

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: N0413A050001 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: Specializace Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

Výběr a hodnocení simulačních softwarů pro ergonomii ve výrobním průmyslu

Diplomová práce

Bc. Kateřina ŠKODOVÁ

Vedoucí práce: Ing. Pavel Wicher, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Bc. Kateřina Škodová**

Studijní program: Ekonomika a management

Specializace: Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

Název tématu: **Výběr a hodnocení simulačních softwarů pro ergonomii ve výrobním průmyslu**

Cíl: Cílem práce je provést rešerši a komparativní analýzu softwarových programů pro simulaci ergonomických problémů ve výrobním průmyslu a následně provést simulaci vybraného ergonomického problému v podmínkách společnosti ŠKODA AUTO a.s.

Rámcový obsah:

1. Vypracujte literární rešerši na téma ergonomie ve výrobním průmyslu.
2. Analyzujte trh se simulačními softwary pro ergonomii.
3. Proveďte vícekritériální rozhodování a vyberte nejlepší ergonomický simulační software pro společnost ŠKODA AUTO a.s.
4. Proveďte simulaci vybraného problému v softwaru aktuálně používaném ve ŠKODA AUTO a.s. a v softwaru vybraném ve vícekritériálním rozhodování.
5. Vyhodnoťte rozdíly ergonomických softwarů v jejich výstupech, procesech a dalších parametrech.

Rozsah práce: 55 – 65 stran

Seznam odborné literatury:

1. MALÝ, S. – TILHON, J. – SVOBODOVÁ, L. *Ergonomické stresory pod kontrolou aneb Ergonomie – jak na to*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i., 2016. 252 s. ISBN 978-80-87676-27-1.
2. WILHELMSSEN, C. A. – OSTROM, L. T. – STACK, T. *OCCUPATIONAL ERGONOMICS: A Practical Approach*. Canada: Wiley, 2016. 560 s. ISBN 978-1-118-81421-5.
3. WILLIAMS, C. – SHORROCK, S. *Human Factors and Ergonomics in Practice*. Boca Ratón: CRC Press, 2017. 422 s. ISBN 978-1-4724-3925-3.

Datum zadání diplomové práce: únor 2020

Termín odevzdání diplomové práce: květen 2021

L. S.

Elektronicky schváleno dne 13. 5. 2021

Bc. Kateřina Škodová

Autorka práce

Elektronicky schváleno dne 13. 5. 2021

doc. Ing. Pavel Wicher, Ph.D.

Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 14. 5. 2021

doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.

Garant studijní specializace

Elektronicky schváleno dne 14. 5. 2021

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.

Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Děkuji Ing. Pavel Wicher, Ph.D. za odborné vedení závěrečné práce, poskytování rad a informačních podkladů. Dále bych chtěla poděkovat paní Mgr. Evě Mackové, Ph.D. a Ing. Petru Barešovi, RNDr. Kateřině Zemánkové z oddělení ergonomie ve ŠKODA AUTO a.s. za poskytnuté konzultace. Na závěr bych chtěla poděkovat Ing. Martinu Baumrukovi ze společnosti Siemens za poskytnutí konzultací ohledně Tecnomatix Jack.

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod | 9 |
| 1 ŠKODA AUTO a.s. | 10 |
| 2 Ergonomie | 12 |
| 2.1 Oblasti ergonomie | 12 |
| 2.2 Systém Člověk – Technika – Prostředí | 14 |
| 2.3 Ergonomické prostředí při práci | 16 |
| 2.4 Faktory pracovního prostředí | 23 |
| 2.5 Organizace práce | 25 |
| 2.6 Fyzická zátěž | 26 |
| 2.7 Metody ergonomického hodnocení | 29 |
| 3 Rozhodovací proces | 32 |
| 3.1 Struktura rozhodovacích procesů | 32 |
| 3.2 Prvky rozhodovacího procesu | 32 |
| 3.3 Vícekriteriální rozhodování | 34 |
| 3.4 Metody vícekriteriálního hodnocení | 42 |
| 4 Matematický model | 47 |
| 5 Srovnání vybraných ergonomických softwarů | 49 |
| 5.1 Analýza současného softwaru ve ŠKODA AUTO a.s. | 49 |
| 5.2 Identifikace a formulace rozhodovacího problému | 50 |
| 5.3 Výběr ergonomických softwarů | 50 |
| 5.4 Kritéria | 52 |
| 5.5 Stanovení vah kritérií | 57 |
| Ověření konzistence matice | 59 |
| 5.6 Hodnocení jednotlivých softwarů | 60 |
| 6 Zhodnocení výběru | 65 |

| | |
|--|----|
| 7 Porovnání Tecnomatix Jack a CatiaV5R19 | 67 |
| Závěr | 73 |
| Seznam literatury | 75 |
| Seznam obrázků a tabulek | 78 |

Seznam použitých zkratk a symbolů

| | |
|-----------------|---|
| mld | miliarda |
| IEA | Mezinárodní ergonomická asociace |
| BOZP | Bezpečnost a ochrana zdraví při práci |
| ČSN | Česká státní norma |
| ISO | Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization) |
| cm | centimetr |
| N | Newton |
| cm ² | centimetr čtverečný |
| kg | kilogram |
| % | procento |
| \$ | dolar, měna |
| GmbH | Gesellschaft mit beschränkter Haftung (společnost s ručením omezeným) |
| USA | Spojené státy Americké |
| bit. | Binary digiT (čísllice v dvojkové soustavě) |
| RULA | Rapid Upper Limb Assessment |
| REBA | Rapid Entire Body Assessment |
| 3D | trojrozměrný (svět, který je možné popsat třemi rozměry) |
| CAD | Computer Aided Design (počítačem podporované navrhování) |
| AJ | Anglický jazyk |
| .Jt | Datový formát |
| .lgs | Datový formát |
| .lxf | Datový formát |
| .Stp | Datový formát |

Úvod

Ergonomie je vědní obor, který se zabývá optimalizací potřeb člověka v pracovním prostředí v určitých pracovních podmínkách. Stanovuje vhodné rozměry a tvary nástrojů, rozmístění strojů v pracovním prostředí a určuje optimální dosahové vzdálenosti pracovníka.

Při konstruování komponentů a dílů auta je důležitá spolupráce konstruktérů s ergonomy. Ti ověřují, zda jsou při montáži vhodné pracovní podmínky pro zaměstnance a zda jsou díly, které montují, vhodně navrženy. Pokud díly neodpovídají příslušným ergonomickým a bezpečnostním požadavkům, jsou upraveny tak, aby byla možná montáž bez pracovních úrazů a poškození zdraví.

V oblasti ergonomie existuje několik ergonomických softwarů, které ergonomům pomáhají nasimulovat procesy z pracovního prostředí. Pomocí těchto softwarů je možné zjistit, zda je během pracovního procesu dosaženo vhodných pracovních podmínek.

Hlavním cílem diplomové práce je výběr a hodnocení simulačních softwarů pro ergonomii ve výrobním průmyslu. V první kapitole je popsána vybraná společnost ŠKODA AUTO a.s. V druhé kapitole je teoreticky popsána ergonomie. V třetí kapitole je popsán rozhodovací proces a metody vícekriteriálního rozhodování. Poté ve čtvrté kapitole je popsán matematický model. Softwary a jejich charakteristické vlastnosti a provedené vícekriteriální rozhodování je v páté kapitole. Šestá kapitola pojednává o zhodnocení softwarů popsanych v předešlé kapitole. Výstupem v osmé kapitole diplomové práce je porovnání nejlépe hodnoceného softwaru, který obsahuje minimálně stejné parametry jako současný software ve ŠKODA AUTO a.s. Porovnání je provedeno na příkladu z montáže teplotního čidla.

Tato diplomová práce se zabývá čtyřmi ergonomickými softwary – Catia V5R19, Tecnomatix Jack, Human Solutions a Pro/engineer. Z toho Catia V5R19 je používána ergonomickým oddělením ve ŠKODA AUTO a.s. Jako kritéria pro hodnocení byly zvoleny cena licence, jazyk softwaru, operační systém softwaru, jakou má daný software grafiku, jazyk softwaru, jeho moduly a kompatibilita vybraného softwaru se softwarem, který používají konstruktéři při modelování součástí a dílů automobilu.

1 ŠKODA AUTO a.s.

