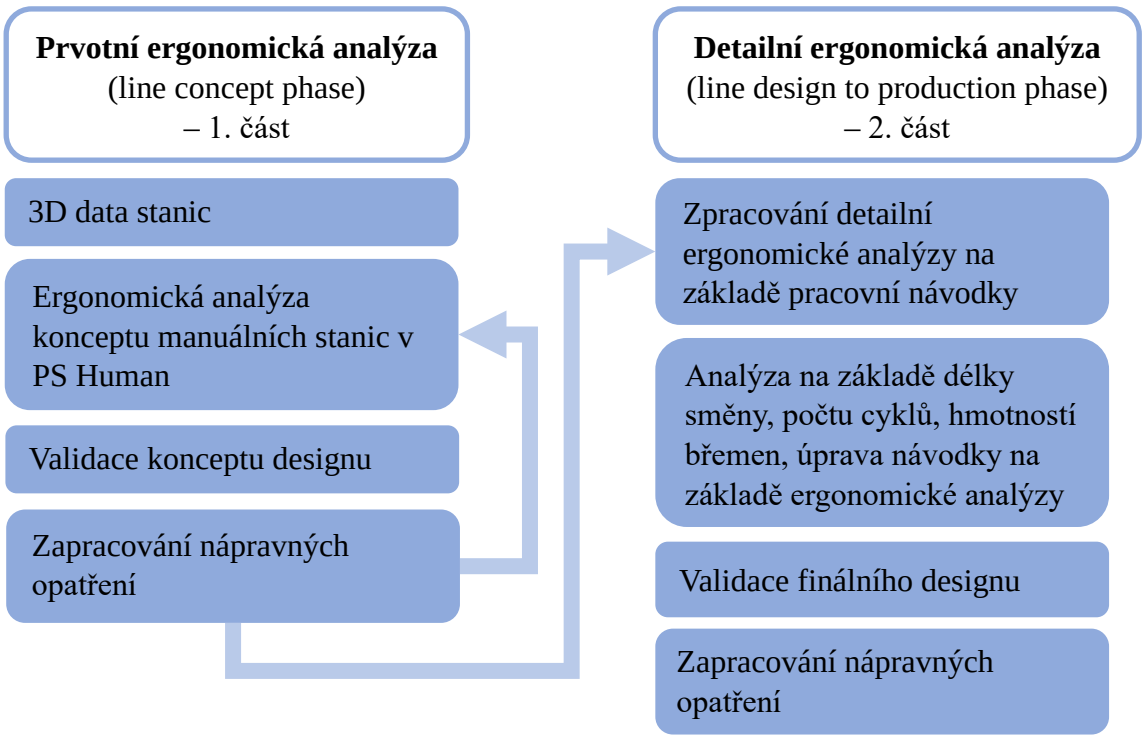
Na základě výše uvedených a dalších kritérií byla jako nejvhodnější řešení vybrána kombinace obou nástrojů od společnosti Siemens, tedy jak modulu Process Simulate Human, tak také HTC Vive Body Tracking v prostředí Process Simulate. I přes značné finanční náklady na tyto nástroje převažují výhody, které tuto cenu do jisté míry ospravedlňují. Zejména se jedná o možnost provádět přesné a detailní ergonomické simulace, využívat širokého spektra ergonomických analýz, možnost analyzovat manuální pracoviště dle požadavků kladených českou legislativou a také zkoušet ergonomii ve virtuální realitě. S virtuální realitou je spjata také možnost tvorby pracovních návodek, tréninku operátorů a validace cyklového času. V neposlední řadě bylo významným faktorem i to, že samotný Process Simulate je již ve společnosti Continental využíván pro simulace robotiky a automatických pracovišť.

6.2 Návrh metodiky zhodnocení ergonomie

Na základě porovnání, které je uvedeno výše, byla pro virtuální zhodnocení ergonomie v závodě v Continental v Brandýse nad Labem vybrána kombinace ergonomického softwaru Process Simulate Human a hardwarového řešení záznamu pohybu člověka pomocí příslušenství HTC Vive Body Tracking, které je rovněž do Process Simulate implementováno. Navržené řešení bude fungovat paralelně s programem BDS s tím, že v budoucnu tento program také nahradí. Dále tedy bude uvedena nově navržená metodika s příslušným postupem analýzy, která bude využívat zvolené nástroje.

6.2.1 Průběh a zařazení simulací ergonomie

Celý průběh a zařazení simulací ergonomie bude rozdělen do dvou částí, které dělí okamžik schválení mechanické konstrukce stanice. Schválení mechanické konstrukce je milníkem, při kterém dojde k odsouhlasení designu, dodavatel může začít pracovat na výrobě stanic a případné změny mechanické konstrukce stanic jsou již velmi omezeny. Schéma navrženého průběhu ukazuje obr. 6.6, přičemž proces schválení konstrukce je pomyslnou čarou mezi 1. a 2. částí průběhu simulací ergonomie.



Obr. 6.6: Schéma navrhovaného průběhu a zařazení simulací ergonomie

Zařazení simulací ergonomie před tento okamžik (viz. obr. 6.6, 1. část) tedy umožní ověřovat vhodnost stanic z pohledu pracovníků již ve stavu před schválením konstrukce. Takové zařazení přináší možnost měnit design stanic bez jakýchkoliv finančních vícenákladů a dalších omezení, přičemž samotná analýza je zamýšlena jako flexibilní a rychlá s možností opakování, jak je znázorněno na obrázku.

Po schválení konstrukce bude následovat další ergonomická analýza (viz. obr. 6.6, 2. část), jejímž úkolem bude najít případné ergonomické nedostatky, které mohly být přehlédnuty. Tyto nedostatky stále mohou být, i když v omezené míře, odstraněny. Ergonomické zhodnocení ve stavu po schválení konstrukce bude ve své podstatě zhodnocením reálného stavu po uvedení linky do provozu, což umožní dřívější reportování všech požadovaných výsledků v rámci korporátu. Následující kapitoly tedy budou popisovat obě tyto části a také návrh toku informací, který je pro vypracování simulací ergonomie nezbytný.

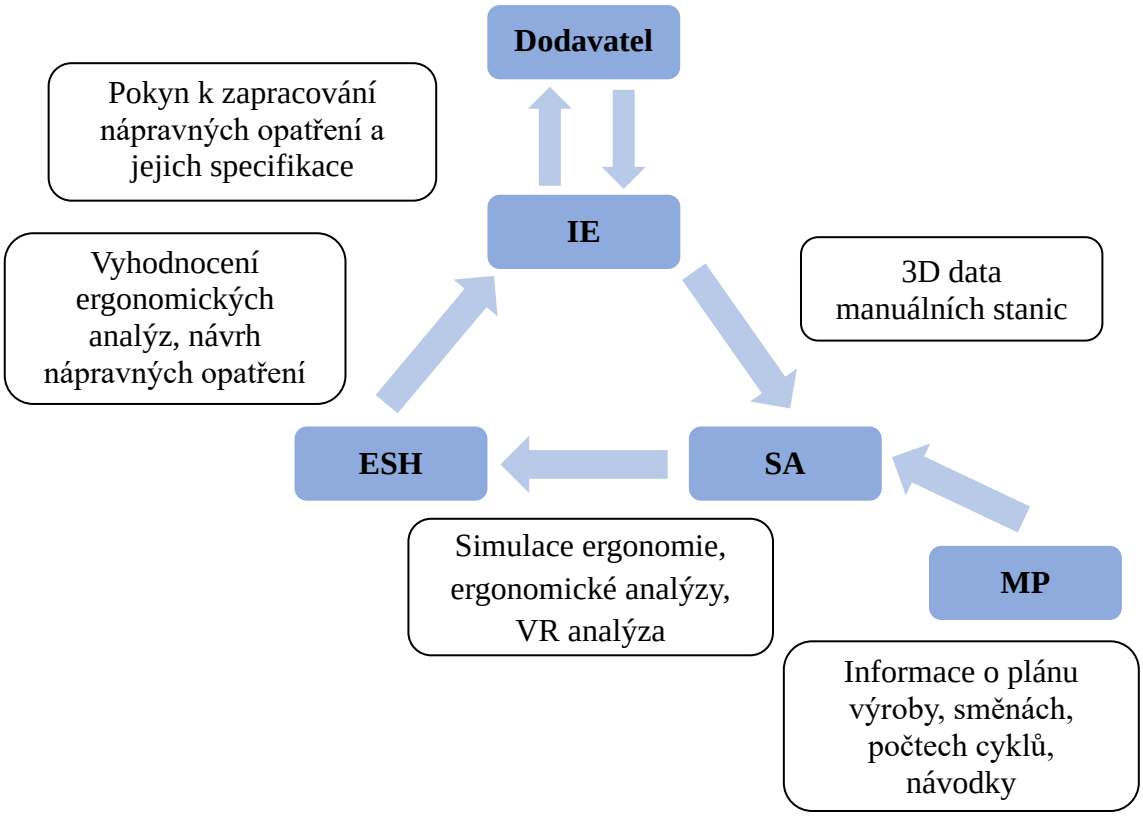
6.2.2 Návrh informačního a datového toku uvnitř závodu

Simulace ergonomie a jejich průběh, jehož návrh je uveden výše, není možné provádět bez aktuálních dat. Těmito daty mohou být jak 3D modely pracovišť, tak také příslušné pracovní návodky a hmotnosti manipulovaných břemen. V neposlední řadě je třeba nově vytvořená data a příslušné výstupy ze simulací dále zpracovat. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby všechna do simulací ergonomie zainteresovaná oddělení spolupracovala a podílela se na sdílení dat tak, aby byla ergonomická analýza provedena v co nejkratším čase a bylo možné na případné změny v konstrukci pracovní stanice či změny v rámci pracovní návodky pružně reagovat.

Navržený tok dat a informací ukazuje obr. 6.7. Tento obrázek určuje, jak budou data v rámci simulací vyměňována a sdílena, a to jak mezi odděleními, která poskytují nezbytné informace, tak i se samotným dodavatelem, jehož zodpovědnost spočívá v zapracování navržených opatření. Povinnosti jednotlivých členů řetězce budou následující:

- **Dodavatel –** povinností dodavatele linky bude dodání nejaktuálnějších 3D dat jednotlivých stanic v požadovaný okamžik, která jsou nezbytná pro provedení simulace. Po provedení analýzy bude dodavatel povinen zapracovat navržené úpravy v konstrukci stanice a tato data opět poskytnout.

- **IE –** povinností oddělení IE (oddělení engineeringu) bude komunikace s dodavatelem linky, od kterého bude vyžadovat aktuální 3D data tak, aby je ostatní oddělení mohla použít. Zároveň bude v jeho gesci také komunikace a dodávání podkladů směrem k dodavateli s cílem zapracování navržených nápravných opatření diskutovaných s ESH a SA.
- **SA –** povinností a odpovědností SA (Smart Automation) bude provedení simulací ergonomie a vytvoření příslušných protokolů a ergonomických analýz na základě získaných 3D dat a podkladů z MP. Dále se bude SA podílet společně s EPM a ESH na tvorbě nápravných opatření.
- **MP –** povinností MP (oddělení plánování výroby) bude dodání SA nezbytných informací pro vytvoření simulací ergonomie, tj. pracovní návodky, informace o plánované směnnosti, počtech cyklů provedených pracovníkem aj.
- **ESH –** povinností ESH bude na základě výstupů od SA zhodnotit stav ergonomie na vyhodnocovaných pracovištích a podílet se na tvorbě návrhu nápravných opatření společně s SA a EPM. V neposlední řadě bude také rozhodovat o schválení pracovišť z pohledu ergonomie.



Obr. 6.7: Návrh toku informačního a datového toku uvnitř závodu

6.2.3 Návrh metodiky analýzy ergonomie

Po získání 3D dat je možné začít analyzovat manuální pracovní stanice z pohledu ergonomie. Jak ukazuje navržený průběh na obr. 6.6, samotné ergonomické vyhodnocení bude probíhat ve dvou na sebe navazujících stupních. Dle popisu konceptu uvedeného výše bude tyto dva stupně dělit okamžik schválení mechanické konstrukce.

Pro správné vyhodnocení ergonomie je nutné korektně zvolit vstupní data. V tomto případě je nezbytná správná volba lidského modelu do simulace tak, aby co nejvíce postihla reálný stav ve výrobě. Po analýze vyplynulo, že na montážních linkách ve společnosti Continental jsou v převážné míře zastoupeny ženy. Z tohoto důvodu budou pro všechny simulace zvoleny jako vstup lidské modely ženy o percentilu 5 a 50 dle ČSN EN ISO 7250-1. Díky tomu bude možné pokrýt jak ženy průměrných tělesných proporcí (percentil 50), tak i ženy menšího vzrůstu (percentil 5), které by mohly mít problém zejména co se týče problematiky dosahů a dosahových vzdáleností.

V rámci prvotní ergonomické analýzy (viz. obr. 6.6) bude kladen velký důraz především na rychlost a pružnost provedení všech analýz. V této fázi totiž existují dva protichůdné požadavky, a to sice aby bylo podchyceno a odhaleno co nejvíce ergonomických problémů a nedostatků, zároveň je čas na provedení analýz omezený, protože schválení konstrukce by mělo zpravidla proběhnout v rozmezí dvou až tří týdnů po dodání 3D dat dodavatelem. Rychlost a pružné provedení těchto analýz tedy zajistí, že je bude možné v případě potřeby ve stanoveném čase provést vícekrát, popsat odhalené nedostatky s tím, že budou dodavatelem linky odstraněny a bude provedena opětovná analýza s upravenými 3D daty. Postup této analýzy bude následující:

- **Kontrola výšky pracovních rovin –** nejprve bude zkontrolována výška všech pracovních rovin. To bude obnášet jak kontrolu správné výšky boxů, vozíků ad., ale také správnou výšku pomyslných rovin montáže, tedy míst, ve kterých je nejvyšší četnost montážních činností. Dle požadavků pro dodavatele by výška pracovních rovin měla činit 95–102 cm.

- **Kontrola rozmístění ovladačů, sdělovačů a dosahu –** v rámci tohoto bodu proběhne kontrola, zda jsou všechny ovladače a sdělovače komfortně dosažitelné a dobře viditelné. Z pohledu jejich rozmístění je norma ČSN EN 894 spíše doporučujícího rázu, jejich pozice bude tedy vyhodnocena s pomocí VR a HTC Vive Body Tracking. Možnost zkoumat rozložení těchto prvků i dosahových vzdáleností z pozice první osoby přinese benefit v podobě lepšího přiblížení se budoucímu reálnému stavu na lince a práci operátora a umožní odhalit nedostatky, které by v pouhé simulaci viditelné nebyly.
- **Analýza statických pracovních poloh –** prvotní ergonomická analýza se bude také zaměřovat na analýzu vybraných kritických statických poloh dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Těmi mohou být polohy montážní, odebírací či manipulační. Vybrané statické polohy pomohou najít a vyhodnotit nejhorší možné varianty, které z tohoto hlediska mohou nastat. Zároveň je jejich provedení méně časově náročné v porovnání s kompletní simulací a umožní rychlou opětovnou analýzu provedených změn a kontrolu zavedených opatření.

Po prvotní ergonomické analýze bude následovat detailní ergonomická analýza. Ta již bude vypracována na základě modelu po schválení mechanické konstrukce, který již bude obsahovat všechna nápravná opatření. Hlavním úkolem v rámci této analýzy bude vytvoření kompletní dynamické simulace celého pracovního úkonu na montážním pracovišti tak, aby se co nejvíce přiblížil reálnému stavu při výrobě a dokázal predikovat povinně dokládané výsledky měření při zavádění linky do provozu. Simulace tedy bude plně korespondovat s pracovní návodkou, která bude poté pro dané pracoviště uvolněna. V rámci této analýzy budou provedeny tyto činnosti:

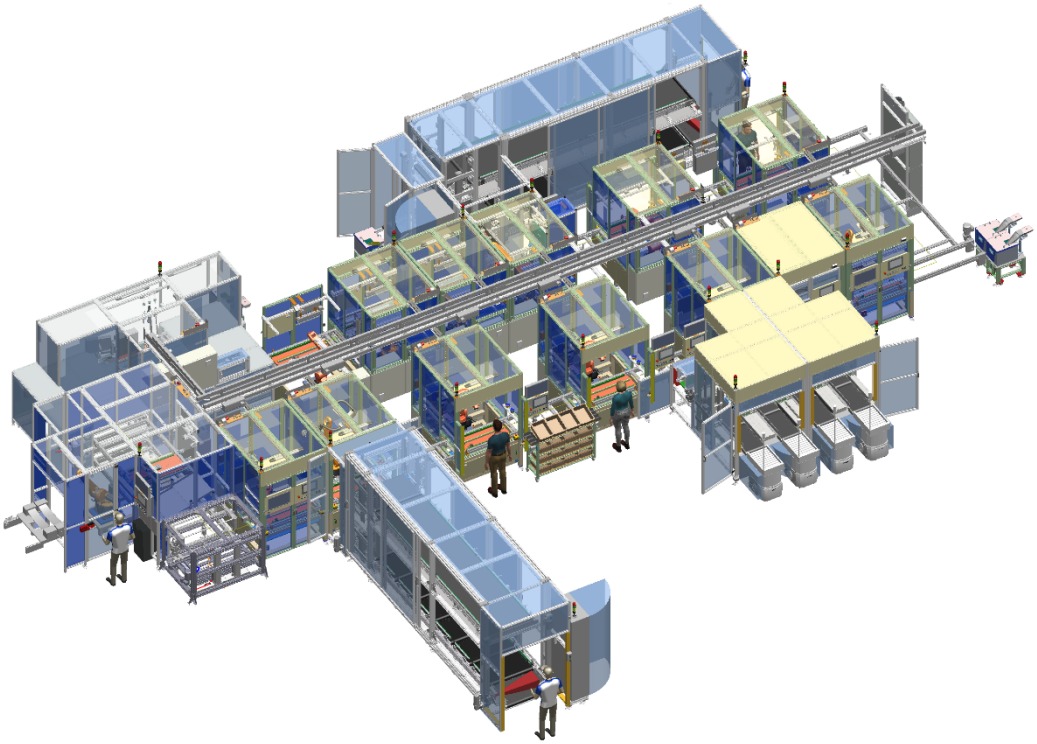
- **Analýza pracovních poloh –** bude provedena kompletní analýza pracovních poloh na pracovišti a jejich porovnání se směnovými limity, které jsou závazné v rámci nařízení vlády č. 361/2007 Sb.
- **Analýza energetického výdeje –** následující analýzou bude výpočet energetického výdeje pracovníka tak, aby nedošlo k překročení minutového a směnového limitu daného nařízením vlády č. 361/2007 Sb.
- **Analýza zátěže zad L4/L5 –** poslední sledovanou položkou bude zátěž zad v oblasti L4/L5, kdy by nemělo v rámci celého pracovního cyklu dle nařízení vlády č. 506/2021 Sb. dojít k překročení limitu 3400 N.