Historie Společnosti

Když ŠKODA začínala s výrobou, tak mezi prvními produkty nebyly automobily, ale bicykly. V roce 1895 první bicykl zkonstruoval mechanik Václav Laurin a knihkupec Václav Klement. Jako vlastenci ho pojmenovali jako 'Slavia' (ŠKODA AUTO a.s., 2020). Od kol se výroba změnila k motocyklům, které patřily k prvním na světě. Ty vyhrávaly vítězství v závodech a na účtě měly plno rychlostních rekordů. Tyto úspěchy znamenaly jako začátek k rodové linii automobilů, díky kterým patří automobilka mezi nejstarší na světě.

V roce 1925 se firma Laurin & Klement sdružila s plzeňským strojírenským podnikem ŠKODA Plzeň a dosáhla zlomového úspěchu s modelem ŠKODA Popular. Ani během světových válek nebo centrálně plánovaných hospodářství za dob socialismu společnost ŠKODA nikdy neztratila odvahu vyrábět ty nejlepší vozy nejvyšší kvality. V roce 1991 se stala členem skupiny Volkswagen group, což jen upevnilo vášeň vytvářet novou budoucnost postavenou na velmi úspěšné minulosti.

Laurin s Klementem se řídili mottem: „Jen to nejlepší je dostatečně dobré pro naše zákazníky“. ŠKODA AUTO a.s. se tímto mottem řídí dodnes.

Charakteristika společnosti

ŠKODA AUTO a.s. je akciová společnost, která je založena na dlouholeté tradici. Snaží se držet krok s dobou a mít dynamický vzhled a posouvat vývoj a vzhled nových automobilů stále kupředu. Od výroby a prodeje bicyklů se nyní dostala až k výrobě elektro automobilů.

Předmět činnosti, vlastnická struktura společnosti

Hlavní podnikatelskou činností společnosti je vývoj, výroba a prodej silničních motorových vozidel, komponentů originálních dílů a příslušenství ŠKODA, a provádění komplexních servisních služeb. Nyní má za cíl stát se Simply Clever společností a do roku 2025 poskytnout nejlepší řešení v oblasti mobility. Společnost má hlavní sídlo v Mladé Boleslavi, kde patří mezi nejvýznamnější podniky České republiky a zaměstnává přibližně 35 437 osob. V Kvasinách a Vrchlabí jsou umístěny další výrobní závody. (Výroční zpráva ŠKODA AUTO a.s., 2020)

Značka ŠKODA AUTO a.s. je koncernem Volkswagen společně s Volkswagenem, Audi, Bentley, Bugatti, Porsche, Seat, Lamborghini, Scania a Ducati.

ŠKODA AUTO a.s. má jediného akcionáře společnost VOLKSWAGEN FINANCE LUXEMBURG S.A., který sídlí ve Strassenu v Lucembursku. To je zároveň dceřinou společností VOLKSWAGEN AG.

Kromě výrobních závodů v České republice, má ŠKODA AUTO a.s. také výrobní závody v Číně, Rusku, Indii, Slovensku, Ukrajině a Alžírsku.

Organizace struktury společnosti

ŠKODA AUTO a.s. je akciovou společností. Předseda dozorčí rady je od 30. 05. 2018 Dr. Herbert Diess, člen představenstva VOLKSWAGEN AG Předsedou představenstva je od 3. 8. 2020 Dipl.-Ing. Thomas Schäfer (Výroční zpráva ŠKODA AUTO a.s., 2020). ŠKODA AUTO a.s. je jedním nejvýznamnějším ekonomickým subjektem v České republice a svými obraty patří mezi k největším ekonomickým uskupením v rámci Evropské unie.

Dle výroční zprávy tvoří skupinu mateřská společnost ŠKODA AUTO a.s. a její dceřiné společnosti Škoda Auto India Private Limited, Škoda Auto Sverige Ab, Škoda Auto Slovakia, Skoda Auto DigiLab s.r.o., Škoda Auto UK. Škoda Taipei.

Finanční situace

V roce 2020 kvůli pandemii Covid-19 musela ŠKODA AUTO a.s. uzavřít české výrobní závody na 39 dní a i přerušit prodejní sítě. Navzdory této nepříznivé situaci dosáhla společnost pozitivních výsledků a udržela si finanční výkonnost a stabilitu. V roce 2020 bylo prodáno přes 1005 tisíc vozů. Odbyt společnosti meziročně klesl o 17,2 % na 785 tisíc vozů. Tržby klesly o 7,6 %, což činí 424,3 mld. Kč. Prodeje automobilů představovaly 81 % tržeb. Nejprodávanejší modelové řady byly ŠKODA OCTAVIA a ŠKODA CAROQ. Prodej komponentů a rozložených vozů tvořil 10,6 % celkových tržeb. Originální díly a příslušenství tvořily 5 % tržeb. Zbylých 3,4 % představovaly tržby za prodeje licencí a prodeje služeb. Hrubá zisková marže v roce 2020 byla 10,2 %. Odbytové náklady činily 12,3 mld. Kč a správní náklady činily 12,6 mld. Kč. Provozní výsledek hospodaření dosáhl 17,3 mld. Kč. V roce 2020 byl peněžní tok z provozní činnosti 36,8 mld. Kč, což oproti předchozímu roku představovalo pokles o 44,3 %. K 31. 12. 2020 činila bilanční suma společnosti 227,9 mld. Kč. (Výroční zpráva ŠKODA AUTO a.s., 2020)

2 Ergonomie

Existuje velké množství definic ergonomie. Znalci se zatím na žádné z nich neshodli, avšak základní idea všech definic je stejná. Jde o adaptaci pracovního úkolu schopnostem a možnostem pracovníka v podmínkách, co nejlepších pro jeho výkonnost, bezpečnost a zdraví.

Ergonomie je vědecká disciplína založena na porozumění interakcí člověka a dalších složek systému. Definice podle mezinárodní ergonomické asociace formuluje ergonomii jako: „Aplikací vhodných metod, teorie i dat zlepšuje lidské zdraví, pohodu i výkonnost. Přispívá k řešení designu a hodnocení práce, úkolů, produktů, prostředí a systémů, aby byly kompatibilní s potřebami, schopnostmi a výkonnostním omezením lidí. Ergonomie je systémově orientovaná disciplína, která prakticky pokrývá všechny aspekty lidské činnosti. V rámci holistického přístupu zahrnuje faktory fyzické, kognitivní, sociální, organizační, prostředí a další relevantní faktory.“(Mezinárodní ergonomická asociace, 2000)

2.1 Oblasti ergonomie

Podle EIA se mohou oblasti ergonomie dělit na základní a speciální oblasti ergonomie. Do základních oblastí ergonomie podle IEA patří (Gilbertová, Matoušek, 2002):

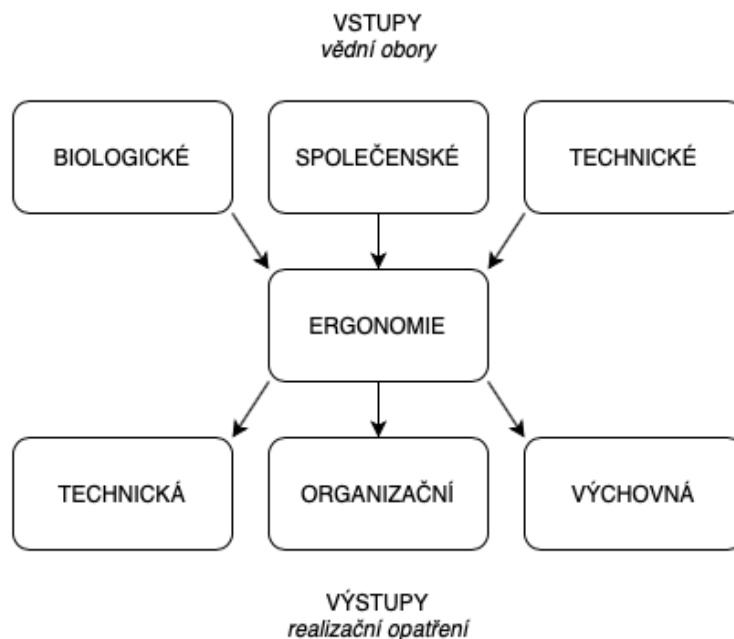
1. **Fyzická ergonomie** – Zabývá se vlivem pracovních podmínek a pracovního prostředí na lidské zdraví. Využívá se při projektování a konstrukci strojních zařízení. Zde se uplatňují poznatky anatomie, antropometrie, fyziologie a biomechaniky. Zařazuje se zde problematika pracovních poloh, manipulace s břemeny, úpravou pracovního místa.
2. **Kognitivní ergonomie** – Též také jako psychická ergonomie. Orientuje se na psychologické aspekty pracovní činnosti. Zařazuje se zde psychická zátěž, procesy rozhodování.
3. **Organizační ergonomie** – Podílí se na optimalizaci sociálně – technických systémů. Podílí se na organizačním uspořádání, strategiích a postupech. Zařazuje se zde systém komunikace, zajištění pocitu komfortu a týmová práce.