7 Aplikace navržené metodiky na výrobní linku

V této kapitole bude popsána aplikace metodiky, jež byla navržena a vysvětlena v předchozí kapitole na reálnou výrobní linku, a která se nachází ve stavu před schválením mechanické konstrukce. Bude tedy obsahovat jak popis vybrané výrobní linky a jejích manuálních pracovišť, tak také samotné ergonomické analýzy a případná nápravná opatření odstraňující odhalené nedostatky.

7.1 Popis výrobní linky

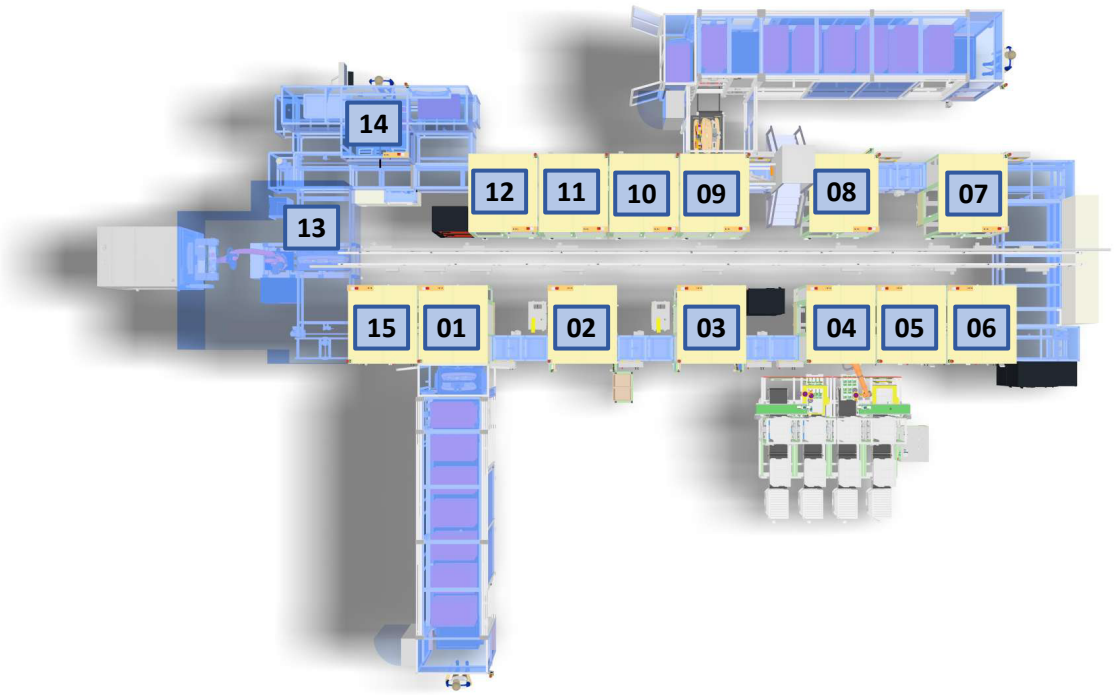
Zvolená výrobní linka je linkou finální montáže, na které je dokončována sdružená jednotka středového multimediálního displeje a displeje před řidičem. Účelem této linky je tedy provést v rámci několika kroků montáž samotného displeje, PCB desek a flexi kabelů. V rámci samotného výrobního procesu jsou pro zajištění kvality jednotlivé kroky průběžně kontrolovány. Vizualizaci výrobní linky ukazuje obr. 7.1.



Obr. 7.1: Vizualizace vyhodnocované linky finální montáže

Vyhodnocovaná linka sestává z patnácti jednotlivých stanic, které dohromady obsahují třináct robotů. Roboty jsou v tomto případě použity k operacím pick and place, kontrole a šroubování. Pohyb výrobku uvnitř linky je uskutečněn pomocí paletek, na nichž je displej usazen. Paletky se mezi stanicemi posouvají na kolejovém vedení.

Z hlediska vyhodnocení ergonomie jsou důležité zejména stanice 02, 03 a 07, viz. obr. 7.2. Jedná se o manuální stanice, přičemž každá z nich je obsluhována jedním operátorem. Úkolem všech tří operátorů je montáž a zapojení flexi kabelů do displejové jednotky a PCB desek v různých stavech rozpracovanosti výrobku.



Obr. 7.2: Layout vyhodnocované linky finální montáže

Do stanice 02 přijede paletka s výrobkem ve takové fázi, kdy jednotka obsahuje pouze displej zasazený do základny, tzv. support plate. Úkolem operátora na této stanici je zapojit dvojici flexi kabelů do konektorů v displeji, které budou v dalších krocích propojeny s PCB deskou. Na stanici 03 operátor provede stejný postup, kdy zapojí opět dvojici kabelů do druhé dvojice předpřipravených konektorů. Na následujících stanicích pak dojde k umístění dvojice PCB desek na pozice robotem a jejich robotickému přišroubování k základně. Na stanici 07 pak operátor připravené flexi kabely zapojí do konektorů na PCB deskách a samotné desky propojí propojovacím flexi kabelem.

Z ergonomického hlediska je vhodné tyto stanice ověřovat z několika důvodů. Samotná montáž flexi kabelů do konektorů je poměrně náročná vzhledem k vyžadované přesnosti, se kterou se operátor musí do konektoru trefit. Při zapojení tedy existuje i riziko, že operátor bude opakovaně zaujímat ergonomicky nevhodné pracovní polohy. V neposlední řadě operátor v rámci směny a daného cyklového času 35 s vykoná značné množství pohybů, a proto je nezbytné případné ergonomické nedostatky odstranit.

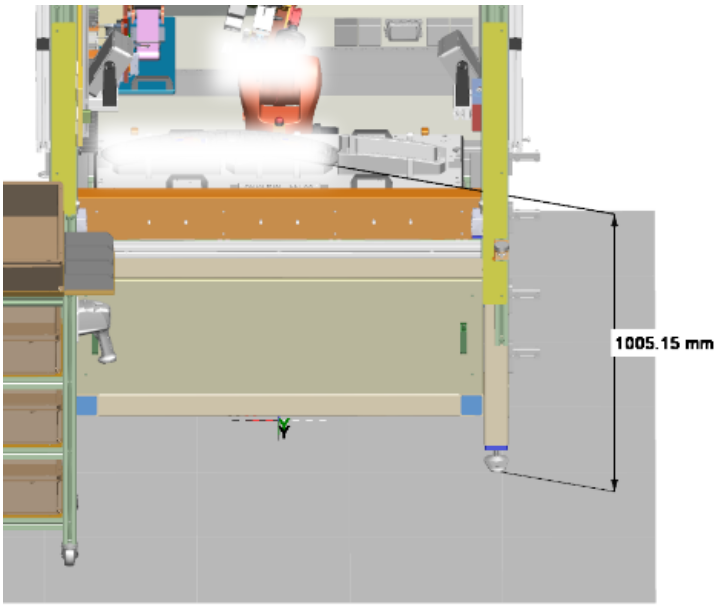
7.2 Prvotní ergonomická analýza

Dle navržené metodiky bude provedena prvotní ergonomická analýza, kterou je třeba provést před schválením mechanické konstrukce. Jedním z bodů schválení konstrukce je tedy posouzení designu stanic z hlediska ergonomie. V této souvislosti bude tedy dle metodiky a jejího postupu popsaného dříve zhodnocena výška pracovních rovin, budou ověřeny dosahové vzdálenosti, viditelnost, rozmístění ovladačů a sdělovačů a budou analyzovány vybrané statické pracovní polohy.

7.2.1 Kontrola výšky pracovních rovin

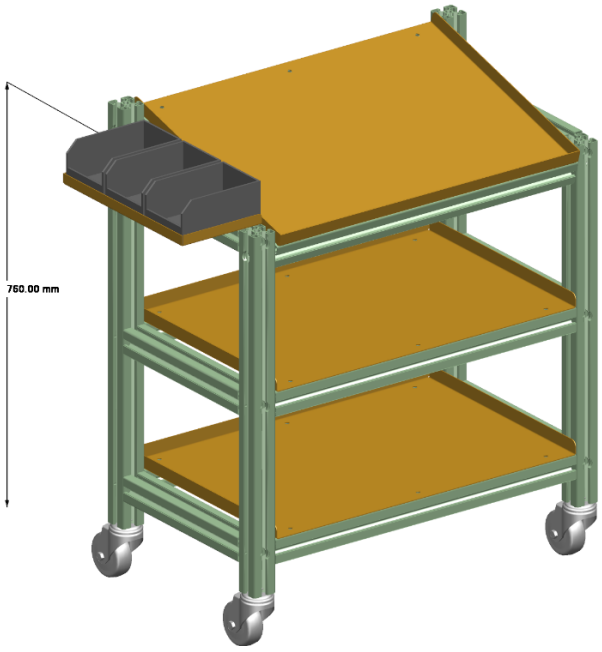
První a zcela základní analýzou je výška pracovních rovin. Správně zvolená výška, ve které pracovník provádí pracovní úkony, je klíčová pro jejich bezchybné a pohodlné vykonání. I přes dodání požadavků dodavateli linky, které udávají, jakou výšku mají pracovní roviny mít, nejsou často tyto požadavky splněny. Na základě zastoupení pracovníků, co se týče výšky a na základě volby percentilu modelů do simulace byla určena ideální výška pracovních rovin pro manuální pracoviště mezi 95 a 102 cm.

Z definice je pracovní rovinou taková rovina, v níž je vykonávána většina pracovních úkonů. V případě zvolených manuálních pracovišť je tedy hlavní pracovní rovinou pomyslná rovina, která je umístěna horizontálně ve výšce konektorů, do nichž jsou flexi kabely zapojovány. V tomto případě byla rovina s výškou cca 1005 mm (viz obr. 7.3) vyhodnocena jako vyhovující.



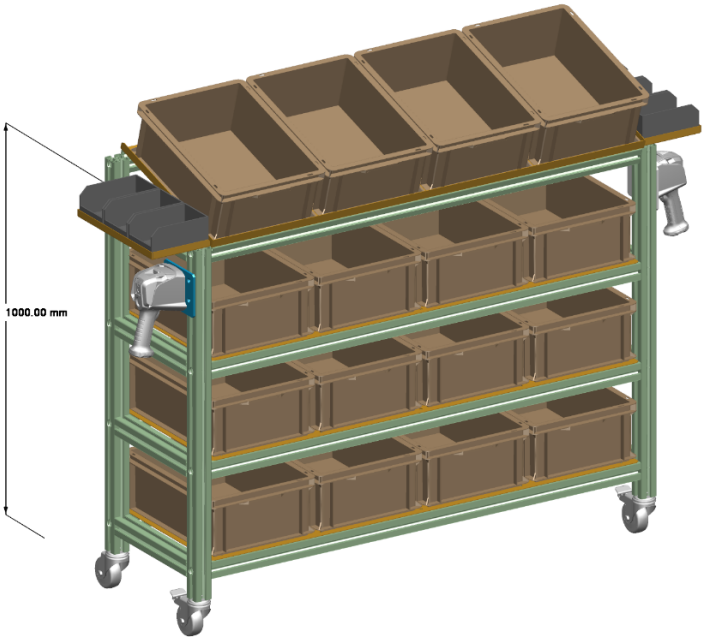
Obr. 7.3: Výška pracovní roviny při zapojování flexi kabelů

Další pracovní roviny tvoří boxy na vozíku, z nichž pracovníci odebírají materiál. Jak ukazuje obr. 7.4, výška boxů, která činí 760 mm, byla z pohledu pohodlí pracovníků zvolena zcela špatně a je tedy třeba danou výšku změnit.



Obr. 7.4: Pracovní rovina původního vozíku s materiálem

Na základě zjištěného nedostatku v podobě příliš malé výšky pracovní roviny vozíku byla navržena a změněna konstrukce vozíku tak, aby výška odpovídala výše zmíněnému rozmezí. Výška pracovní roviny nového vozíku, jak je ukázáno na obr. 7.5, je nyní 1000 mm.



Obr. 7.5: Pracovní rovina nově navrženého vozíku s materiálem

7.2.2 Kontrola rozmístění ovladačů, sdělovačů a dosahu

V další fázi je třeba zkontrolovat, jestli je rozmístění všech ovládacích a sdělovacích prvků z pohledu pracovníka vhodně zvoleno a zda jsou dosahové vzdálenosti na pracovišti komfortní. To bylo zkontrolováno ve virtuální realitě pomocí systému Vive Body Tracking z pohledu první osoby a také byla provedena přibližná kontrola rozmístění dle normy ČSN EN 894-4. Na vybraných pracovištích se konkrétně jedná o obrazovku uvnitř stanice a CAPTRON tlačítko určené k potvrzení ukončení montážní operace. Zmíněné prvky jsou na pracovišti v ideálních ovládacích a sdělovacích zónách a splňují požadavky na vertikální i horizontální zorné pole dané výše zmíněnou normou. Z důvodu, že jsou pracovní stanice koncipovány pro stání, byly dosahové zóny vyhodnoceny jako dostatečné a pracovník v případě potřeby může zaujmout takovou polohu, aby na všechny nutné prvky pohodlně dosáhnul.

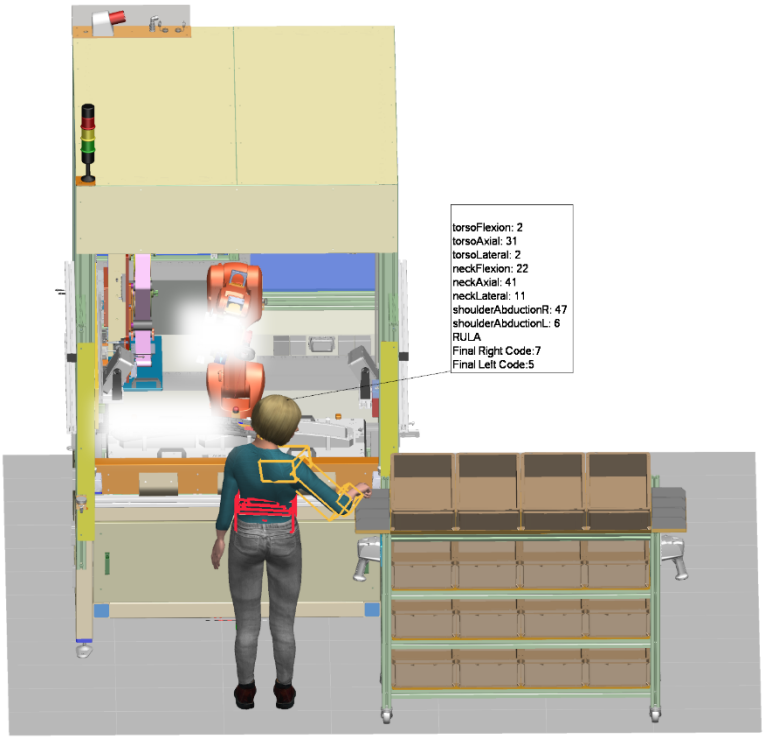
7.2.3 Analýza statických pracovních poloh

Posledním bodem navržené metodiky je hodnocení statických pracovních poloh. Pro manuální stanice 02 a 03 byly vybrány 2 rizikové polohy a pro stanici 07 pak 3 rizikové polohy, které mohou vznikat v rámci odebírání flexi kabelů ze zásobníku či při jejich zapojování do konektorů. Celkem tedy v rámci tohoto ergonomického experimentu vznikne 14 ergonomických analýz, 7 pro percentil 5 a 7 pro percentil 50.