Do speciálních oblastí ergonomie v rámci základního členění se zahrnuje (Gilbertová, Matoušek, 2002):

1. **Myoskeletární ergonomie** – Jejím cílem je zabránit profesionálně podmíněným onemocněním pohybového aparátu. Hlavně onemocnění páteře a horních končetin namáhaných z opakované zátěže. Riziko jejich vzniku se zvyšuje ergonomickou expozicí (nadměrným namáháním sil, nevhodně uspořádané pracovní prostředí).
2. **Psychosolární ergonomie** – Zaobírá se psychosociálními požadavky na pracovníka při jeho vykonávání pracovní činnosti, když na něj působení stres a stresové faktory. Podílí se na výběru vhodného pracovníka na odpovídající pracovní pozici. Souvisí s myoskeletární ergonomií, protože stres a další psychosomatické a sociální faktory, ovlivňují výskyt psychosomatických a myoskeletárních onemocnění.
3. **Participační ergonomie** – Pracovníci mohou posoudit rizikové faktory včetně jejich etiologie. Podílí se na navrhování a realizaci změn v uspořádání jejich pracovišť. To zvyšuje pracovní výkon a odbourává únavu.
4. **Rehabilitační ergonomie** – Podstatou je příprava pracoviště pro handicapované osoby. Jsou zde prováděny konstrukční úpravy a technická úpravy pracovního místa, nástrojů a strojů. Tak, aby byla v souladu s výkonovou kapacitou handicapované osoby a s daným tělesným a psychickým stavem.

Ergonomická východiska je možné využít různými způsoby. Jednou z nich je metoda koncepční, kdy se ergonomická kritéria zahrnují již od začátku vzniku výrobku nebo pracoviště. Další metoda je korekční metoda, kde se některé nedostatky odstraňují až následně. Ty by mohly mít vliv na pracovníka a způsobovat pokles jeho výkonnosti a kvality výroby. Obě tyto metody se velice často kombinují s participační ergonomií.

Smyslem ergonomie je zkoumání vzájemných souvislostí a účinků v pracovních systémech. Tyto znalosti se poté uplatňují při budování pracovišť a při organizování práce. K tomu slouží různá realizační opatření (viz Obr.1). (Chundela, 2013)



Zdroj: (Chundela, 2013)

Obr. 1 Základna ergonomie

Jak je řečeno v úvodu, ergonomie souvisí s BOZP, ale individualizuje ji. Cílem ergonomie je vytvořit efektivní pracovní místa a pomoci předejít zdravotním problémům nebo úrazům souvisejícím s prací. Právě tento cíl ergonomie naplňuje úpravou pracovního místa a tím i způsob, jakým je práce vykonávána. Tím umožňuje maximálně využít schopností, znalostí, dovedností a potenciálu pracovníka. To poté zefektivňuje požadovaný výstup. Aby to bylo možné naplnit, musí být z pracoviště odstraněny všechny zatěžující vlivy.

Mimo jiné ergonomie se snaží odstranit úrazy vznikající z opakovaného zatížení, tím, že se zaměřuje na pracovní podmínky (práce s extrémními pohyby v kloubech), na organizaci práce (s důrazem na odpočinek), také na individuální rizikové faktory, psychologické a sociální faktory. (Malý, Svobodová, Tilhon, 2016)

2.2 Systém Člověk – Technika – Prostředí

Systém je obecně definován jako kombinace několika skupin, které jsou spolu účelově propojeny a mezi nimiž je vazba, aby z daných vstupů bylo dosaženo plánovaných výstupů v rámci vymezených podmínek daného prostředí. (Glivický, 1975)

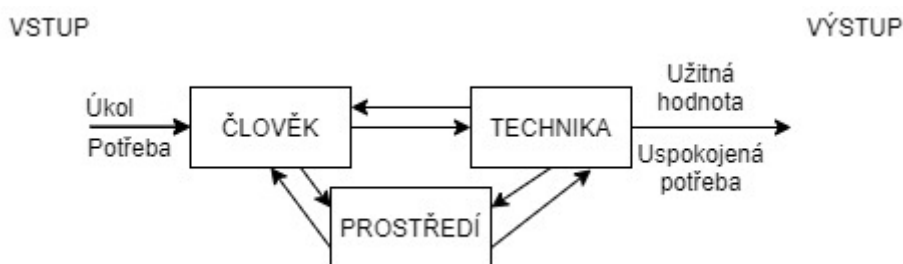
System Č-T-P je složitý, otevřený, dynamický systém, jehož primárními složkami jsou člověk, technické zařízení a prostředí. Dynamika se projevuje změnou složení jednotlivých prvků, jejich slučováním a zanikáním vazeb. Jedná se tedy o lidskou dynamiku, strojní dynamiku a dynamiku prostředí. Mezi nejdůležitější vlastnosti systému patří stabilita a jeho spolehlivost.

Spolehlivost je charakterizována jako pravděpodobnost bezporuchového chodu systému. Pro systém Č-T-P (viz rovnice 1).

$$P_S = P_{\check{c}} * P_T * P_P, \quad (1)$$

Kde P_S je pravděpodobnost bezporuchovosti (spolehlivost systému), $P_{\check{c}}$ spolehlivost člověka, P_T spolehlivost techniky a P_P spolehlivost prostředí (Chundela, 2013).

Nejvýznamnější spojení systému Č-T-P s okolím nazýváme jako vstupy a výstupy. Mezi vstupy se řadí mzda, materiál, energie, informace a mezi výstupy efektivita, zisk, chyby, Ostatní vazby se označují jako vlivy (viz Obr. 2).



Zdroj: (Chundela, 2013)

Obr. 2 Systém Člověk – Technika – Prostředí

Na odlišnosti od většiny systémů není v tomto systému člověk chápán jako uživatel, ale je složkou samotného systému, a to jako důležitý člen, který působí na výsledek celého systému.

K vylepšení systému Č-T-P je možné přistupovat dvěma způsoby (Glivický, 1975):

- 1) Pracovní systém se adaptuje schopnostem a výkonosti daného pracovníka.
- 2) Analyzuje se nejslabší článek (pracovník) pomocí systémového metodického postupu, který ovlivňuje zvyšování výkonnosti celého systému.

Druhý systém hlouběji indentifikuje studovaný systém, souhrně rozebírá jeho části, vlastnosti, interakce a cílové chování. Zařazuje ergonomické cíle do širších vztahů.

Pomocí ergonomického zkoumání uspořádává činnosti člověka a jeho spojení s technikou a prostředím. Jeho cílem je zdokonalit psychofyzickou zátěž a zajistit vývoj osobnosti.

Dělení ergonomické analýzy (Glivický, 1975):

- 1) Analýza pracovní činnosti – nároky na smyslové fungování, na psychické děje a nervovou regulaci, dále také na pohybový aparát.
- 2) Analýza pracoviště – prvky, které zvětšují zdravotní ohrožení.
- 3) Analýza pracovního prostředí – chemické škodliviny, hluk.

Podle výsledků ergonomické analýzy se doporučují, akceptují a sledují technická a organizační opatření, jejich efektivita, popřípadě nahrazení neřešených nebo omezení neřešitelných opatření. Legislativní předpisy a normy omezují nejzávažnější působení na bezpečnost a zdraví člověka (maximální pracovní doba, přestávky).

2.3 Ergonomické prostředí při práci

Pro správně nastavený ergonomický prostor je potřeba při rozměrovém projektování brát v úvahu obor somatografie. Somatografii lze definovat jako: „Somatografie je technickou disciplínou, která studuje a analyzuje pracovní polohy a pohyby proporčními vztahy lidského těla metodami grafického znázorňování lidské postavy v technické nebo jiné dokumentaci především konstruováním technických obrazů lidského těla za použití všech norem a zvyklostí technického kreslení a pravidel deskriptivní geometrie, při současném zachování anatomických principů a za současného používání výsledků antropometrických šetření. Somatografie čerpá poznatky z anatomie lidského těla, antropometrie a kineziologie. Stává se základnou pro vědecké studium, analýzu a určování požadavků a funkcí pracujícího člověka vzhledem k pracovišti a výrobnímu zařízení“. (Malý, Král, Hanáková, 2010)

Somatografie je složeninou z řeckého slova soma, což znamená tělo a grafein znamená psát. Pracuje se třemi velikostmi lidského těla – malé, střední a velké. Ty stanovují limity v rozměrech při tvorbě pracoviště.