Každá pracovní poloha pak bude vyhodnocena z několika hledisek. V první řadě bude aplikováno nařízení vlády č. 361/2007 Sb. posuzující polohu hlavy a krku, horních končetin a trupu. Navíc bude vyhodnocena i poloha zápěstí, neboť i přes to, že v nařízení není specifikována, je poloha zápěstí při ergonomické analýze ve společnosti Continental hodnocena. Dále pak dojde k vyhodnocení pracovní polohy dle metodiky RULA, kdy bude jednotlivě posouzena levá a pravá strana. Jako poslední bude v každé pracovní poloze vyhodnocena zátěž bederní páteře L4/L5 [29].

Poloha 1 na stanici 02 – Pracovník percentil 5

Na obr. 7.6 je zhodnocen pracovník stanice 02 ve vybrané poloze 1. V rámci této polohy má pracovník za úkol odebrat z krabičky na vozíku flexi kabel, který následně připraví pro zapojení. V rámci stanice 02 pak pracovník během jednoho cyklu tyto kabely zapojí dva, tudíž této pracovní polohy dosáhne dvakrát během cyklu.



Obr. 7.6: Poloha 1 na stanici 02 – Pracovník percentil 5

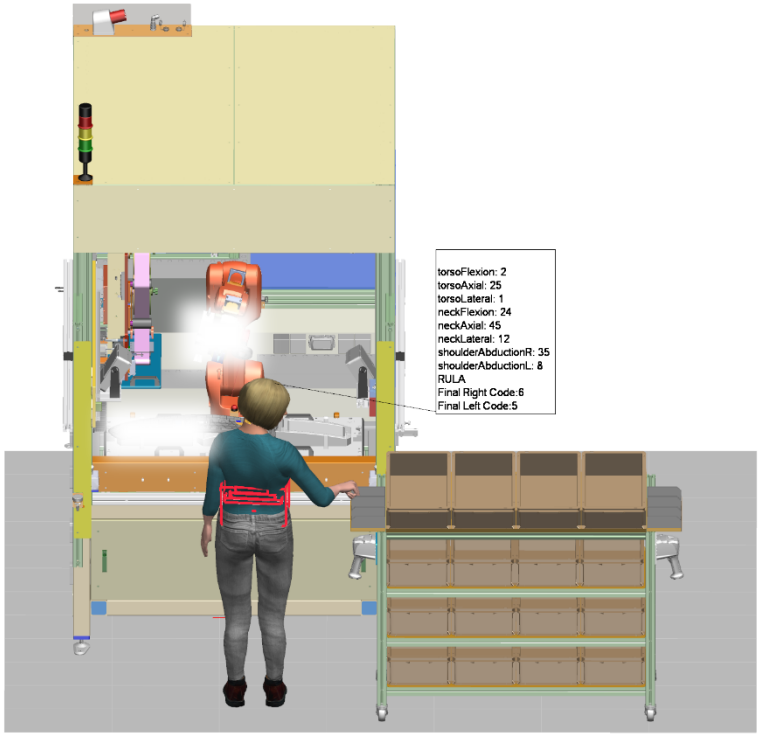
Jak je patrné ze záznamu polohy ze simulace a z tab. 7.1, rotaci hlavy a krku a také trupu lze hodnotit jako nepřijatelnou. Obou poloh je dosahováno více než 2/min. S tímto hodnocením také koresponduje bodové skóre RULA, které je zejména pro pravou stranu zcela nepřijatelné a je na jeho základě nutné provést změny. Zátěž zad je vyhovující.

Tab. 7.1: Poloha 1 na stanici 02 – Pracovník percentil 5

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	2°	Flexe	12°	25°
Lateroflexe	2°	Abdukce	8°	47°
Rotace	31°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Palmární flexe	0°	14°
Flexe	22°	Ulnární dukce	5°	8°
Lateroflexe	11°	**RULA**	5	7
Rotace	41°	**L4/L5**	316 N	

Poloha 1 na stanici 02 – Pracovník percentil 50

Ve stejné poloze při odebírání flexi kabelu z boxu na pravé straně je analyzován i pracovník odpovídající percentilu 50, tedy pracovník průměrného vzrůstu.



Obr. 7.7: Poloha 1 na stanici 02 – Pracovník percentil 50

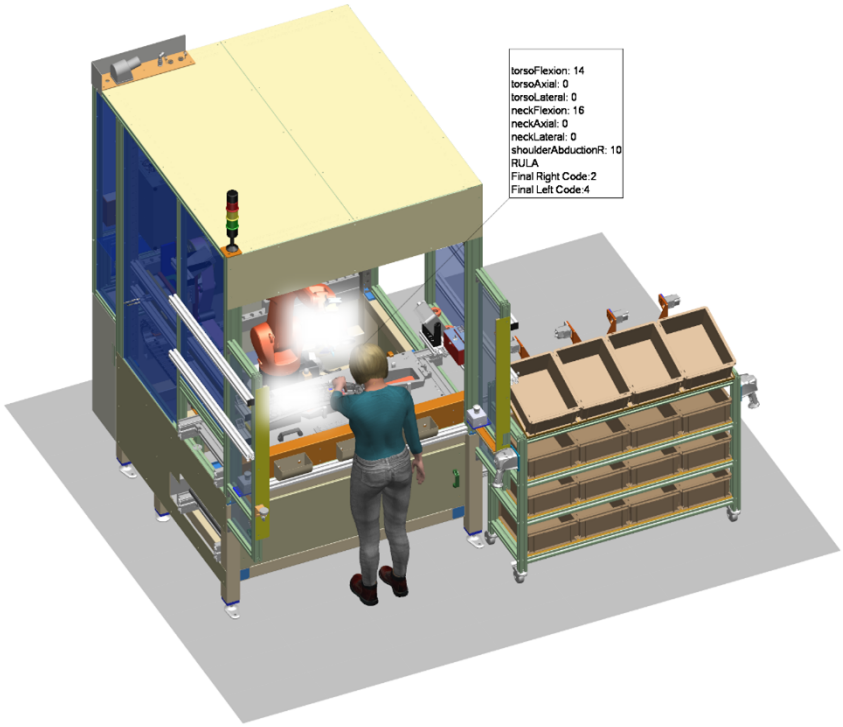
V rámci analýzy průměrného pracovníka s percentilem 50 je problém v této poloze stejný, zejména je nevhodná rotace hlavy a krku a také trupu vznikající kvůli potřebě nabírat flexi kabely z vozíku umístěného na pravé straně. Analýza RULA rovněž na základě skóre poukazuje na nevhodnost pracovní polohy, viz. tab. 7.2.

Tab. 7.2: Poloha 1 na stanici 02 – Pracovník percentil 50

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	2°	Flexe	8°	15°
Lateroflexe	1°	Abdukce	6°	35°
Rotace	25°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Palmární flexe	0°	19°
Flexe	24°	Ulnární dukce	10°	12°
Lateroflexe	12°	**RULA**	5	6
Rotace	45°	**L4/L5**	526 N	

Poloha 2 na stanici 02 – Pracovník percentil 5

Jako další poloha byla vybrána pozice pracovníka při zapojení flexi kabelu do konektoru, poloha je na obr. 7.8. Během pracovního cyklu pracovník tyto kabely zapojí dva, tudíž tuto polohu rovněž zaujme dvakrát za 35 s. Samotné konektory jsou umístěny velmi blízko sobě a poloha pracovníka v při zapojování obou kabelů téměř totožná, pro zjednodušení byla tedy analyzována pouze poloha při zapojování prvního kabelu.



Obr. 7.8: Poloha 2 na stanici 02 – Pracovník percentil 5

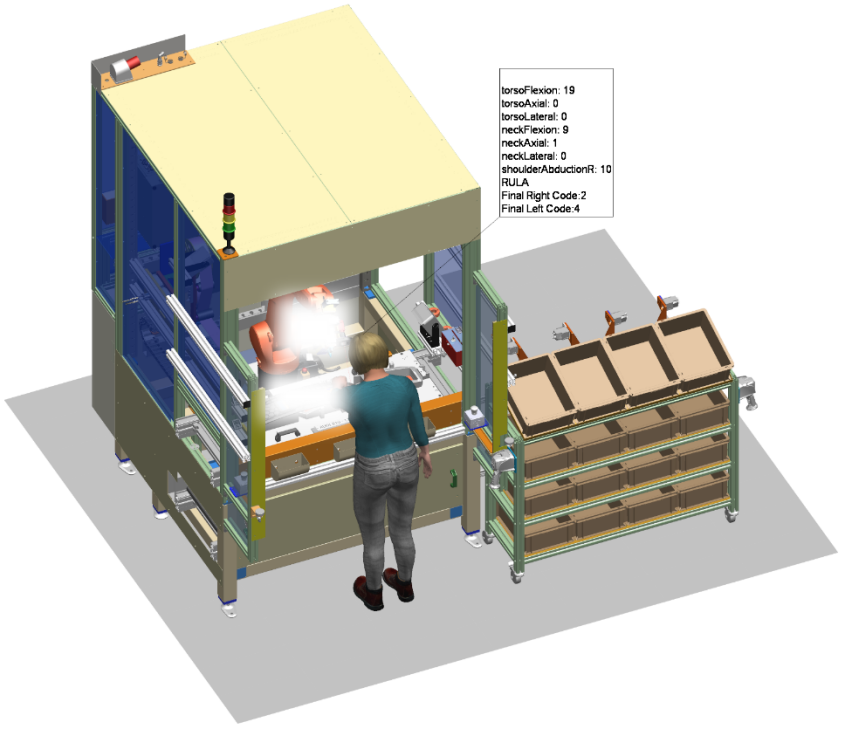
Jak ukazuje tab. 7.3, i přes vyšší náročnost při zapojování flexi kabelu je daná pracovní poloha převážně přijatelná. Flexe levé horní končetiny a pohyby zápěstí jsou při frekvenci více než 2/min hodnoceny jako podmíněně přijatelné, a to zejména díky větší vzdálenosti konektoru od pracovníka a také specifické poloze levého zápěstí při samotném zapojování. Taktéž bodové skóre dle RULA je vyhovující, i když stupeň 4 pro levou polovinu těla upozorňuje na mírně zvýšené riziko této polohy.

Tab. 7.3: Poloha 2 na stanici 02 – Pracovník percentil 5

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	14°	Flexe	57°	2°
Lateroflexe	0°	Abdukce	16°	10°
Rotace	0°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Palmární flexe	23°	0°
Flexe	16°	Ulnární dukce	14°	6°
Lateroflexe	0°	**RULA**	4	2
Rotace	0°	**L4/L5**	633 N	

Poloha 2 na stanici 02 – Pracovník percentil 50

Opět, jak je vyobrazeno na obr. 7.9, je analyzována pozice při zapojení kabelu do konektoru. V rámci této pozice byl použit model pracovníka o percentilu 50.



Obr. 7.9: Poloha 2 na stanici 02 – Pracovník percentil 50

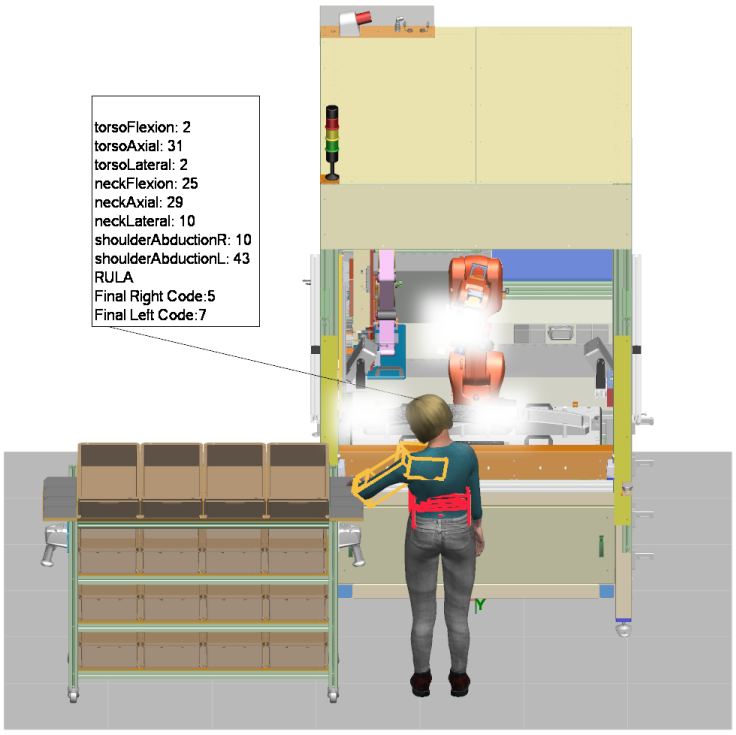
V rámci průměrného pracovníka percentilu 50 lze i dle tab. 7.4 vidět, že pracovní poloha je v rámci zvoleného hodnocení převážně přijatelná. Vyšší tělesná výška pracovníka v tomto případě kompenzuje fakt, že samotné konektory se nachází ve větší vzdálenosti od těla pracovníka. Zároveň však vzniká mírně vyšší zatížení zad L4/L5 v rámci větší flexe trupu.

Tab. 7.4: Poloha 2 na stanici 02 – Pracovník percentil 50

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	19°	Flexe	55°	1°
Lateroflexe	0°	Abdukce	11°	10°
Rotace	0°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Palmární flexe	17°	0°
Flexe	9°	Ulnární dukce	7°	9°
Lateroflexe	0°	**RULA**	4	2
Rotace	1°	**L4/L5**	937 N	

Poloha 1 na stanici 03 – pracovník percentil 5

Pracovní stanice 03 je shodná se stanicí 02 s tím rozdílem, že je zapojována druhá dvojice flexi kabelů a odebírací pozice těchto kabelů je na levé straně. Vybrané statické pozice jsou tedy shodné, pouze odběr operátorem probíhá z druhé strany. Obr. 7.10 ukazuje odebírání flexi kabelu z krabičky operátorem percentilu 5.



Obr. 7.10: Poloha 1 na stanici 03 – Pracovník percentil 5

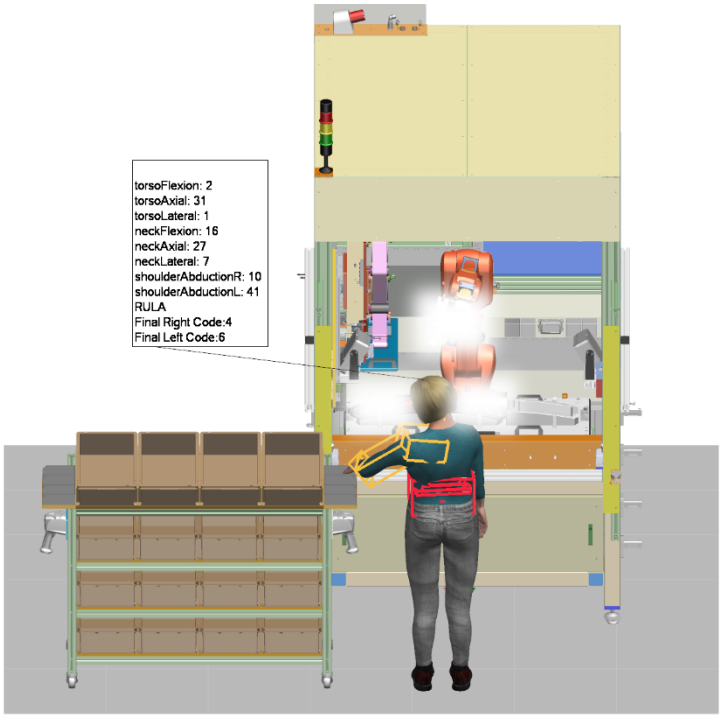
Jak je patrné z obrázku výše a tab. 7.5, problémy, které byly přítomny na stanici 02 v odebírací pozici, se rovněž týkají i odebírací pozice na stanici 03. V tomto případě je však v nevhodné pozici levá strana těla. Nevhodná je zejména rotace hlavy, krku a také trupu. Pozice zmíněných částí byly z důvodu překročení úhlového limitu v rámci dané minutové pracovní frekvence vyhodnoceny jako nepřijatelné.

Tab. 7.5: Poloha 1 na stanici 03 – Pracovník percentil 5

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	2°	Flexe	44°	1°
Lateroflexe	2°	Abdukce	43°	10°
Rotace	31°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Palmární flexe	22°	0°
Flexe	25°	Ulnární dukce	12°	0°
Lateroflexe	10°	**RULA**	7	5
Rotace	29°	**L4/L5**	450 N	

Poloha 1 na stanici 03 – pracovník percentil 50

Ve stejné statické poloze při odebírání flexi kabelu je hodnocen i pracovník o percentilu 50.