Důležité aspekty pro pracoviště (Malý, Král, Hanáková, 2010):

- Druh pracovní činnosti vykonávané na pracovišti (fyzická, duševní nebo jejich kombinace)
- Zařízenost pracoviště (stroje, nástroje, nářadí, manipulační a dopravní prostředky).
- Pohyblivost pracovního místa (zda je pohyblivé, nepohyblivé nebo kombinace obou pracovišť).
- Dobré uspořádání práce na daném pracovišti.
- Závislost pracovníka na pracovišti (vazba funkční, prostorová nebo kombinace obou vazeb).
- Pozice při práci (sed, stoj, kombinace, zvláštní pracovní plocha – na zádech, na břiše, v předklonu atd.)

Základním aspektem pro hodnocení a tvorbu nových pracovních míst je samotný člověk s jeho psychickými a fyzickými možnostmi a dovednostmi. Při projektování pracoviště je potřeba posoudit všechny vlivy, které mají vliv na tvorbu pracovního místa, využít znalosti z jejich analýzy a rozebrat sekundární faktory, které by mohly ovlivňovat pracoviště (Wilhelmsen, Ostrom, Stack, 2016). Ne vždy tyto sekundární musí dané pracoviště ohrožovat.

V rozměrovém řešení pracoviště by mělo být zahrnuto (Wilhelmsen, Ostrom, Stack, 2016):

- antropometrické údaje,
- pracovní poloha,
- pohybový prostor,
- zorné podmínky,
- speciální podmínky.

Antropometrické údaje

Pro ruční pracoviště je důležitým faktorem lidské tělo. Proto by se při návrhu pracoviště mělo vycházet z antropometrických údajů, což jsou tělesné rozměry a informace o populaci. (Taylor, Easter, Hegney, 2004)

Problémem je velká proměnlivost, jako je pohlaví, věk, stavba těla, zdravotní stav, kondice, rasa. To je důležité při výběru stroje, protože průměrné hodnoty tělesných

rozměrů se liší u žen a u mužů. Konstruktoři navrhují pracovní místa podle průměrné postavy člověka, plus mínus dvě směrodatné odchylky. Do tohoto intervalu spadá 99 % lidí daného pohlaví. Toto pracovní místo poté vyhovuje ženám i mužům, většího i menšího vzrůstu. Správně řešené místo má dvě vlastnosti. V rozměrovém projektování nesmí být zahrnuty pouze průměrné hodnoty pracovníků, ale právě jeden prvek na pracovním místě musí být měnitelný.

Antropometrické veličiny jsou statistické, a proto se vyjadřují pomocí percentilů. Percentil sledovaných znaků nabývá takových hodnot, kdy nepřekročí udanou pravděpodobnost. Nejčastěji se používá 5., 50., a 95. percentil (viz Tab. 1). (Malý, Svobodová, Tilhon, 2016)

Tab. 1 Antropometrické údaje - tělesná výška

| | 5. percentil | 50. percentil | 95. percentil |
|------|-----------------|--------------------|------------------|
| MUŽ | 163,3 cm (malý) | 174,1 cm (střední) | 184,7 cm (velký) |
| ŽENA | 149,7 cm (malá) | 159,1 cm (střední) | 169 cm (velká) |

Zdroj: (Malý, Svobodová, Tilhon, 2016)

Antropometrické informace pomáhají k určení prostorových požadavků (výška pracovní desky, velikost prostoru pro nohy), k určení funkčních rozměrů lidského těla pro určení ideálních trajektorií pohybů končetin a jejich dosahových možností při rozmístění nástrojů a ovladačů (Williams, Shorrock, 2017).

Základní rozměry lidského těla pro technologické projektování uvádí ČSN EN ISO 7250-1 (833506), antropometrické požadavky na uspořádání pracovního místa u strojních zařízení ČSN EN ISO 14738 (833505) a aktuální antropometrické údaje jsou obsaženy v novém vydání ČSN EN 547-4 + A1 (833502).

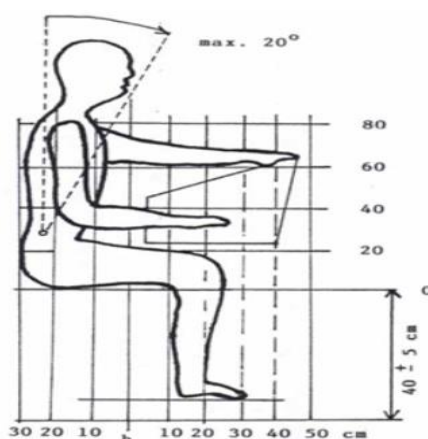
Pracovní místa se liší podle typu práce jednotlivých pracovníků. Jednotlivé polohy a pracovní místa vyžadují různé typy pracovišť. Čím je pracovní prostor lépe přizpůsoben předpokládané pozici, tím vyšší je i produktivita odvedené práce. Při tvorbě pracovního místa se musí brát ohled nejen na pracovníka, ale i na ekonomickou stránku (Wilhelmsen, Ostrom, Stack, 2016). Ta je důležitá při tvorbě modernizace nebo při koupi nového zařízení, kdy je potřeba vynaložit peněžní prostředky.

Dále je nezbytné, aby pracovníci byli řádně seznámeni s obsluhou stávajících nebo nových zařízení. Zpětná vazba je také důležitá, kdy zaměstnavatel znal názor zaměstnance, který s danými zařízeními pracuje. Kromě samotných zařízení se musí klást důraz i na prostředí, ve kterém zaměstnanec pracuje.

Polohy při práci

Základní polohy při práci jsou vsedě, vstoje, přecházení a střídání těchto pozic. Fyziologicky nejlepší pracovní poloha je poloha vsedě. Trup je přibližně ve svislé pozici, ideálně opřený o opěradlo sedadla, lokty vedle těla, předloktí v horizontální rovině nebo mírně skloněné dolů. Při práci vstoje by měla být váha rozložena stejnoměrně na obě chodidla. Nejlépe by se měla střídát pracovní pozice vsedě a vstoje. (Wilhelmsen, Ostrom, Stack, 2016)

Sed je výhodnější kvůli malé energetické namáhavosti, jsou možné mírnější a přesnější pohyby, nohy jsou odlehčeny, popřípadě jsou použity k nožnímu ovládní. Vsedě se pracovník více soustředí. Nevýhodou sedavé polohy je omezení pracovního prostoru, omezení silového působení a setrvání delší dobu v neměnné poloze. Podle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Aktuální znění 24. 11. 2020 – 17. 1. 2023 (verze 9) stanovuje dosahy horních končetin ve svislé rovině při práci, vsedě i vstoje a dosahy horních končetin ve svislé rovině vstoje. Doporučená výška sedadla je 35-45 cm. Maximální sklopení hlavy je 20°. Optimální práce rukou je kolem výšky 40 cm nad úroveň sedadla, maximální je pod 80 cm (viz Obr. 3).



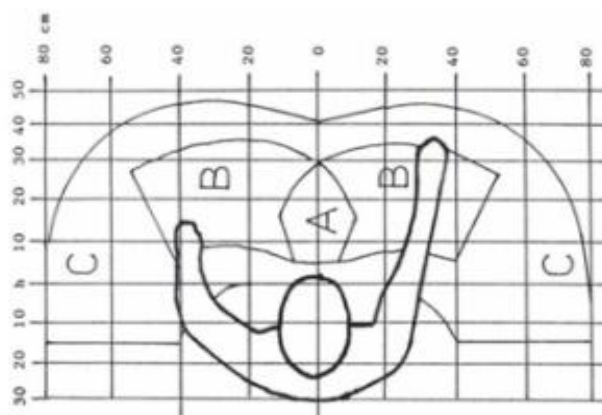
Zdroj: (ZSBOZP)

Obr. 3 Dosahy rukou při práci vsedě – svislá rovina

Maximální možné působení horních končetin ve svislé rovině při práci vsedě i vstoje (viz Obr. 4). Jsou tři místa, ve kterých je pracovním může vykonávat práci rukou (viz Tab. 2). Při práci rukou v oblasti A je pro pracovníka nejpohodlnější. Dělá zde nejpřesnější a nejrychlejší úkony. Pohyby do stran jsou znázorněny oblastí B. Ty jsou pomalejší než v oblasti A, ale stále jsou pro tělo přijatelné. Méně časté pohyby se nacházejí v oblasti C. Tyto pohyby jsou nepřesné, a to hlavně kvůli nutnému otočení trupu a pomalé rychlosti.