Obr. 7.11: Poloha 1 na stanici 03 – Pracovník percentil 50

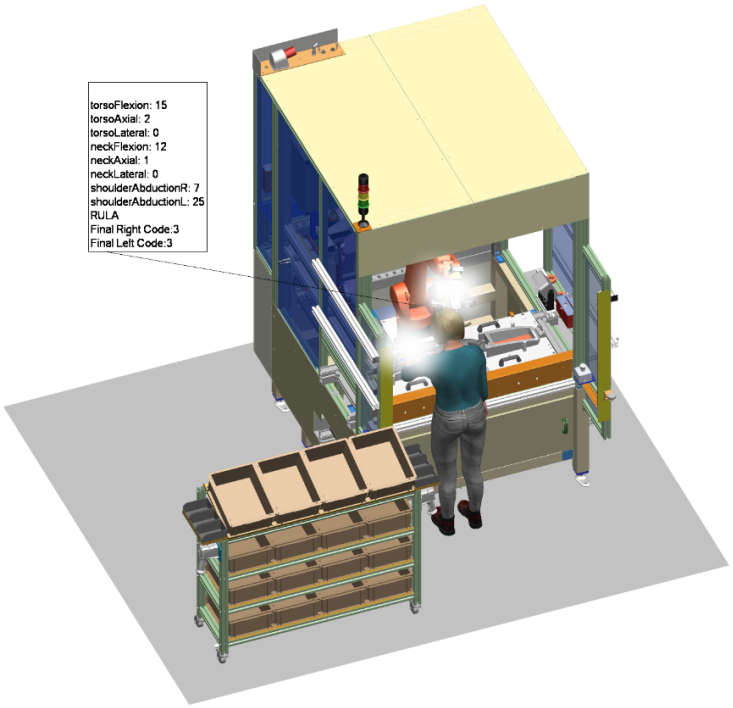
V rámci ergonomické analýzy polohy 1 pracovníka o percentilu 50 je dle tab. 7.6 vidět, že problém s rotací trupu, hlavy a krku je stejný a dané polohy jsou vyhodnoceny jako nevhodné. Bodové skóre dle metodiky RULA sice u vzrůstem vyššího pracovníka nedosahuje nejvyššího bodového ohodnocení, avšak skóre 6 pro levou stranu jasně ukazuje, že je vhodné tuto polohu co nejdříve eliminovat.

Tab. 7.6: Poloha 1 na stanici 03 – Pracovník percentil 50

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	2°	Flexe	48°	1°
Lateroflexe	1°	Abdukce	41°	10°
Rotace	31°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Palmární flexe	16°	0°
Flexe	16°	Ulnární dukce	14°	1°
Lateroflexe	7°	**RULA**	6	4
Rotace	27°	**L4/L5**	575 N	

Poloha 2 na stanici 03 – pracovník percentil 5

Jako další kritická poloha byla na stanici 03 vybrána poloha při zapojování flexi kabelů (viz. obr. 7.12). Zde operátor zapojuje dvojici kabelů, které jsou v těsné blízkosti. Z tohoto důvodu bude vyhodnocena pouze jedna poloha zastupující obě zapojení.



Obr. 7.12: Poloha 2 na stanici 03 – Pracovník percentil 5

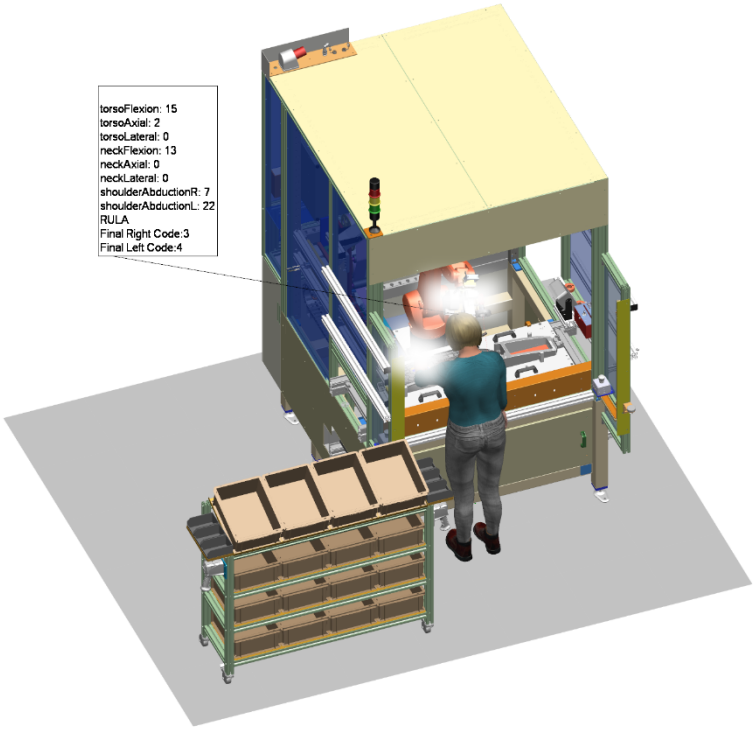
V rámci zvoleného pracovníka menšího vzrůstu o percentilu 5 lze v tab. 7.7 vidět, že tato pracovní pozice při zapojení flexi kabelů do konektorů není v převážné míře problematická. Z důvodu větší vzdálenosti k displeji je jako podmíněně přijatelná vyhodnocena pouze flexe levé horní končetiny. Skóre 3 metodikou RULA je při daných okolnostech přijatelné.

Tab. 7.7: Poloha 2 na stanici 03 – Pracovník percentil 5

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	15°	Flexe	54°	8°
Lateroflexe	1°	Abdukce	25°	7°
Rotace	2°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Dorzální flexe	4°	4°
Flexe	12°	Ulnární dukce	4°	8°
Lateroflexe	0°	**RULA**	3	3
Rotace	1°	**L4/L5**	640 N	

Poloha 2 na stanici 03 – pracovník percentil 50

Stejným způsobem byla vyhodnocena i statická pozice při zapojování flexi kabelu pracovníka s rozměrovým percentilem 50, jak ukazuje obr. 7.13.



Obr. 7.13: Poloha 2 na stanici 03 – Pracovník percentil 50

Obdobně, jako u pracovníka percentilu 5, je poloha při zapojení kabelů v případě pracovníka percentilu 50 v převážné míře vyhovující (viz. tab. 7.8). Podmíněně přijatelná poloha v rámci levé horní končetiny a levého zápěstí vzniká v důsledku obtížnějšího zapojení do konektorů. Zátěž L4/L5 je u pracovníka vyššího vzrůstu mírně vyšší (tedy 860 N), avšak stále ve zcela přijatelné úrovni.

Tab. 7.8: Poloha 2 na stanici 03 – Pracovník percentil 50

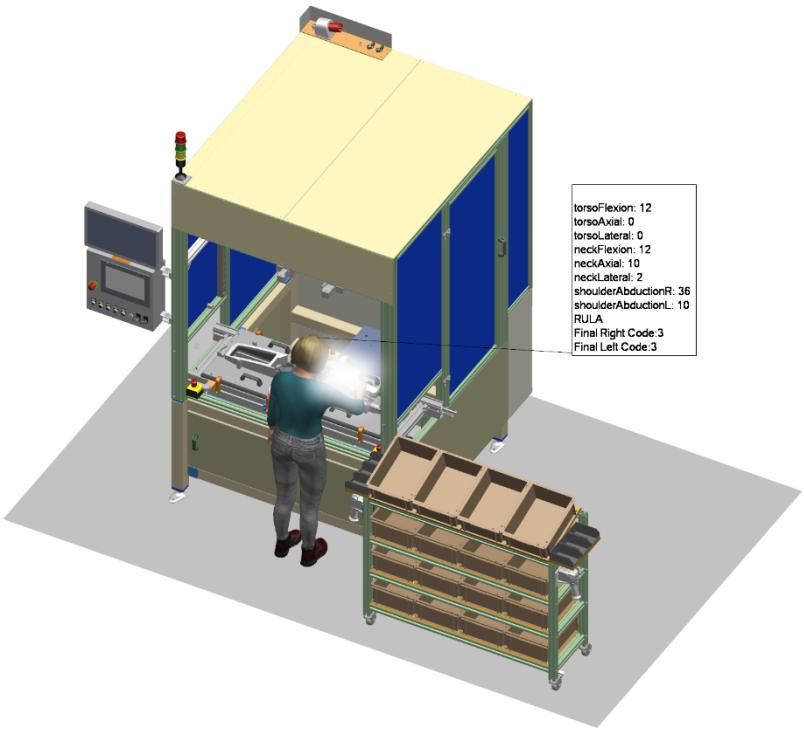
Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	15°	Flexe	57°	8°
Lateroflexe	0°	Abdukce	22°	7°
Rotace	2°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Dorzální flexe	18°	9°
Flexe	13°	Ulnární dukce	19°	7°
Lateroflexe	0°	**RULA**	4	3
Rotace	1°	**L4/L5**	860 N	

Poloha 1 na stanici 07 – percentil 5 a 50

Na stanici 07 byla opět jako kritická poloha vybrána zejména poloha při odebírání ze zásobníku. Jelikož má pracovník stolek s boxy umístěn zcela stejným způsobem jako na stanici 02 po pravé straně, bude tato poloha pro zjednodušení považována za stejnou.

Poloha 2 na stanici 07 – percentil 5

Jako poloha 2 byla vybrána montáž flexi kabelu na pravém okraji displeje. I v této oblasti pracovník zapojuje dvojici kabelů umístěných v blízkosti, tudíž bude tato jedna poloha představovat montáž obou těchto kabelů.



Obr. 7.14: Poloha 2 na stanici 07 – Pracovník percentil 5

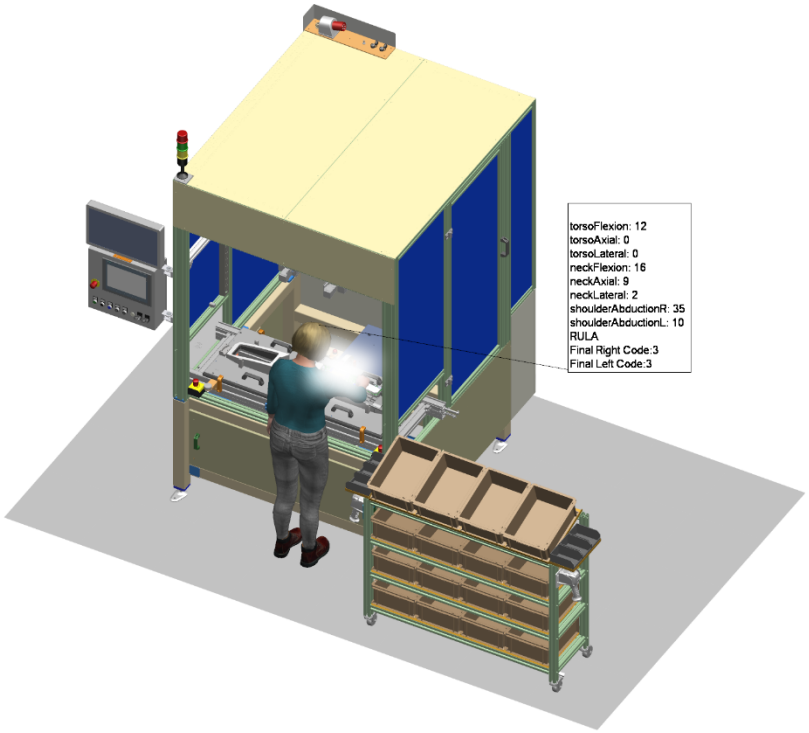
Tab. 7.9 představuje ergonomické vyhodnocení pracovní polohy 2. Jak je vidět, není tato poloha problematická, neboť v důsledku otočení paletky s displejem mezi stanicemi 06 a 07 jsou flexi kabely blíže k pracovníkovi. Mírně zvýšená je pouze flexe pravé horní končetiny, její poloha tedy byla vyhodnocena jako podmíněně přijatelná.

Tab. 7.9: Poloha 2 na stanici 07 – Pracovník percentil 5

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	12°	Flexe	7°	50°
Lateroflexe	0°	Abdukce	10°	36°
Rotace	0°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Dorzální (P) / palmární (L) f.	3°	1°
Flexe	12°	Radiální dukce	8°	1°
Lateroflexe	2°	**RULA**	3	3
Rotace	10°	**L4/L5**	574 N	

Poloha 2 na stanici 07 – percentil 50

Stejným způsobem byla vyhodnocena i poloha 2 pro pracovníka o percentilu 50.



Obr. 7.15: Poloha 2 na stanici 07 – Pracovník percentil 50

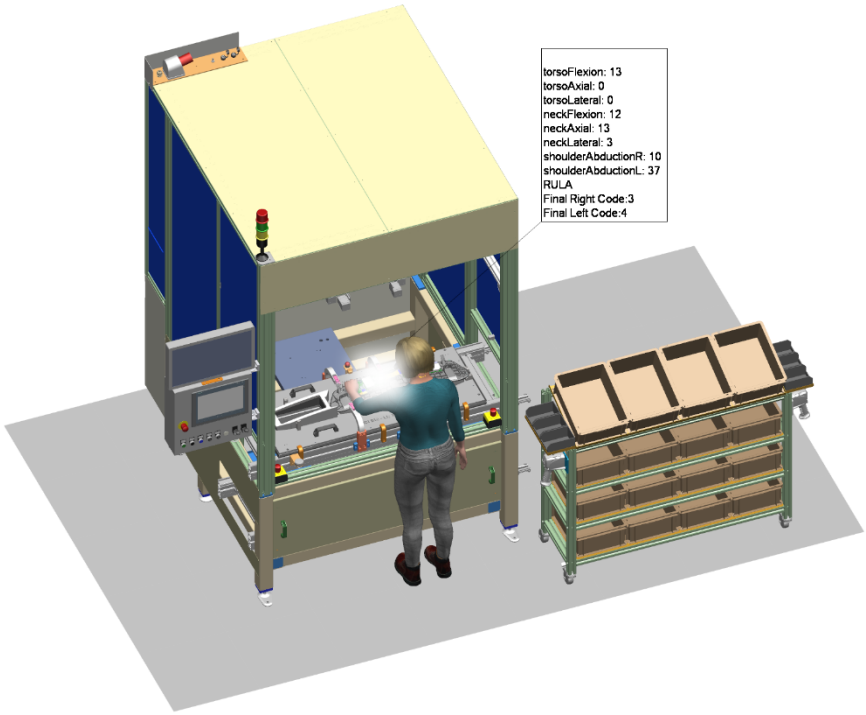
Pro pracovníka na stanici 07 o percentilu 50 je hodnocení jeho polohy velmi podobné pracovníkovi o percentilu 5. Pozice je takřka bezproblémová, podmíněně přijatelná je pouze flexe pravé horní končetiny, kterou pracovník zapojuje kabel do konektoru (obr. 7.15). Zátěž zad v bederní oblasti je mírně vyšší, avšak stále pod limitem 3400 N, rovněž RULA se stupněm hodnocení 3 je vyhovující.

Tab. 7.10: Poloha 2 na stanici 07 – Pracovník percentil 50

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	12°	Flexe	7°	52°
Lateroflexe	0°	Abdukce	10°	35°
Rotace	0°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Dorzální flexe	0°	3°
Flexe	16°	Radiální (P) / ulnární (L) d.	7°	2°
Lateroflexe	2°	**RULA**	3	3
Rotace	9°	**L4/L5**	767 N	

Poloha 3 na stanici 07 – percentil 5

Další vybranou pracovní polohou je montáž kabelu na opačné straně displeje. Poloha má potenciál být problematická zejména v tom, že flexi kabel je zde natočen o 90° a tudíž mohou vznikat nepříznivé pozice v oblasti levého zápěstí.



Obr. 7.16: Poloha 3 na stanici 07 – Pracovník percentil 5

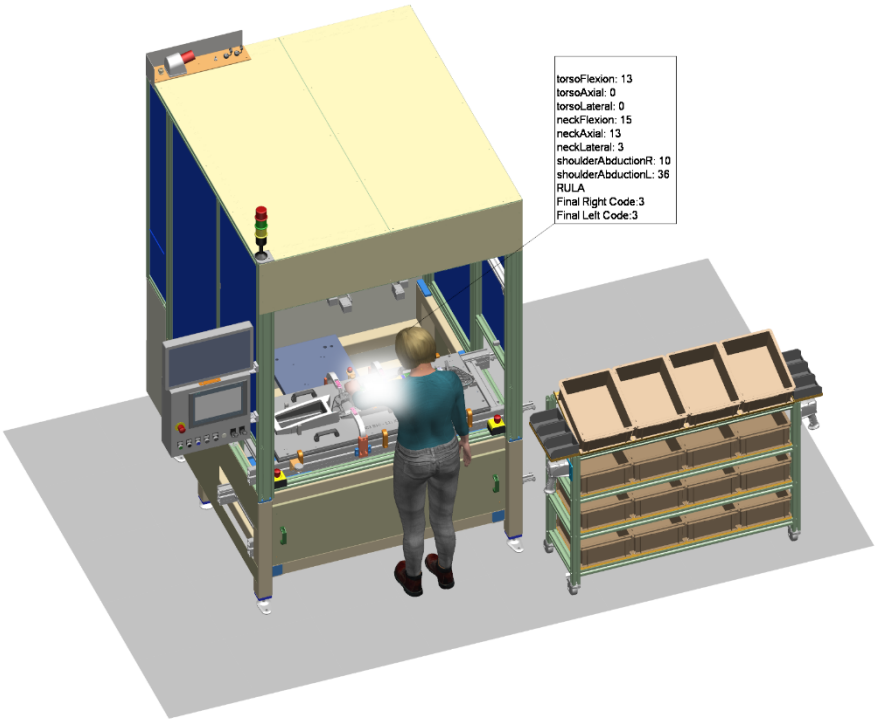
Shrnutí v tab. 7.11 představuje analýzu ergonomie pro polohu 3. Jako podmíněně přijatelnou lze zhodnotit polohu levé horní končetiny a levého zápěstí. To se projevuje i na zvýšeném hodnocení RULA stupněm 4.

Tab. 7.11: Poloha 3 na stanici 07 – Pracovník percentil 5

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	13°	Flexe	54°	4°
Lateroflexe	0°	Abdukce	37°	10°
Rotace	0°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Dorzální flexe	7°	0°
Flexe	12°	Radiální (P) / ulnární (L) d.	19°	8°
Lateroflexe	3°	**RULA**	4	3
Rotace	13°	**L4/L5**	584 N	

Poloha 3 na stanici 07 – percentil 50

Poslední vyhodnocovanou polohou je poloha 3 pro pracovníka percentilu 50 s průměrným vzrůstem.



Obr. 7.17: Poloha 3 na stanici 05 – Pracovník percentil 50

Poslední vyhodnocovaná poloha se v převážné míře shoduje s analýzou pracovníka percentilu 5 v téže poloze, a tedy jak ukazuje tab. 7.12, upozorňuje především na pozici levého zápěstí a levé ruky z hlediska její flexe.

Tab. 7.12: Poloha 3 na stanici 07 – Pracovník percentil 50

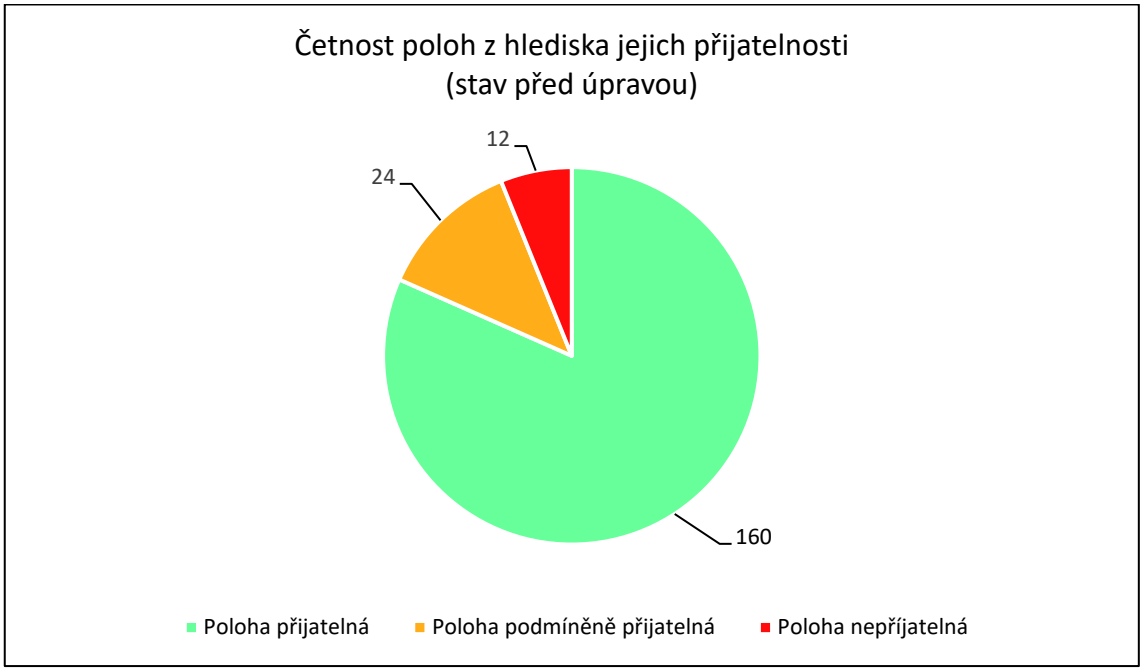
Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	13°	Flexe	54°	4°
Lateroflexe	0°	Abdukce	36°	10°
Rotace	0°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Palmární flexe	1°	0°
Flexe	15°	Radiální (P) / ulnární (L) d.	14°	8°
Lateroflexe	3°	**RULA**	3	3
Rotace	13°	**L4/L5**	774 N	

7.2.4 Vyhodnocení prvotní ergonomické analýzy

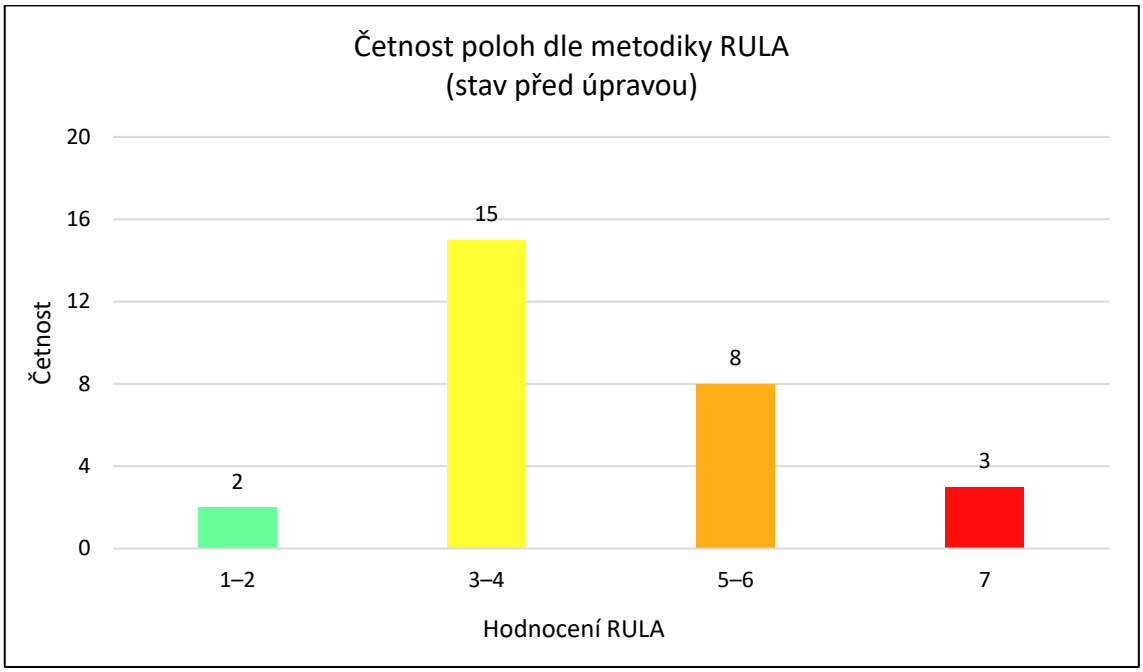
Z hlediska prvotní ergonomické analýzy byly vyhodnoceny výšky pracovních rovin, dosahové a zorné podmínky, rozmístění ovladačů a sdělovačů a také vybrané statické pracovní polohy.

Výšky pracovních rovin byly v rámci konceptu linky zvoleny dobře, výška oblasti, v níž dochází k zapojení kabelů je z hlediska ergonomie ideální a vyhovuje jak pracovníkům menšího vzrůstu, tak i pracovníkům s průměrnými tělesnými proporcemi, kteří na výrobních linkách v případě závodu Continental převažují. Nevhodná byla pouze výška stolku s boxy, ze kterých pracovník odebírá flexi kabely pro zapojení. Z tohoto důvodu byl použit stolek s vyšší pracovní rovinou tak, aby respektovala ergonomické požadavky. Rozmístění ovladačů a sdělovačů bylo vyhodnoceno jako vyhovující, norma ČSN EN 894 v tomto ohledu poskytuje spíše doporučení, která je vhodné pro dodržení ergonomických zásad respektovat. Rozmístění bylo zkontrolováno ve virtuální realitě.

Ač došlo ke zvýšení stolku se zásobníky flexi kabelů, v převážné míře byly vyhodnoceny jako nepřijatelné právě odebírací pozice (viz. obr. 7.18 a obr. 7.19). V případě použití takového stolku by bylo vhodné, aby se operátor otočil a k tomuto stolku přešel, což je však z hlediska dodržení cyklového času nepřijatelné. Z tohoto důvodu i z důvodu zlepšení ergonomie úkonu bude zváženo jiné řešení odebírání kabelů.



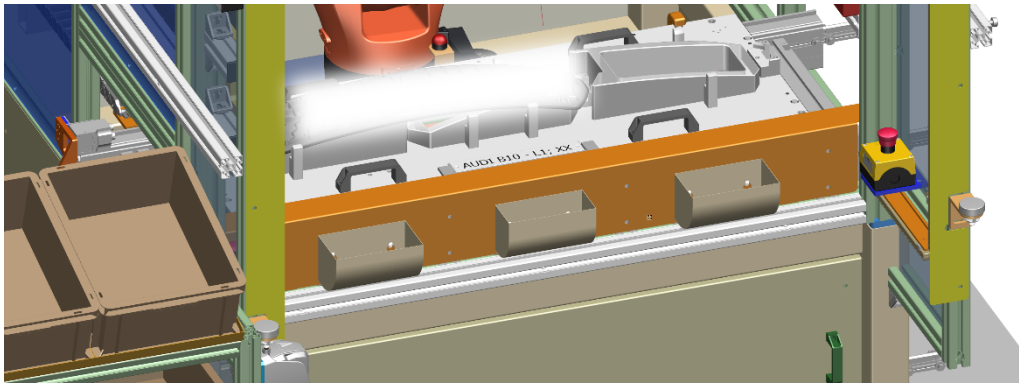
Obr. 7.18: Četnost poloh z hlediska jejich přijatelnosti (stav před úpravou)



Obr. 7.19: Četnost poloh dle metodiky RULA (stav před úpravou)

7.2.5 Úprava a ergonomická optimalizace

Jak již bylo zmíněno v předchozí podkapitole, z hlediska ergonomie by bylo vhodné optimalizovat zejména odebírací polohy flexi kabelů. Tato optimalizace je spjata se změnou řešení zásobníků flexi kabelů. Z tohoto důvodu a z důvodu zrychlení činnosti práce operátora budou namísto vozíků použity vaničky přímo před pracovníkem na přední straně stanice tak, aby z nich mohl kabely napřímo odebírat. Toto řešení ukazuje obr. 7.20.



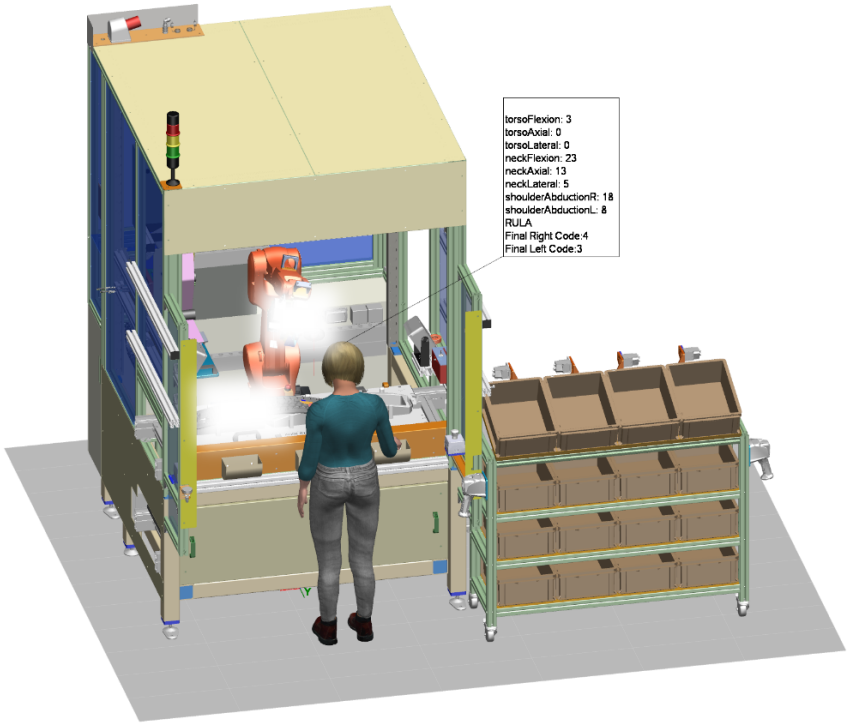
Obr. 7.20: Nové řešení odebírání kabelů ze zásobníku

Z ergonomického hlediska by bylo vhodnější umístění boxů uvnitř stanice, neboť poté by je měl pracovník v nejoptimálnější pozici. Jelikož jsou ale pracovní stanice osazeny robotem, hrozila by jeho kolize s těmito boxy, a proto bylo zvoleno kompromisní řešení popsané a ukázané na obrázku výše.

Pro porovnání zde tedy budou analyzovány statické pozice pro percentil 5 a 50 při odebírání kabelů z těchto vaniček. Z důvodu rychlé analýzy a zjednodušení bude zhodnocena pouze jedna pracovní poloha při odběru kabelu z jedné z vaniček.

Poloha 1 na stanici 02, 03 a 07 – percentil 5

Zde bude zkoumán upravený stav, kdy pracovník nebude odebírat flexi kabely z vozíku s boxy, ale z vaniček umístěných před ním.



Obr. 7.21: Poloha 1 na stanici 02, 03 a 07 – Pracovník percentil 5 (po úpravě)

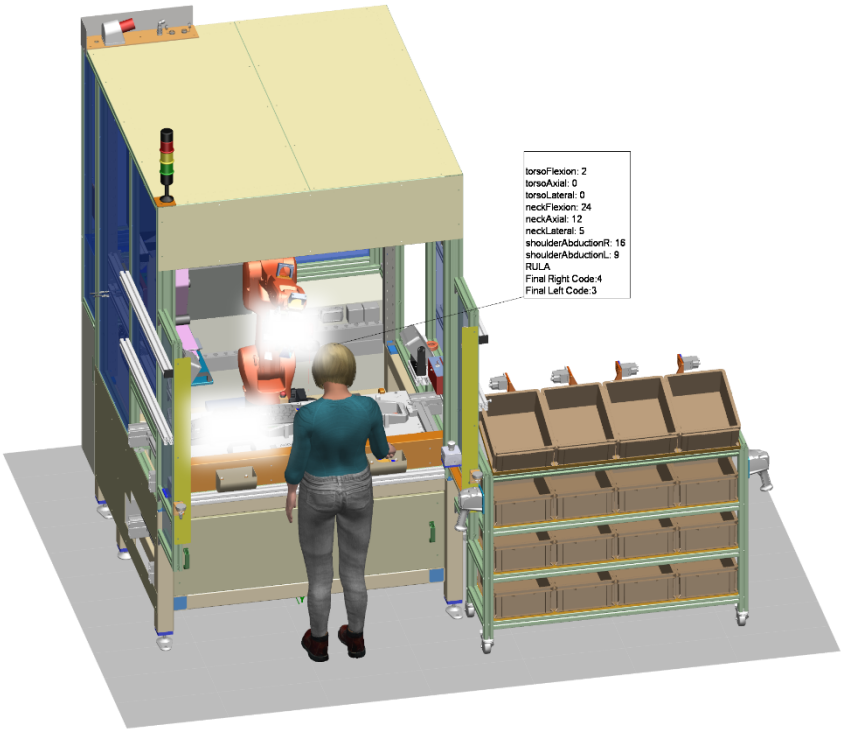
Použitím vaniček před pracovníkem byla odstraněna zcela nevhodná rotace trupu a hlavy a také došlo ke snížení bodového skóre RULA na hodnotu 3 a 4 z předchozího skóre 7, které bylo zcela nepřijatelné. Ne zcela vhodná je však pozice pravého zápěstí.

Tab. 7.13: Poloha 1 na stanici 02, 03 a 07 – Pracovník percentil 5 (po úpravě)

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	3°	Flexe	2°	11°
Lateroflexe	0°	Abdukce	8°	18°
Rotace	0°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Dorzální flexe	5°	0°
Flexe	23°	Ulnární dukce	0°	21°
Lateroflexe	5°	**RULA**	3	4
Rotace	13°	**L4/L5**	342 N	

Poloha 1 na stanici 02, 03 a 07 – percentil 50

Stejná odebírací pozice bude vyhodnocena i pro pracovníka průměrných tělesných proporcí o percentilu 50.



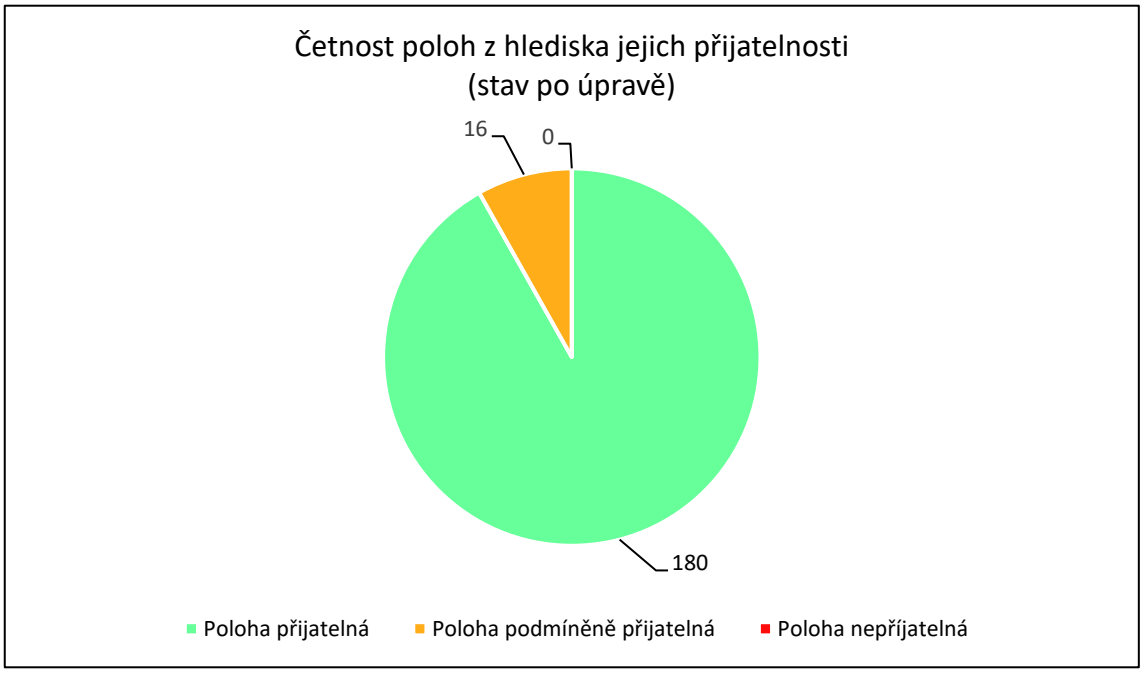
Obr. 7.22: Poloha 1 na stanici 02, 03 a 07 – Pracovník percentil 50 (po úpravě)

Jak je patrné z tab. 7.14, úprava odebírací pozice pro pracovníka o percentilu 50 má za následek, že je ho pracovní poloha při odebírání kabelu je z hlediska nařízení vlády č. 361/2007 Sb. zcela bezproblémová. To koresponduje s výrazným snížením bodového skóre RULA.