Tab. 2 Oblasti působení rukou vsedě, vstoje – svislá rovina

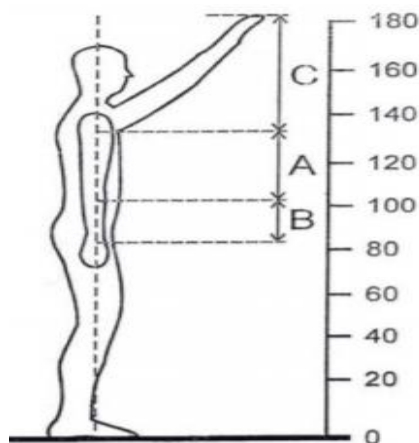
| Oblast | Dosah | Dosah a popis pohybu |
|--------|-----------|---|
| A | Optimální | Časté a velmi přesné pohyby. |
| B | Normální | Mírné předklánění a pohyb do stran. |
| C | Maximální | Méně časté pohyby, nutnost otáčení trupu. |



Zdroj: (ZSBOZP)

Obr. 4 Dosahy rukou při práci vsedě i vstoje – svislá poloha

Dosahy horních končetin ve svislé rovině vstoje (viz Obr. 5). Při práci rukou v oblasti A představuje pro pracovníka optimální dosah. Oblast B představuje také přijatelný dosah rukou při práci. Oblast C představuje nepříjemnou oblast pro časté pohyby. Pracovník pocítí únavu horních končetin právě v této oblasti.



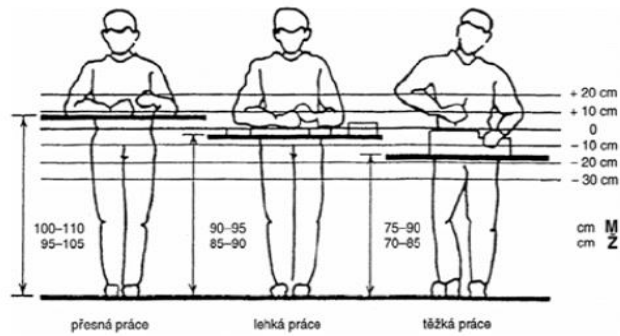
Zdroj: (ZSBOZP)

Obr. 5 Dosahy rukou vstoje – svislá rovina

Pohybový prostor

Pohybový prostor, ve kterém vykonává pracovník činnost, může být manipulační nebo pedipulační.

Manipulační prostor je charakterizován manipulační rovinou, což je rovina proložená místem, ke kterému je možné přiřadit nejčastěji vykonávané ruční pohyby. Manipulační rovina může být u většiny činností také definována jako svislá vzdálenost od podlahy. Pracovní prostor a manipulační rovina je stanovena podle rozměrů pracovníka, rozměrů předmětu práce, potřebné síle k práci, zrakové kontrole. Výška manipulační roviny je důležitá pro správnou pracovní polohu. Ta nemusí být přímo stejná jako výška pracovního stolu. Výška manipulační roviny u žen v sedě je 65 cm, vstoje 95 cm. U mužů je manipulační rovina v sedě ve výšce 70 cm a vstoje 95 cm (viz Obr. 6). (Wilhelmsen, Ostrom, Stack, 2016)



Zdroj: (ZSBOZP)

Obr. 6 Mezní hodnoty výšky manipulační roviny (rozměry jsou v milimetrech)

Podle ergonomických kritérií se pohyby rukou dělí na pohyby (Chundela, 2013):

- optimální – na dosah předloktí,
- normální – na dosah středu dlaní natažené paže,
- funkční – na dosah konce prstů natažené paže,
- maximální – na dosah prstů s mírným náklonem.

Pedipulační prostor je pohybový prostor pro nohy a nožní ovladače. Je určen nejmenší výškou nad podlahou do 60 cm, nejmenší celkovou šířkou 50 cm, nejmenší hloubkou od hrany pracovního stolu 50 cm a optimální hloubkou 70 cm. (Chundela, 2013)

Zorné podmínky

Výchozími zornými podmínkami jsou zorná vzdálenost, osa pohledu a zorné pole.

Zorná vzdálenost je vzdálenost mezi pozorovaným objektem a okem. Zorná vzdálenost při práci na montážní lince je 35–50 cm, u prací, kde není zapotřební rozeznávat detaily je zorná vzdálenost 50 cm (Chundela, 2013). Pokud jsou vyšší zrakové nároky, musí se zvyšovat manipulační rovina.

Osa pohledu určuje úhel mezi krční páteří a osou vedenou okem, je správně v sedu 35° a vstoje 25° (Chundela, 2013). Pozorovaný předmět by se neměl nacházet tak, aby byl kolmo na osu pohledu, aby zůstala správná poloha hlavy.

Zorné pole je místo, které je možné pozorovat bez pohnutí oka. Ergonomicky lze zorné pole charakterizovat jako oblast, ve které lze zrakově vykonávat obtížnou práci. Optimální zorné pole odpovídá 20°, normální 60°, funkční 120° a maximální 220° (Chundela, 2013).

2.4 Faktory pracovního prostředí

Mezi faktory, které ovlivňující pracovní prostředí patří ovladače, sdělovače přenosu informací stroje, vybavenost pracovního místa, osvětlení, hluk, organizace práce.

Ovladače a sdělovače

Ovladače poskytují komunikaci mezi člověkem a strojem. Jsou nezbytnou součástí pracoviště, které slouží k ovládání funkcí stroje nebo k regulaci řízených veličin jako jsou otáčky, rychlost nebo teplota. Volba konstrukce a uspořádání ovladačů musí zabezpečit jejich spolehlivé a bezpečné ovládání. Podle ovládací končetiny se ovladače rozdělují na ovladače ruční (přepínače, páky) a nožní (pedály, tlačítka). Jiné ovladače než ruční a nožní se na pracovištích nedoporučují. (Chundela, 2013)

Z ergonomického hlediska je důležitá frekvence užívání ovladače. Podle frekvence právě ovladače dělíme na trvale používané (interval mezi dvěma použitími je kratší než 12 sec.), velmi často používané (interval 12 do 60 sec.) a zřídka používané (několikrát za pracovní směnu) (Chundela, 2013).

Sdělovače poskytují informace, jak zrakové, tak i sluchové nebo hmatové. Informace mohou mít kvalitativní charakter ve formě nápisů nebo schémat. Dále mohou mít i kvantitativní charakter, do kterých patří teploměr, otáčkoměr. Sdělovače musí poskytovat informace ve správnou dobu, jasně formulované informace pro snadné pochopení. Sdělovače musí být umístěny do zorného pole pracovníka. Neměly by používat zbytečně více informací než je potřeba. Mohla by se tím zhoršit pozornost pracovníka.

Pracovní prostředí

Ergonomické uspořádání pracovního prostoru vychází především z fyziologických potřeb člověka (antropometrické rozměry a pracovní poloha). Dále je třeba důležité znalosti technologické úrovně pracovního prostředku (stupeň automatizace), vlastnosti pracovního předmětu (velikost, fyzikální a chemické vlastnosti) a způsob uspořádání pracovních úkonů (posloupnost stanovišť, způsob mezioperačního transportu). (Chundela, 2013)

Ergonomické parametry sedadla jsou velmi důležité z hlediska ochrany zdraví a vychází z antropometrických rozměrů. Rozdílné tělesné rozměry jednotlivých pracovníků musejí být řešeny stavitelnými prvky sedadla, jako je sedák, opěrka zad

a područky. Sedadlo musí mít stabilní konstrukci a kvalitní provedení. Nepatřičné provedení pracovních sedadel může vést k rychlejší nastupující únavě, bolesti dolních končetin a zad. (Malý, Král, Hanáková, 2010)

Při uspořádání pracovního prostoru musí být dodržena zásada, že pracovník by měl vidět aspoň na jednoho dalšího pracovníka, přičemž sám musí být na viditelném místě. Důvodem je za první bezpečnost jednotlivých pracovníků, ale také odstranění psychosociální izolace.

Osvětlení

Kvalitní osvětlení je důležité z hlediska výkonosti pracovníka. Může být přirozené, umělé nebo kombinací umělého a přirozeného světla. Intenzita daného světla se nastavuje podle práce a její náročnosti. Důležitý je i směr osvětlení. Pokud je pracovník pravák, nejlepší je pro něho osvětlení, které je umístěné nad ním nebo mírně nalevo. Tak nebudou vznikat stíny. Rovnoměrnost osvětlení je závislá na typu a počtu svítidel, jejich umístění a druhu osvětlení.

Hluk

Hluk je dráždivým elementem na pracovišti. Může narušit pohodu pracovníka a zhoršit jeho výkon, kvůli kterému klesne produktivita a jakost práce. Hluk může být rozdělen do tří kategorií (Chundela, 2013):

- obtěžující hluk – pouze oslabí pohodu pracovníka,
- rušivý hluk – pracovník se kvůli hluku nemůže soustředit na danou činnost,
- škodlivý hluk – ohrožuje lidské zdraví.

Bezpečnost člověka při práci

Při posuzování systému, je třeba si uvědomit, že systém je tak silný, jak silný je jeho nejslabší člen. To samé platí i u systému Č-T-P, kde nejslabším článkem je člověk. Proto je jeho ochraně třeba věnovat největší pozornost, a to v těchto oblastech (Chundela, 2013):

- 1) Ochrana zdraví pracovníka – musí se upravit ty podmínky práce, které by mohly narušit zdraví člověka. Mohou vznikat akutně (pracovní úraz) nebo při dlouhodobém působení (nemoc z povolání).
- 2) Rozvoj pracovníka – Musí se upravit vše, co by mohlo zpomalit vývoj jeho schopností.

Podle legislativy jsou stanoveny čtyři kategorie práce (Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., 2007, vyhláška č. 432/2003 Sb., 2203-2009) :

- 1) Není očekávaný vliv na zdraví,
- 2) Možný nepříznivý vliv na zdraví,
- 3) Hygienické limity jsou překročeny na dané úrovni,
- 4) Velmi velké riziko ohrožení zdraví.

Účelem kategorizace práce je získat objektivní a srovnatelné podklady určení rizikových prací a pracovního místa. Pro optimalizaci pracovních podmínek a určení naléhavosti problému.

Nefyziologické pracovní polohy jsou takové, při kterých se pohybový aparát může poškodit. Patří zde hluboký předklon, záklon, úklon nebo rotace trupu a hlavy, vzpažení horních končetin do úrovně vyšší, než je poloha hlavy. Dále polohy vkleče, vleže, v dřepu. Stanovené meze je dělí na fyziologicky přijatelné a fyziologicky nepřijatelné. Tyto polohy by měly být z pracovního cyklu vyloučeny, popřípadě povolit jen krátkodobě nebo je úplně vyloučit. Limitem je délka pracovní doby v minutách, kdy celková doba práce nesmí přesáhnout polovinu osmihodinové pracovní doby. Opatřením je náhrada fyziologicky přijatelné polohy nebo zavedení bezpečnostních přestávek. (Williams, Shorrock, 2017)

2.5 Organizace práce

Vstoje se mohou lépe střídat polohy, končetiny mají větší rozsah a je možno použít větší sílu při práci. Pracovník je více bdělý než vsedě. Dále je poloha vstoje dobrá, když pracovník střídá pracoviště a přemísťuje se mezi nimi. Nevýhodou práce vstoje je zatížení svalů dolních končetin a bolesti zad jako následek dlouhotrvajícího statického stání.

Pracovní pohyby

Umístění jednotlivých prvků a jejich vzájemné vazby by měly dovolovat ekonomické vykonávání pracovního pohybu. Existuje pět ekonomických zásad pohybu. Říkají, že pohyb by měl být symetrický, přirozený, rytmický, současný a nacvičený (Malý, Svobodová, Tilhon, 2016). Nejkratší a nejrychlejší pohyb však nemusí být ekonomický z úhlu ochrany zdraví. Tyto pohyby nemusí svalům poskytovat dostatek regenerace

Dále se musí brát v úvahu vztahy mezi přesností, rychlostí a silou vykonávaného pohybu. Rychlost pohybu je v nepřímé závislosti na přesnosti pohybu. Při růstu síly klesá přesnost a rychlost. Při požadavku na přesnost a rychlost by měla být garantována jednoduchá koordinace, beze změny orientace a bez přidané zátěže. (Kroemer, Kroemer, Kroemer - Elbert, 2001) Při nároku na větší přesnost se poté přidává podmínka pohybů s malými svalovými skupinami, v optimálním manipulačním prostoru a při optimální zrakové kontrole.

Prostorové požadavky pracovní plochy

Pracoviště, na kterých je trvalý postoj nebo trvalá chůze by měli být vybaveny ergonomickými rohožemi a pracovníci by měli mít vhodnou pracovní obuv, která umožňuje pružnou chůzi.

Pokud se na pracovišti nacházejí schody nebo stupně, jejich výška by měla být maximálně 17 cm a hloubka mezi 26 a 32 cm (Wilhelmsen, Ostrom, Stack, 2016)

. Při dvou a více stupních je nutné pracovní místo vybavit držadlem nebo zábradlím.

Pro pracovní plochu platí pravidlo, že šíře volné plochy pro pohyb nebo průchod nesmí být v žádném místě zúžen pod jeden metr. Umístění strojního zařízení a nástrojů by mělo být nejméně 0,6 metru od nepohyblivých překážek. Minimální podlahová plocha pro jednoho pracovníka odpovídá 2 m² při přirozeném větrání a 5 m² v klimatizovaném prostředí. (Malý, Svobodová, Tilhon, 2016)

2.6 Fyzická zátěž

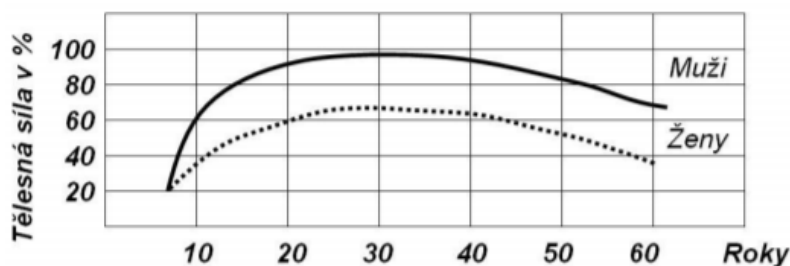
Předpisy vymezují hranice pro svalovou zátěž, kvantifikované prostřednictvím energetického výdaje nebo průměrné srdeční frekvence. Dále jsou dány meze pro vynaloženou pracovní sílu, která se udává v procentech z hraniční maximální síly v newtonech a frekvence pohybů vykonávaných malými svalovými skupinami ruky a prstů (Matoušek, 2006). Poslední oblastí je ruční zacházení s břemeny, kde jsou maximální přípustné hodnoty stanoveny maximální manipulovatelnou hmotností a kumulativní hmotností břemen za pracovní dobu v kilogramech.

V souvislosti s pracovní polohou je potřebné zahrnout riziko ohrožení zdraví. Mohou vzniknout případy, kdy malá, ale vyhovující fyzická zátěž při nevhodné pracovní poloze může způsobit větší poškození zdraví pracovníka než velká zátěž, která je nepřijatelná při optimální pracovní poloze. Proto je důležité při posuzování

ergonomických rizik mít znalosti ze všech souvisejících oblastí. (Williams, Shorrock, 2017)

Svalová síla

Svalová síla záleží na věku a pohlaví. Nevětší hodnoty svalové síly jsou ve věku okolo 30 let. Ženy nenabývají takové síly jak muži a dosahují jen 60-70% mužské síly. Svalovou sílu je možné zlepšit výcvikem (viz Obr. 7).



Zdroj: (Dlabáč, 2017)

Obr. 7 Svalová síla v závislosti na pohlaví a věku

Svalová práce se rozděluje na práci statickou a dynamickou.

Při statické svalové práci dochází k dlouhodobému smršťování některé svalové skupiny (Malý, Svobodová, Tilhon, 2016). Například při držení zátěže déle než 6 sekund, při uskutečnění trvalého tlaku při semknutí ovladače. Dochází tak ke stlačení cév a překazí toku krve do svalů. Tím právě dochází k popuzování nervových cest a pocitům únavy, popřípadě až bolesti. Statická svalová činnost by měla být technickým uspořádáním zcela zrušena nebo snížena na minimum ve spojení s bezpečnostními přestávkami.

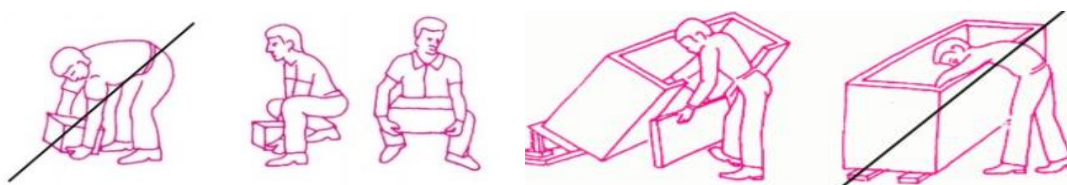
Při dynamické svalové činnosti sem v různých intervalech střídá stahování a uvolňování různých svalových skupin (Malý, Svobodová, Tilhon, 2016). To zamezuje vzniku únavy a dovoluje dlouhodobější fyzickou zátěž bez negativních následků na ohrožení zdraví. Zorganizováním pracovních činností by tedy mělo dovolovat dostatečnou variabilitu pohybů končetin a trupu.