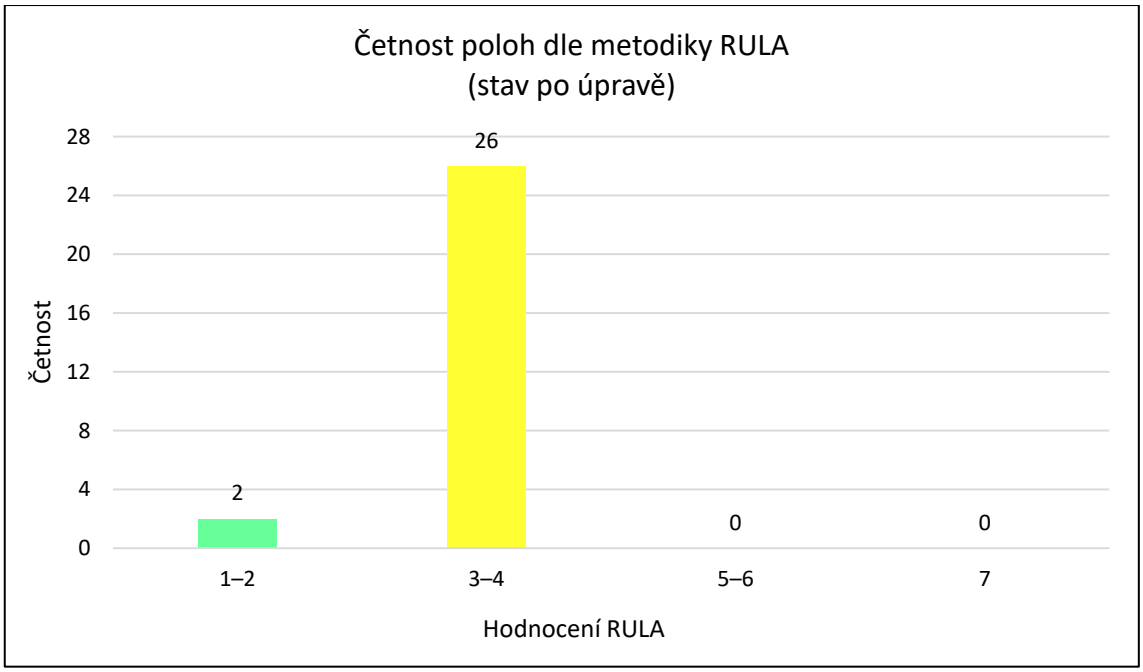
Tab. 7.14: Poloha 1 na stanici 02, 03 a 07 – Pracovník percentil 50 (po úpravě)

Trup		**Horní končetiny**	**L**	**P**
Flexe	2°	Flexe	2°	13°
Lateroflexe	0°	Abdukce	9°	16°
Rotace	0°	**Zápěstí**	**L**	**P**
Hlava a krk		Dorzální (P) / palmární (L) f.	3°	11°
Flexe	24°	Ulnární dukce	1°	6°
Lateroflexe	5°	**RULA**	3	4
Rotace	12°	**L4/L5**	436 N	

Obr. 7.23 a obr. 7.24 ukazují, že změnou odebírací pozice, tj. přemístěním zásobníků flexi kabelů, došlo k výraznému zlepšení ergonomie pracovišť. Tímto opatřením, díky kterému rovněž dojde je zrychlení pracovní činnosti operátora, se podařilo odstranit všech 12 poloh nepřijatelných a tyto polohy přesunout do kategorie přijatelné a podmíněně přijatelné. Eliminací těchto poloh došlo ke snížení skóre RULA tak, že žádná pozice není hodnocena stupněm 5 a výše.



Obr. 7.23: Četnost poloh z hlediska jejich přijatelnosti (stav po úpravě)



Obr. 7.24: Četnost poloh dle metodiky RULA (stav po úpravě)

7.3 Detailní ergonomická analýza

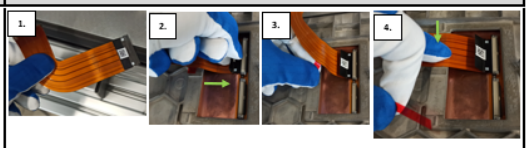
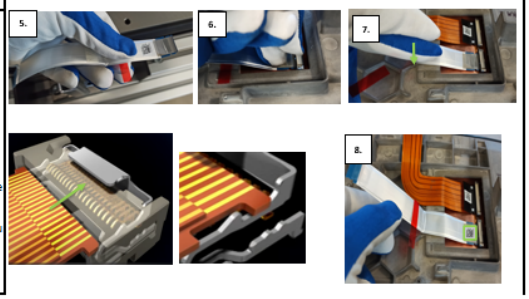
Jak bylo nastíněno již v kapitole, která se věnovala samotnému konceptu simulací ergonomie, dalším krokem po provedení prvotní analýzy ergonomie je detailní ergonomická analýza. Tato analýza má podle návrhu následující kroky:

- vytvoření dynamické simulace celé pracovní činnosti na dané stanici podle pracovní návodky dodané oddělením plánování výroby,
- vložení údajů o délce směny, počtu cyklů za směnu a hmotnostech manipulovaných břemen,
- hodnocení pracovních poloh v rámci pracovní činnosti a porovnání doby strávené v podmíněně přijatelných a nepřijatelných pracovních polohách s hygienickým limitem vztaženým ke směně dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb.,
- vyhodnocení minutového energetického výdeje a porovnání s limitním minutovým energetickým limitem, který je dán nařízením vlády č. 361/2007 Sb.,
- vyhodnocení průběhu zatížení bederní páteře v segmentu L4/L5 a jeho porovnání s limitem NIOSH dle nařízení vlády č. 506/2021 Sb.,
- přibližný odhad času práce pracovníka pomocí metody MTM.

7.3.1 Vytvoření dynamické simulace

Prvním krokem pro tvorbu detailní ergonomické analýzy je vytvoření dynamické simulace pracovního úkonu pracovníka. Dynamická simulace bude po provedené zkoušce prozatím tvořena manuálním způsobem. Tento způsob je výrazně časově náročný, avšak zkouška systému HTC Vive Body Tracking pro nahrání pohybu ukázala, že není v současné době možné zaznamenat pomocí tohoto systému pracovní úkon v požadované přesnosti. Zvýšení přesnosti by výrazně usnadnilo tvorbu této simulace, a proto bude dále diskutováno s dodavatelem systému s cílem ruční tvorbu simulace nahradit.

Jako ukázková simulace bude pro potřeby této práce z výše zmíněného důvodu náročnosti provedena simulace úkonu pouze na stanici 07 s pracovníkem o percentilu 50. V rámci navržené metodiky bude ovšem standartní provedení simulace i s pracovníkem o percentilu 5. Simulace bude provedena pomocí TSB v Process Simulate. Nejdříve tedy bylo nutné od oddělení plánování výroby obstarat pracovní návodku, kterou se bude daný pracovník na pracovišti řídit. Ukázka této návodky se nachází na obr. 7.25.

7	4		P.K.	SAP č.	Symbol	Zvláštní char.	Č. obr.	Úkon CO SE DĚLÁ	Klíčový znak JAK SE TO DĚLÁ	Důvod klíčového znaku PROČ SE TO DĚLÁ	Obrázky
1			1		M	S	1-4	Zapoj oranžový LHD FCB FID kabel	1. Před najetím paletky si připrav správný oranžový flexi kabel a otoč ho DMX kódem nahoru a uchop palcem a ukazováčkem za ,,stiffner,, (pevný konec kabelu) 2. Po signalizaci stanice (že naskenovala díl a je bezpečné pokračovat) vejdi do pracovního prostoru pracoviště. 3. Zasuň flexi kabel do konektoru až do citelného ,,zacvaknutí,, a teda dosažení finální pozice 4. Prstem pravé ruky přitlač pásek v místě těsně za stiffnerem směrem dolů k displayi a z opačné strany odlep levou rukou červenou fólii ze spodní lepivé části. Následně levou rukou přitlačit lepivou část k plošе na to určené na kovovém dílu viz. obr.	Příprava na přepojení displaye s DPS. Cvaknutí konektoru po zasunutí kabelu značí dosažení koncové pozice.	
1			2		M	S	5-8	Zapoj stříbrný LHD FFC FID kabel	1. Vyber z podavače stříbrný flexi kabel a otoč ho DMX kódem nahoru a uchop palcem a ukazováčkem za ,,stiffner,, (pevný konec) 2. Zasuň flexi kabel do konektoru až do citelného zacvaknutí a teda dosažení finální pozice 3. Prstem pravé ruky přitlač pásek v místě těsně za stiffnerem směrem dolů k displayi a z opačné strany odlep levou rukou červenou fólii ze spodní lepivé části. Následně levou rukou přitlačit lepivou část k plošе na to určené na kovovém dílu viz. obr. 4. Druhou fólii na vrchní strane nech nalepenou a pásku vyhnutou do leva, aby mohla stanice naskenovat FPC!	Příprava na přepojení displaye s DPS. Cvaknutí konektoru po zasunutí kabelu značí dosažení koncové pozice. Neodlepená fólie a vyhnutý FPC umožní volný přístup scanneru k DMX.	

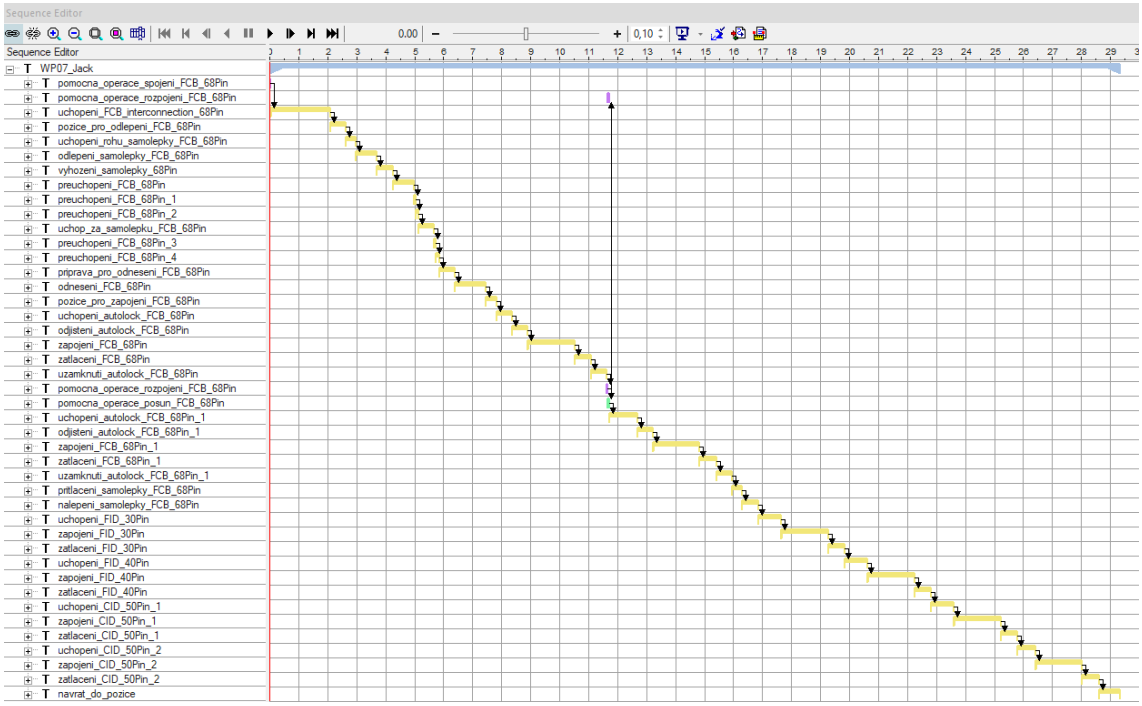
Obr. 7.25: Ukázka pracovní návodky

Na základě získané pracovní návodky je možné vytvořit detailní ergonomickou simulaci pomocí TSB tak, aby se co nejvíce blížila reálnému stavu, který na zkoumaném pracovišti nastane. Shrnutí činností, které musí pracovník provést, je následující:

- ze zásobníku vzít flexi kabel a odlepit z něj ochrannou folii na samolepce,
- odjistit konektor na PCB deskách a kabel zapojit,
- zajistit konektor a přitlačit samolepku k displeji,
- zapojit čtveřici předpřipravených flexi kabelů do PCB desek.

Tato sekvence byla následně v TSB vytvořena a nasimulována, přičemž byla rozdělena ještě do dílčích úkonů tak, aby byla co nejdetailnější a bylo možné zkoumat a dále upravovat jednotlivé úseky z hlediska jejich doby trvání pomocí metodiky MTM. Obr. 7.26 ukazuje, jak vypadá vytvořená simulace v rozpadu na jednotlivé úseky. Těmto úsekům pak byly pomocí MTM tabulky v rámci Process Simulate na základě vzdáleností a dalších parametrů přiřazeny časové kódy. Čas nasimulovaného pracovního úkonu byl 29,3 s s tím, že až do testu na reálné lince nelze tento čas validovat.

Dále pak byly vloženy údaje o hmotnosti manipulovaných dílů, tedy flexi kabelů, odhadu sil, kterými budou tyto kabely zapojovány, cyklovém času, počtu cyklů za směnu a směnnosti, kdy budou pro posouzení setrvání v podmíněně přijatelných a nepřijatelných polohách uvažovány dvanáctihodinové směny (tedy 690 minut včetně přestávky).



Obr. 7.26: Ganttův diagram vytvořené simulace v Sequence Editoru

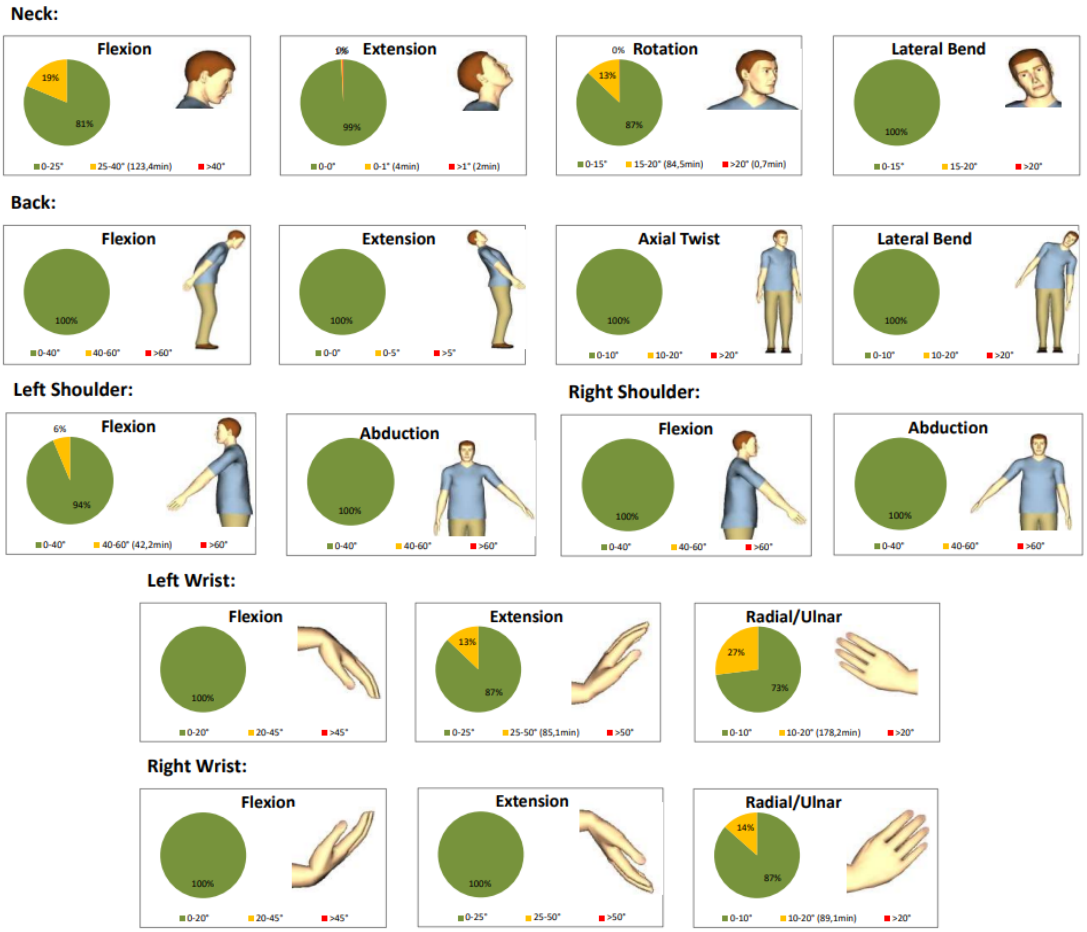
7.3.2 Vyhodnocení a výstupy dynamické simulace

V rámci metodiky, která byla navržena, budou hodnoceny především legislativně závazné požadavky dané nařízením vlády č. 361/2007 Sb., tedy hodnocení pracovní polohy, hodnocení energetického výdeje a také požadavek z nařízení vlády č. 506/2021 Sb. na dodržení limitu zatížení L4/L5 dle NIOSH US 3400 N.

Hodnocení pracovní polohy

V rámci hodnocení pracovních poloh byla použita analýza Generic, která umožňuje vytvořit grafické znázornění procentuálního a minutového zastoupení přijatelných, podmíněně přijatelných a nepřijatelných poloh dle platných limitů daných v rámci nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Výsledné vyhodnocení ukazuje obr. 7.27.

Z legislativního hlediska je důležité zejména setrvání v podmíněně přijatelných a nepřijatelných polohách v průběhu směny. Pro dvanáctihodinovou směnu s přestávkou platí, že v podmíněně přijatelné poloze může pracovních strávit nejvýše 184 minut (limit 160 minut navýšený o 15 % z důvodu práce ve dvanáctihodinové směně) a v nepřijatelné poloze 34,5 minut (limit 30 minut navýšený o 15 % z důvodu práce ve dvanáctihodinové směně).



Obr. 7.27: Vyhodnocení pracovních poloh na stanici 07

Jak je patrné z obr. 7.27 a tab. 7.15, žádná z posuzovaných pracovních poloh nepřesáhla limity dané nařízením vlády č. 361/2007 Sb. Výsledek tedy koresponduje s hrubými výsledky vypracovanými v rámci hodnocení statických pozic, kdy se jako nejvíce problematická ukázala poloha zápěstí, zejména ulnární a radiální dukce. V této podmíněně přijatelné poloze se dle simulace například může levé zápěstí nacházet až 178,2 minut, což je hodnota pod horní hranicí stanoveného limitu.

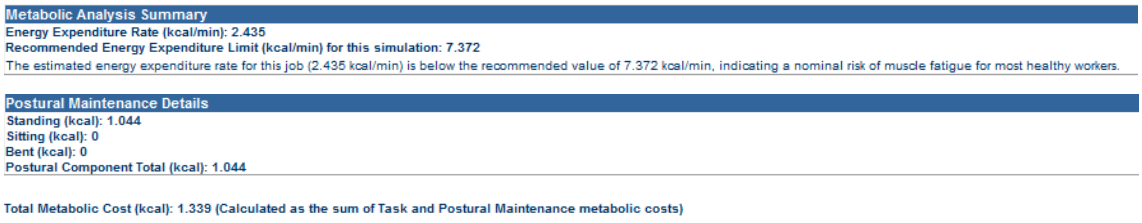
Jako výsledek této simulace by tedy mohlo vzniknout doporučení, aby byli v rámci prevence zranění a onemocnění pracovníci na této stanici školeni s ohledem na správnou pozici zápěstí při zapojování flexi kabelů, která je zde nejvíce kritická. Zároveň lze jako validaci simulace doporučit vyzkoušení a analýzu pracovní činnosti pomocí MoCap obleku, až bude pracoviště v reálném provozu.

Tab. 7.15: Časová analýza pracovních poloh pracovníka percentilu 50 na stanici 07

Poloha	Přijatelná	Podm. přijatelná	Nepřijatelná
Hlava a krk			
Flexe	566,6 min	123,4 min	0 min
Extenze	684 min	2 min	4 min
Rotace	604,8 min	84,5 min	0,7 min
Lateroflexe	690 min	0 min	0 min
Trup			
Flexe	690 min	0 min	0 min
Extenze	690 min	0 min	0 min
Rotace	690 min	0 min	0 min
Lateroflexe	690 min	0 min	0 min
Horní končetiny			
Flexe L/P	647,8/690 min	42,2/0 min	0 min
Extenze L/P	690 min	0 min	0 min
Abdukce L/P	690 min	0 min	0 min
Zápěstí			
Flexe L/P	690 min	0 min	0 min
Extenze L/P	604,9/690 min	85,1/0 min	0 min
Rad./uln. d. L/P	511,8/600,9 min	178,2/89,1 min	0 min

Hodnocení energetického výdeje

Na základě nařízení vlády č. 361/2007 Sb. je rovněž nutné splňovat hygienické limity z pohledu energetického výdeje pracovníka. V této souvislosti se posuzuje energetický výdej minutový a energetický výdej směnový. Výsledek vyhodnocení energetického výdeje v simulaci udává obr. 7.28.



Obr. 7.28: Energetický výdej pracovníka percentilu 50 na stanici 07

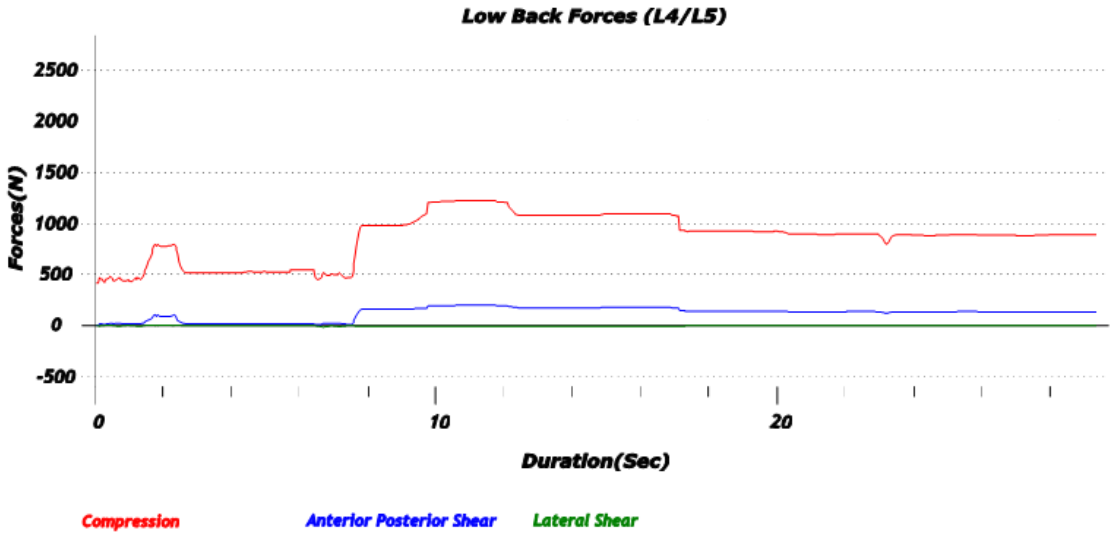
V tab. 7.16 je vidět porovnání výsledků energetického výdeje ze simulace s platnými hygienickými limity. V tomto případě jsou jako limitní hodnoty posuzovány hodnoty platné pro ženy, což koresponduje s volbou modelu ženského pohlaví o percentilu 50 v rámci této simulace. Software na základě nasimulovaného úkonu vypočítal hodnotu minutového energetického výdeje 2,435 kcal/min, což odpovídá hodnotě 10,1949 kJ/min. Minutový energetický výdej na pracovníka na stanici 07 je tedy cca o 57 % menší než výdej limitní. Pro plánovanou délku směny 690 minut to však znamená směnový výdej 7,0 MJ, což o zhruba 30 % přesahuje legislativně danou maximální hodnotu. Z této analýzy tedy plyne, že je nutné změnit směnnost na posuzované lince, popřípadě je třeba zajistit rotaci pracovníků na pracovištích tak, aby nedošlo k přesáhnutí tohoto limitu.

Tab. 7.16: Porovnání energetického výdeje pracovníka na stanici 07 s platnými limity

Energetický výdej	**Limit**	**Simulace**
Minutový výdej [kJ·min^{-1}]	23,7395	10,1949
Směnový výdej [MJ]	5,4	7,0

Hodnocení zátěže L4/L5

Dle nařízení vlády č. 506/2021 Sb. platí povinnost dokládat zátěž zad v bederní oblasti na obratle v segmentu L4/L5 dle metodiky NIOSH US 3400 N. Překročení tohoto limitu by znamenalo zařazení analyzované pracovní činnosti a práce samotné do vyšší rizikové kategorie. Průběh zatížení L4/L5 dle vytvořené simulace ukazuje obr. 7.29.



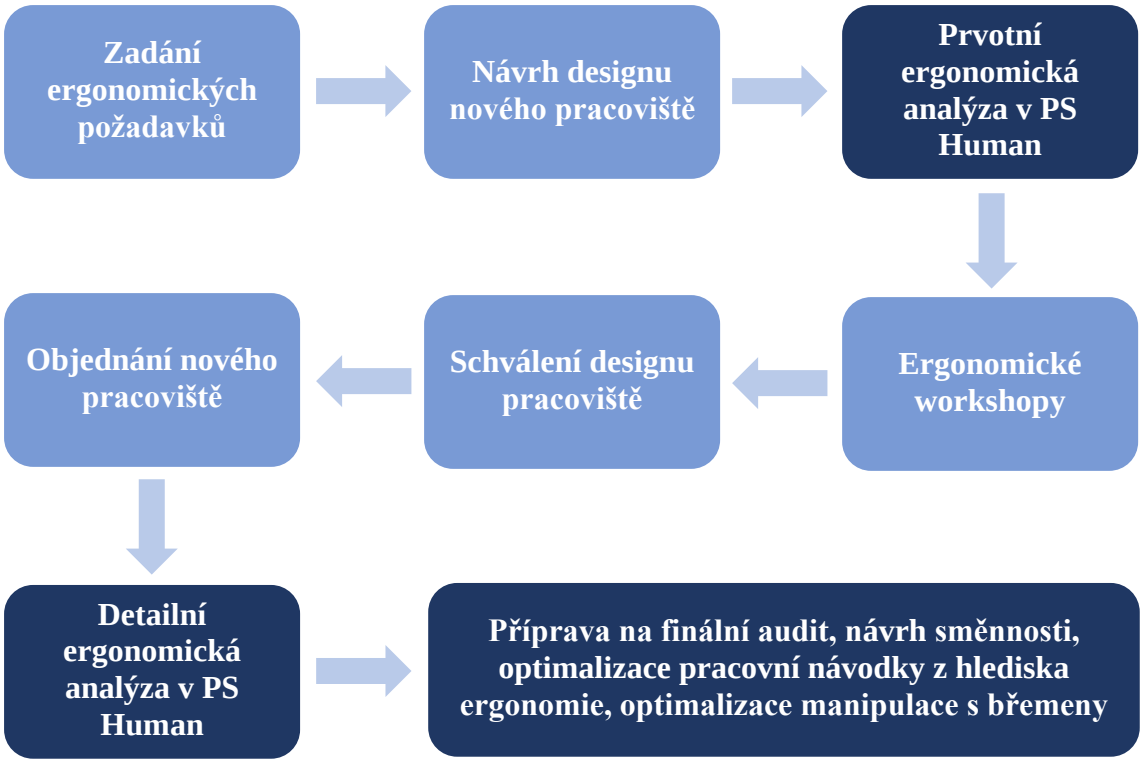
Obr. 7.29: Průběh zátěže L4/L5 pracovníka na stanici 07

Jak je z výše uvedeného obrázku patrné, z hlediska zátěže zad lze práci klasifikovat jako zcela bezpečnou, neboť v celém průběhu pracovního úkonu nedošlo k překročení hranice 3400 N dle metodiky NIOSH. Zároveň je však hodnota nejvyššího zatížení (cca 1250 N) v jedné z pozic při zapojení flexi kabelu mírně vyšší než hodnota, která byla stanovena při analýze statických pracovních poloh. Tento rozdíl je dán tím, že v rámci dynamické simulace již byly zahrnuty i nutné vynaložené montážní síly nezbytné pro zapojení kabelů do příslušných konektorů.

8 Zhodnocení a přínosy

Hlavními dvěma přínosy této práce bylo vypracování metodiky, kterou budou do vnitropodnikové procedury začleněny ergonomické simulace v rámci návrhu montážních pracovišť a také vyzkoušení, zda je tímto způsobem reálné vyhodnocovat nadcházející projekty. Z tohoto důvodu byla daná metodika aplikována na manuální pracoviště montážní linky, která se nacházela v návrhové fázi.

Jak bylo zmíněno výše, v první části byla vypracována metodika, kterou budou vyhodnocována manuální pracoviště montážních linek z ergonomického hlediska ve stavu, kdy jsou teprve ve fázi návrhu před schválením mechanické konstrukce. Začlenění ergonomické simulace do tohoto okamžiku zajistí, že bude většina nedostatků, které jsou z pohledu ergonomie nežádoucí, odstraněna. Využití této metodiky bude mít za následek dodání výrobní linky v požadovaném stavu, což eliminuje nutnost provést změny na lince ve chvíli, kdy je připravena k sériové výrobě a to v důsledku nesplnění požadavků ergonomického auditu. Daná metodika má také potenciál příznivě ovlivnit ekonomickou stránku nových projektů, neboť sníží náklady na konstrukční úpravy a také odstraní stavy, kdy pracoviště nemůže vyrábět v důsledku neuspokojivého výsledku auditu. Schéma navrženého procesu se zvýrazněnými nově navrženými částmi ukazuje obr. 8.1.



Obr. 8.1: Současný proces ergonomie při návrhu nového pracoviště

V další části byla pro potřeby ověření navržené metodiky vyhodnocena trojice manuálních montážních pracovišť na vybrané lince. V rámci prvotní ergonomické analýzy byly vyhodnoceny výšky všech pracovních rovin. Zde byla jako nedostatek posouzena výška vozíku s boxy, ze kterého je pracovníkem odebírán materiál a byl navržen nový vyhovující vozík. Dále bylo z pohledu layoutu zkontrolováno rozmístění prvků, ovladačů a sdělovačů. V posledním kroku prvotního zhodnocení došlo k analýze vybraných statických poloh.

Jak uvádí tab. 8.1, změnou layoutu došlo k celkovému odstranění nepřijatelných pracovních poloh dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. a poloh, které byly pomocí metodiky RULA ohodnoceny vysokým skóre také jako nevhodné. Výrazně došlo také ke snížení počtu podmíněně přijatelných poloh, který klesl o více než 33 %. Zároveň byl o téměř 13 % navýšen počet poloh přijatelných. Tato zlepšení tedy vedla ke zlepšení ergonomie na vybraných pracovištích a také ke snížení rizikovosti práce.

Tab. 8.1: Srovnání původního a upraveného stavu pracovišť z hlediska ergonomie

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.			**RULA**		
Hodnocení polohy	Původní	Upravený	Skóre	Původní	Upravený
Přijatelné	160	180	1–2	2	2
Podmíněně přijatelné	24	16	3–4	15	26
			5–6	8	0
Nepřijatelné	12	0	7	3	0

V následné detailní ergonomické analýze byla již vypracována kompletní simulace pracovního úkonu pracovníka na stanici. V rámci vyhodnocení bylo zjištěno minutové rozložení přijatelných, podmíněně přijatelných a nepřijatelných poloh v průběhu celé směny, energetický výdej pracovníka v průběhu směny a zátěž zad v rámci pracovního cyklu. Počet minut strávených v jednotlivých polohách splňuje limity dané nařízením vlády č. 361/2007 Sb. a zatížení zad v oblasti L4/L5 neukázalo překročení limitu 3400 N, které udává nařízení vlády č. 506/2021 Sb. Směnový energetický výdej však dle simulace vyšel nad směnovým limitem a bude nutné uvažovat zkrácení směn z původně dvanáctihodinových na osmihodinové.

Celkově analýza ukázala, že ergonomické simulace mohou při dodržení navržené metodiky v rámci společnosti Continental odhalit nedostatky z hlediska ergonomie a ušetřit čas i náklady. Navržená metodika bude tedy dále vylepšována a zpřesňována.

9 Závěr

V rámci této diplomové práce bylo hlavním cílem vytvořit novou metodiku, kterou bude vyhodnocována ergonomie na nově navrhovaných montážních pracovištích ve společnosti Continental Automotive Czech Republic s.r.o. v Brandýse nad Labem pomocí ergonomických simulací.

V průmyslu a hromadné výrobě dochází v dnešní době ke zvyšování požadavků na rychlost zavádění nových výrobních linek a stejně tak roste tlak na jejich rychlé a bezproblémové uvedení do provozu po jejich postavení ve výrobní hale. Vyhovět tomuto trendu pomáhá zavedení simulací výroby, které umožní dané výrobní linky zprovoznit ve virtuálním prostředí ještě před jejich fyzickým zhotovením. Do této problematiky spadá i problematika simulací ergonomie na manuálních pracovištích, kdy je možné najít a odstranit nedostatky, které by až do finálních ergonomických auditů zůstaly skryty. Zavedení těchto simulací do interních postupů tedy bylo jedním z cílů této práce.