Ruční manipulace s břemeny

I když většina činností je již automatizována nebo poloautomatizována, tak stále určitá část úkonů vyžaduje fyzickou námahu. Jde hlavně o manipulace s břemeny, kterými mohou být obrobky, přepravky, jež musí zaměstnanec zvedat, přesunovat,

přenášet nebo ukládat. Dlouhotrvající práce s břemeny, při které jsou přesáhnuty hranice fyzické výkonnosti a nejsou splněny správné postupy, má dopad na poruchu pohyblivého aparátu člověka. (Malý, Svobodová, Tilhon, 2016)

Z ergonomického stanoviska se při práci s břemeny zohledňuje pohlaví, věk zaměstnance, pracovní poloha, váha břemene (viz Tab. 3) a vzdálenost od těžiště těla – moment síly. Zohledňuje se úchopové možnosti podle tvaru břemene, vlastnosti břemene, trasa a frekvence pohybů s břemeny, vzdálenost manipulace a povrch terénu (viz Obr. 8). Doporučené tlačné síly jsou uvedeny (viz Tab. 4).



Zdroj: (Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2016)

Obr. 8 Moment síly

Tab. 3 Přípustné hmotnostní limity ručně manipulovaných břemen

| Jednorázová manipulace | | | |
|-------------------------------|--|--------------------------------------|-------|
| | občasná manipulace (<30 min/ směna) | častá manipulace (>30 min/ směna) | vsedě |
| ženy | 20 kg obouručně | 15 kg obouručně | 3 kg |
| muži | 50 kg obouručně | 30 kg obouručně | 5 kg |
| Kumulativní limity | | | |
| | 8-hodinová směna | 12-hodinová směna | |
| ženy | 6 500 kg | 7 800 kg | |
| muži | 10 000 kg | 12 000 kg | |

Zdroj: Malý, Svobodová, Tilhon, 2016

Tab. 4 Doporučené maximální tlačné a tažné síly

| [N] | muži | ženy |
|-------------|------|------|
| Tažná síla | 280 | 220 |
| Tlačná síla | 310 | 250 |

Zdroj: Malý, Svobodová, Tilhon, 2016

Z následujících požadavků vycházejí následující pravidla – břemeno má dovolit dobrý úchop, bezpečné držení a přenášení, nesmí překážet výhledu na trasu, nesmí omezovat dýchání a chůzi. Břemeno by mělo být zvedáno a zacházeno s ním, co nejtěsněji u těla (do 15 cm), ve výšce nad rovinou kolen a pod úrovní ramen, s co nejkratší délkou pohybu (do 25 cm) (Malý, Svobodová, Tilhon, 2016). Práce s břemenem by měla být souvislá, bez bočních odchylek trupu a s použitím horních končetin. Pokud to je možné. Pro zjednodušení nevyhnutelné ruční zacházení s břemeny je třeba poučít náležitě prostředky jako vozíky, přepravníky (viz Tab. 4).

2.7 Metody ergonomického hodnocení

Zaměstnavatel má povinnost ze zákona práce dělat a poskytovat bezpečné a zdraví neohrožující pracovní prostředí a pracovní podmínky náležitou organizací bezpečnosti a ochrany zdraví při práci s akceptováním opatření k předcházení rizik (Kosina a kolektiv autorů, 2008).

Hodnocení rizik je proces, který posuzuje pracovní rizika vznikající na pracovišti v důsledku nebezpečí. Je to posuzování všech hledisek práce, v rámci, kterých se posuzuje, co by mohlo být příčinou poškození zdraví nebo škody, jak je možné nebezpečí omezit nebo jaká ochranná opatření musí být zavedena.

V praktickém využití to obnáší projít pracoviště a vyhledat možné potencionální zdroje nebezpečí. Je důležité si všítat prostředí pracoviště, jako jsou přístupové cesty, stav podlah, výskyt prachu nebo výparů. Nebezpečím mohou být i pracovní materiály, technická a strojní zařízení. Je možné s pracovníky prodiskutovat, jaké potíže potkávají na svých pracovištích. U všech nebezpečí je zapotřebí určit osoby, které by mohly být riziku vystaveny, jak přímo tak i nepřímo.

Jako další krok je vyhodnocení rizik, které pochází z jednotlivých nebezpečí a seřadí se dle priorit. Posuzuje závažnost možného poškození, ale i pravděpodobnost, se kterou se poškození může stát. Je i důležitá intenzita a jak často se zaměstnanci danému riziku vystaveni.

Dalším krokem je rozhodnutí o přijetí opatření. Cílem je určit opatření k prevenci rizik a zajistit podmínky, které zruší rizika zdroje jejich původu nebo minimalizuje ohrožení bezpečnosti a zdraví pracovníků. Hlavním je udržovat pravidelnou kontrolu, zda jsou přijatá opatření účinná nebo zda jsou prováděna. Hodnocení rizik jsou dělána vždy před zařízením nového zařízení do provozu, po každé změně na

pracovišti, která by mohla mít vliv na bezpečnost práce, a v neposlední řadě po nehodě nebo pracovním úrazu.

Existují metody pomoci, kterých je možné hodnotit jednotlivá kritéria a určitého hlediska. Jsou to metody porovnávací, výpočtové, bodovací, průzkumové, pozorovací, analytické a matematicko-statistické. (Malý, Svobodová, Tilhon, 2016)

Úspěšnost správné metody závisí na znalostech jejích principů, předností a nedostatků, ale také správné ocenění jejich náročností a schopností. Schopnost metody je založeno na přesnosti, možnosti vyjádření, komplexnosti, objektivnosti, spolehlivosti a efektivnosti z ekonomického hlediska. Náročnost metody spočívá v časové, kapacitní, kvalifikační a technické části. Při výběru aplikace je třeba postupovat tvůrčím způsobem se zřetelem na potřeby a cíle konkrétní situace. Pomocí váhových koeficientů se zohlední důležitost jednotlivých kritérií. Výsledkem metodiky je pak přiměřeně vyjádřena míra splnění ergonomických požadavků. Souhrnné metody se snaží postihnout co nejvíce hledisek lidské pohody, jak psychické, tak i fyzické.

RULA, REBA metody

Novodobé zahraniční metody, které umožňují ergonomickou analýzu činitelů, kteří by mohli způsobit vznik poškození pohybového aparátu člověka. Tyto dvě metody pomáhají rozpoznat nebezpečné polohy a posuzují biomechanické a polohové zatížení jednotlivých částí těla. (Hlávková, Valečková, 2007)

RULA hodnotí polohu horních končetin, krku, trupu a nohou. REBA je založena na RULA metodě, a navíc i zahrnuje statické polohy a úchop při manipulaci s břemeny. Tyto metody jsou jednoduché, velmi rychlé a levné.

Hodnocení probíhá pomocí ilustrativních obrázků, kterými jsou charakterizovány základní polohy k bodovému ohodnocení. Polohy těla jsou klasifikovány vzestupně podle rozdílnosti od neutrálního postavení. K nim se podle RULA a REBA metody přisuzovány proměnné body (rotace, úklony), silové zatížení (manipulace s břemeny), body za aktivitu (vliv statické polohy) a body za uchopení (technika úchopu břemene).

Hodnocení pomocí softwaru

Mezi moderní a rychle zlepšující se obory ergonomie patří digital human modeling (digitální modelování člověka) (Williams, Shorrock, 2017). Software nabízí sestavit 3D model pracovní plochy, přidat biomechanicky totožný digitální model člověka, nastavit jeho proporce, kterými jsou výška, váha, občas rasa a simulovat podstatné činnosti. Ergonomické a časové analýzy lze vymodelovat velice bezpečné, komfortní a produktivní pracovní prostředí.

Při simulování pracovního procesu lze vyhodnotit, výškové umístění předmětů, jak komfortně se dostane do prostoru, kdy může nastat jeho poranění a mnoho jiných užitečných informací. Počítačové simulace mohou vyhodnotit ergonomické problémy, které by na pracovišti mohly nastat. Simulace mohou fungovat jako zaučující materiál pro nové zaměstnance nebo mohou být využity při tvoření pracovních manuálů.