První část práce je věnována obecně teorii výrobních systémů a montáže, neboť ergonomie je jejich nedílnou součástí. Další kapitola již popisuje ergonomii, její definici, úkoly, které řeší a také lidský prvek, jenž je součástí ergonomického systému společně s technikou a okolním prostředím. Je zde podrobněji popsáno pracovní místo a prostředí společně s dalšími faktory, které ovlivňují celkový stav ergonomie na pracovišti. V závěru teoretické části je popsána platná legislativa v oblasti ergonomie, v níž obsažené požadavky a hygienické limity je nutné pro uvedení linky do provozu splnit. Jsou zde uvedeny i další ergonomické analýzy použité v praktické části práce.

Druhá část práce již prakticky popisuje proces zhodnocení ergonomie ve společnosti Continental a hodnotí systém BDS využívaný k analýze v současnosti. Další kapitola pojednává o výběru vhodného simulačního nástroje, který je dále využit. Následně je vytvořena samotná metodika, jak bude tento nástroj do současného procesu zapracován společně s činnostmi, které již budou součástí samotné ergonomické analýzy pracovišť. Tato metodika je pak aplikována na manuální pracoviště na vybrané lince.

Tato práce ukázala, že navržená metodika s využitím simulace má potenciál odhalit nedostatky pracovišť ve fázi jejich návrhu, což povede ke zlepšení pracovních podmínek na pracovišti. Včasné odstranění těchto nedostatků povede sekundárně také k úspoře finančních prostředků nutných na úpravu pracovišť a času, které by úpravy zabraly.

Použitá literatura

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

[2] HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty I*. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2871-6.

[3] ZELENKA, Antonín. *Projektování výrobních procesů a systémů*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03912-0.

[4] KYNCL, Jiří. *Projektování výrobních systémů* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 2022.

[5] PETRŮ, Jana a Robert ČEP. *Základy montáže: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.

[6] HUMÁR, Anton. Sylaby předmětu TECHNOLOGIE MONTÁŽE [online]. VUT-FSI v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění, 2005 [cit. 2022-10-19]. Dostupné z: e

[7] THOMOPOULOS, Nicholas T. *Assembly line planning and control*. Springer Cham, 2014. ISBN 978-3-319-01398-5.

[8] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3.

[9] GLIVICKÝ Vladimír. *Ergonomie na pracovištích* [online]. Praha: Akademie práce a zdraví ČR, 2004 [cit. 2022-11-21]. Dostupné z: https://mapis.vubp.cz/PR/ShowDokument.aspx?guid=74b06830-801b-42ab-9bc4-4454af933b4a

[10] BUREŠ, Marek. *Tvorba a optimalizace pracoviště.* Plzeň: ZČU-KPV, 2013. ISBN 978-80-87539-32-3.

[11] What Is Ergonomics (HFE)? iea.cc [online] 2023 [cit. 2023-1-22]. Dostupné z: https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/

[12] HANKER, Jozef. *Ergonómia v priemysle*. Bratislava: Alfa, 1978. Edícia ekonomickej literatúry (Alfa).

[13] MAREK, Jakub a Petr SKŘEHOT. *Základy aplikované ergonomie*. Praha: VÚBP, 2009. Bezpečný podnik. ISBN 978-80-86973-58-6.

[14] WEIGLOVÁ, Jiřina, Daniela BOŠOVÁ a Jan KAŇKA. *Stavební fyzika 1*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03392-9.

[15] Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i. *zsbozp.vubp.cz*. [online] 2023 [cit. 2023-1-30]. Dostupné z: https://zsbozp.vubp.cz.

[16] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. *zakonyprolidi.cz*. [online] 2023 [cit. 2023-1-30]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361

[17] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. *zakonyprolidi.cz*. [online] 2018 [cit. 2023-2-6]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272

[18] Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. *zakonyprolidi.cz*. [online] 2015 [cit. 2023-2-8]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-291

[19] Nařízení vlády č. 303/2022 Sb. *zakonyprolidi.cz*. [online] 2022 [cit. 2023-2-8]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2022-303

[20] Interní dokumenty společnosti Continental.

[21] KYNCL, Jiří. *Projektování výrobních procesů* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 2021.

[22] TUČEK, Milan. *Hygiena a epidemiologie*. 2., doplněné vydání. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2018. ISBN 978-80-246-3933-8.

[23] Nařízení vlády č. 68/2010 Sb. *zakonyprolidi.cz*. [online] 2010 [cit. 2023-2-15]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/ 2010-68#cl2

[24] ČSN EN 1005-4. *Bezpečnost strojních zařízení – Fyzická výkonnost člověka – Část 4: Hodnocení pracovních poloh a pohybů ve vztahu ke strojnímu zařízení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 20 s. Třídící znak 83 3503.

[25] MALÝ, Stanislav, Miroslav KRÁL a Eva HANÁKOVÁ. *ABC ergonomie*. Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-027-0.

[26] Vyhláška č. 432/2003 Sb. *zakonyprolidi.cz*. [online] 2015 [cit. 2023-3-26]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-432

[27] Vyhláška č. 79/2013 Sb. *ppropo.mpsv.cz* [online] 2023 [cit. 2023-3-26] Dostupné z: https://ppropo.mpsv.cz/pdf/vyhlaska_79_2013.pdf

[28] STANTON, Neville A. *Handbook of human factors and ergonomics methods*. Boca Raton: CRC Press, 2005. ISBN 0-415-28700-6.

[29] HLÁVKOVÁ, Jana a Alena VALEČKOVÁ. *Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik: metodický materiál Národního referenčního pracoviště pro fyziologii a psychofyziologii práce*. Praha: Státní zdravotní ústav, 2007. ISBN 978-80-7071-289-4.

[30] Nařízení vlády č. 506/2021 Sb. *zakonyprolidi.cz*. [online]. 2023 [cit. 2023-3-27]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-506

[31] BRIDGER, Robert S. *Introduction to Human Factors and Ergonomics, Fourth Edition*. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press, 2018. ISBN 978-1-4987-9594-4.

[32] Low Back Analysis. *Siemens Digital Industries Software* [online]. 2023 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: https://docs.sw.siemens.com/en-US/doc/288782031/PL20220920659396128.tecnomatix_eMS_sc.xid1015765/HumanMenu_Ergonomics_LowBackAnalysis

[33] Společnost Continental. *Continental* [online]. 2023 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: https://www.continental.com/cs-cz/spolecnost/

[34] Historie společnosti Continental. *Continental* [online]. 2023 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: https://www.continental.com/cs-cz/spolecnost/historie/historie/

[35] Struktura společnosti Continental. *Continental* [online]. 2023 [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: https://www.continental.com/cs-cz/spolecnost/struktura-spolecnosti/

[36] 3DEXPERIENCE DELMIA Ergonomics. *Dassault Systèmes* [online]. 2023 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: https://www.3ds.com/products/delmia/ergonomics

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Jednotlivé prvky výrobního systému [4] 3
Obr. 2.2: Rozdělení výrobního procesu [4] 3
Obr. 2.3: Členění výrobního postupu [4] 4
Obr. 2.4: Základní dělení montáže [4] 5
Obr. 2.5: Prostorové uspořádání jednostranné jednosměrné montážní linky [5] 8
Obr. 2.6: Prostorové uspořádání oboustranné jednosměrné montážní linky [5] 8
Obr. 2.7: Prostorové uspořádání oboustranné jednosměrné montážní linky [5] 9
Obr. 2.8: Prostorové uspořádání oboustranné obousměrné montážní linky [5] 9
Obr. 2.9: Prostorové uspořádání montážní linky s čelním postavením pracovišť [5] 9
Obr. 2.10: Prostorové uspořádání montážní linky s bočním postavením pracovišť [5] . 10
Obr. 2.11: Prostorové uspořádání rozvětvené montážní linky [5] 10
Obr. 3.1: Úkoly ergonomie [10] 13
Obr. 3.2: Schéma ergonomického systému člověk – technika – prostředí [8] 14
Obr. 3.3: Prostředí pracoviště a působící faktory [8] 16
Obr. 3.4: Faktory ovlivněné volbou osvětlení [8] 17
Obr. 3.5: Doporučená výška a rozměry pracovní roviny [20] 24
Obr. 3.6: Příklad vhodného umístění sdělovačů [20] 24
Obr. 3.7: Příklad vhodného uspořádání pracoviště [20] 25
Obr. 4.1: Pracovní poloha trupu dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [20] 30
Obr. 4.2: Pracovní poloha hlavy a krku dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [20] 31
Obr. 4.3: Pracovní poloha horních končetin dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [20] 32
Obr. 4.4: Pracovní poloha předloktí dle interních pravidel [20] 32
Obr. 4.5: Pracovní poloha zápěstí dle interních pravidel [20] 33
Obr. 4.6: Checklist pro hodnocení levé horní končetiny metodou RULA [29] 36
Obr. 5.1: Logo společnosti Continental AG [20] 38
Obr. 5.2: Závod Continental v Brandýse nad Labem [20] 40
Obr. 5.3: Schéma dílčích fází procesu ergonomie v závodu Continental 42
Obr. 5.4: Současný proces ergonomie při návrhu nového pracoviště 42
Obr. 5.5: Pracovní rozhraní ergonomického programu BDS 44
Obr. 5.6: Popis pracovní činnosti v BDS z hlediska fyzické ergonomie 45
Obr. 5.7: Příklad ergonomické analýzy v pracoviště v lisovně pomocí BDS 46

Obr. 6.1: Ukázka pracovního prostředí softwaru Process Simulate Human 49
Obr. 6.2: Ergonomické analýzy v modulu Process Simulate Human..... 50
Obr. 6.3: Ukázka pracovního prostředí softwaru DELMIA V6 Human [36]..... 51
Obr. 6.4: Prostředí Rokoko Studio pro záznam Motion Capture dat..... 53
Obr. 6.5: HTC Vive Body Tracking a jeho ukázka ve VR v Process Simulate 54
Obr. 6.6: Schéma navrhovaného průběhu a zařazení simulací ergonomie..... 57
Obr. 6.7: Návrh toku informačního a datového toku uvnitř závodu..... 59
Obr. 7.1: Vizualizace vyhodnocované linky finální montáže..... 62
Obr. 7.2: Layout vyhodnocované linky finální montáže 63
Obr. 7.3: Výška pracovní roviny při zapojování flexi kabelů 64
Obr. 7.4: Pracovní rovina původního vozíku s materiálem 65
Obr. 7.5: Pracovní rovina nově navrženého vozíku s materiálem..... 65
Obr. 7.6: Poloha 1 na stanici 02 – Pracovník percentil 5..... 67
Obr. 7.7: Poloha 1 na stanici 02 – Pracovník percentil 50..... 68
Obr. 7.8: Poloha 2 na stanici 02 – Pracovník percentil 5..... 69
Obr. 7.9: Poloha 2 na stanici 02 – Pracovník percentil 50..... 70
Obr. 7.10: Poloha 1 na stanici 03 – Pracovník percentil 5..... 71
Obr. 7.11: Poloha 1 na stanici 03 – Pracovník percentil 50..... 72
Obr. 7.12: Poloha 2 na stanici 03 – Pracovník percentil 5..... 73
Obr. 7.13: Poloha 2 na stanici 03 – Pracovník percentil 50..... 74
Obr. 7.14: Poloha 2 na stanici 07 – Pracovník percentil 5..... 76
Obr. 7.15: Poloha 2 na stanici 07 – Pracovník percentil 50..... 77
Obr. 7.16: Poloha 3 na stanici 07 – Pracovník percentil 5..... 78
Obr. 7.17: Poloha 3 na stanici 05 – Pracovník percentil 50..... 79
Obr. 7.18: Četnost poloh z hlediska jejich přijatelnosti (stav před úpravou) 80
Obr. 7.19: Četnost poloh dle metodiky RULA (stav před úpravou)..... 81
Obr. 7.20: Nové řešení odebírání kabelů ze zásobníku 81
Obr. 7.21: Poloha 1 na stanici 02, 03 a 07 – Pracovník percentil 5 (po úpravě) 82
Obr. 7.22: Poloha 1 na stanici 02, 03 a 07 – Pracovník percentil 50 (po úpravě) 83
Obr. 7.23: Četnost poloh z hlediska jejich přijatelnosti (stav po úpravě)..... 84
Obr. 7.24: Četnost poloh dle metodiky RULA (stav po úpravě)..... 84
Obr. 7.25: Ukázka pracovní návodky 86
Obr. 7.26: Ganttův diagram vytvořené simulace v Sequence Editoru..... 87

Obr. 7.27: Vyhodnocení pracovních poloh na stanici 07 88
Obr. 7.28: Energetický výdej pracovníka percentilu 50 na stanici 07 89
Obr. 7.29: Průběh zátěže L4/L5 pracovníka na stanici 07 90
Obr. 8.1: Současný proces ergonomie při návrhu nového pracoviště 92

Seznam tabulek

Tab. 3.1: Rozdělení tříd prací s ohledem na intenzitu osvětlení [8] 18
Tab. 3.2: Hodnocení oslnění osvětlení subjektivně a pomocí hodnoty UGR [14] 18
Tab. 3.3: Pásma intenzity hluku a jejich charakteristika [8] 20
Tab. 4.1: Limit energetického výdeje dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [16] 27
Tab. 4.2: Hodnoty lokální svalové zátěže dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 22] . 27
Tab. 4.3: Limit pro počet pohybů dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [16] 28
Tab. 4.4: Limity polohy trupu dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 16] 31
Tab. 4.5: Limity polohy hlavy a krku dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 16] 31
Tab. 4.6: Limity polohy horních končetin dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 16]. 32
Tab. 4.7: Limity polohy předloktí dle interních pravidel [10, 16] 33
Tab. 4.8: Limity polohy zápěstí dle interních pravidel [10, 16] 33
Tab. 4.9: Hmotnostní limity manipulace dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 16] ... 34
Tab. 4.10: Silové limity pro manipulaci dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [10, 16] 34
Tab. 4.11: Vyhodnocení kategorie rizika analýzou RULA [28, 29] 36
Tab. 4.12: Vyhodnocení úrovně zátěže L4/L5 dle metodiky NIOSH [31] 37
Tab. 6.1: Shrnutí výhod a nevýhod softwaru Process Simulate Human 50
Tab. 6.2: Shrnutí výhod a nevýhod softwaru DELMIA V6 Human 52
Tab. 6.3: Shrnutí výhod a nevýhod ergonomického obleku Motion Capture v Unity ... 54
Tab. 6.4: Shrnutí výhod a nevýhod HTC Vive Body Tracking v Process Simulate 55
Tab. 6.5: Zestručněný seznam porovnávaných kritérií navržených řešení 56
Tab. 7.1: Poloha 1 na stanici 02 – Pracovník percentil 5 67
Tab. 7.2: Poloha 1 na stanici 02 – Pracovník percentil 50 68
Tab. 7.3: Poloha 2 na stanici 02 – Pracovník percentil 5 70
Tab. 7.4: Poloha 2 na stanici 02 – Pracovník percentil 50 71
Tab. 7.5: Poloha 1 na stanici 03 – Pracovník percentil 5 72
Tab. 7.6: Poloha 1 na stanici 03 – Pracovník percentil 50 73
Tab. 7.7: Poloha 2 na stanici 03 – Pracovník percentil 5 74
Tab. 7.8: Poloha 2 na stanici 03 – Pracovník percentil 50 75
Tab. 7.9: Poloha 2 na stanici 07 – Pracovník percentil 5 76
Tab. 7.10: Poloha 2 na stanici 07 – Pracovník percentil 50 77
Tab. 7.11: Poloha 3 na stanici 07 – Pracovník percentil 5 78

Tab. 7.12: Poloha 3 na stanici 07 – Pracovník percentil 50..... 79
Tab. 7.13: Poloha 1 na stanici 02, 03 a 07 – Pracovník percentil 5 (po úpravě) 82
Tab. 7.14: Poloha 1 na stanici 02, 03 a 07 – Pracovník percentil 50 (po úpravě) 83
Tab. 7.15: Časová analýza pracovních poloh pracovníka percentilu 50 na stanici 07 ... 89
Tab. 7.16: Porovnání energetického výdeje pracovníka na stanici 07 s platnými limity 90
Tab. 8.1: Srovnání původního a upraveného stavu pracovišť z hlediska ergonomie 93

Seznam použitých zkratek a symbolů

IEA	International Ergonomics Association
ČSN	Česká technická norma
UGR	Unified Glare Rating
RULA	Rapid Upper-Limb Assessment
NIOSH	National Occupation Safety and Health
PLM	Product Lifecycle Management
OWAS	Owako Working posture Assessment System
PS	Process Simulate
VR	Virtuální realita
IE	Industrial Engineering
SA	Smart Automation
MP	Manufacturing Planning
ESH	Environment, Safety and Health
PCB	Printed Circuit Board
MTM	Methods-Time Measurement
TSB	Task Simulation Builder
MoCap	Motion Capture

Použitý software

Microsoft Word

Microsoft Excel

Výstřižky

Autodesk Inventor 2023

Process Simulate Human

Process Simulate Human Advanced

Process Simulate VR Analyze