3 Rozhodovací proces

Rozhodovací proces je vhodný pro výběr jedné nebo více z možných nabízených variant. Protože důsledky volby nejsou předem jasně známé, je velmi obtížné určit, která ze zvažovaných variant poskytne nejlepší řešení. (Svozilová, 2016)

3.1 Struktura rozhodovacích procesů

Vzájemné závislé a nezávislé činnosti tvoří obsah rozhodovacích procesů, které lze rozdělit do určitých etap. (Fotr, Dědina, Hružová, 2016) V souladu s rozhodovacím procesem se etapy dělí na:

Označení rozhodovacích problémů – V této první etapě jsou získány a zpracovány informace odlišných vlastností, které se týkají daného problému a s ním souvisejících informací. Výsledky dávají impuls k začátku rozhodovacího procesu.

Popis a analýza výchozího rozhodovacího stavu – V druhé etapě se detailně zkoumá vzniklý problém. Analýzy příčin vzniku problému a jeho řešení. Jako výstup analýz je definování rozhodovacího problému.

Volba kritérií rozhodování – Stanovení kritérií rozhodování. Podle jakých kritérií se jednotlivé varianty hodnotí.

Tvorba řešení – Tento proces je velmi obtížný na tvůrčí schopnosti lidí, kteří se podílejí na jeho tvoření. Jsou definovány směry činností, které obstarávají dosažení cílů a řešení daného problému.

Určení důsledků – Pátá etapa se snaží najít důsledky implementace zvoleného souboru kritérií dané varianty.

Hodnocení důsledků variant a výběr varianty k realizaci – Vybrání optimální varianty určené k realizaci. Zde je možné i preferenční uspořádání variant.

Realizace vybrané varianty – Tato etapa představuje zavedení vybrané varianty.

Revize důsledku vybrané varianty – Nalezení odchylek realizace od daných cílů.

3.2 Prvky rozhodovacího procesu

Pro správnou analýzu problému, výběru náležitých kvantitativních metod i exaktních postupů řešení problémů s využitím matematických modelů je důležité stanovit prvky procesu rozhodování. (Brožová, Hruška, Šubrt, 2014) Těmi jsou:

Cíl rozhodování – stav, který má být získán hodnocením. Cílů může existovat více než jen pouze jeden, které jsou v hierarchických nebo rovnocenných vztazích. Cíle také mohou být označovány jako komplementární a konfliktní. Komplementární cíle se vzájemně doplňují a podporují. U konfliktních cílů nelze daných cílů dosáhnout současně.

Aspirační úrovně cílů jsou hodnoty cílů, kterých chceme dosáhnout rozhodovacím procesem.

Kritéria hodnocení – slouží k přesnému posouzení jednotlivých variant. Zpravidla se odvozují od cílů řešení. Prvním typem je maximalizace, tedy zvýšení. Dále je znázornění cílů pomocí minimalizace, kdy dochází ke snížení (Šubrt, 2011). I kritéria mohou být vyjádřena kvalitativně nebo kvantitativně. Většinou se kritéria označují k_j , kde $j = 1, 2, \dots, n$ a n je počet kritérií.

Kritéria se dělí do tří skupin (Fotr, Dědina, Hrůzová, 2016):

- Kritéria výnosového typu, kde se preferují vyšší hodnoty nad nižšími.
- Kritéria nákladového typu, kde se preferuje nižší hodnota nad vyšší.
- Třetí typ je kombinací nákladového a výnosového typu.

Preference kritéria

Preference kritérií znamená významnost kritéria v porovnání s ostatními kritérii. Preference znázorňujeme pomocí aspirační úrovně, sledu kritérií, jednotlivých vah kritérií a náhradou kritériálních hodnot.

- Aspirační úroveň – hodnota kritéria, kterého má být dospěno.
- Pořadí kritérií – sled kritérií od nejdůležitějších po nejméně důležité.
- Váhy kritérií – informace o kritériích mají kardinalistický charakter. Váha je hodnotou z intervalu (0,1) a znázorňuje relativní významnost kritéria v porovnání s ostatními.
- Kompenzace kritériálních hodnot – jsou znázorněny mírou substituce mezi kritériálními hodnotami.

Subjekt rozhodování – označení rozhodovatele, který rozhoduje, volí variantu k realizaci. Rozhodovatelem se rozumí buď jednatel, nebo skupina lidí. Pokud je rozhodovatelem jednatel, je označován jako individuální subjekt rozhodování. Pokud je rozhodovatelem skupina, je označována jako kolektivní subjekt

rozhodování. V případě skupinového rozhodování, je procedura především založena na skupinovém hlasování o přijetí, či nepřijetí příslušné varianty. (Fotr, Dědina, Hružová, 2016)

Varianta rozhodování – počínání rozhodovatele, které má směřovat k naplnění vymezených cílů. Nemělo by se přijmout rozhodnutí, ve kterém není zahrnuto více variant řešení, ze kterých se dá vybírat. Kdyby bylo vybíráno jen z jednoho nebo malého množství řešení, je možné, že se nenalezne právě to nejlepší řešení. Soubor variant řešení by měl být, co nejobsáhlejší. Tím je vyšší pravděpodobnost nalezení optimálního rozhodnutí (Šubrt, 2011). Varianty se ve většině případů označují jako V_i , kde $i = 1, 2, \dots, n$ a n je počet variant.

Důsledek rozhodování – důsledek volby variant na oblast rozhodování. Jsou vyjádřeny náležitými hodnotami kritérií.

Stavy světa – okolnosti, které mohou nastat po uskutečnění variant a které působí na důsledky dané varianty vzhledem k hodnotám nějakých kritérií. Jsou mimo kontrolu rozhodovatele, avšak mají rozhodující dopad na učinění rozhodnutí. Činitely rizika jsou takové okolnosti, které ovlivňují následky variant vzhledem k některým kritériím hodnocení. V případě velkého množství jsou jednotlivé stavy světa míněny kombinacemi těchto faktorů (Fotr, Dědina, Hružová, 2016).

Proces rozhodování se snaží vytěsnit intuitivní rozhodování rozhodovatele. Je více přehledné v orientaci v množství alternativ a působení vícekritériálního rozhodování je na kvalitativně vyšší úrovni v rozhodovacím procesu. (Máchová, Křupka, Kašparová, 2012)

3.3 Vícekritériální rozhodování

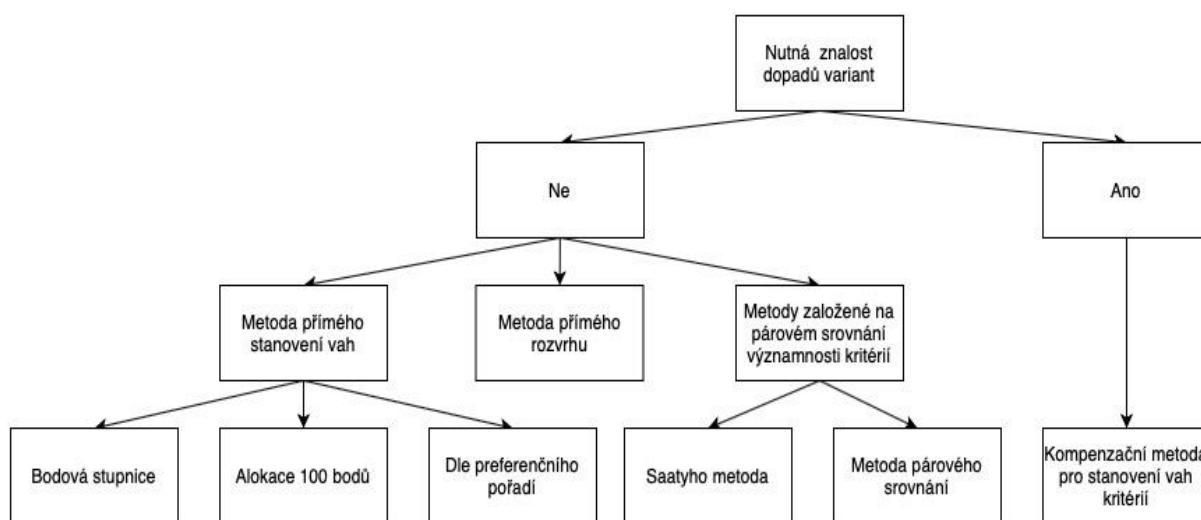
Vícekritériální rozhodování je jedno z nejpoužívanějších typů rozhodování. Aniž by si to člověk uvědomil, tak se s ním setká v každodenním životě. Podstatou vícekritériálního rozhodování je zvolení jedné varianty z potencionálně uskutečňovaných variant na základě vyhodnocení většího počtu kritérií. Prostředkem optimálního řešení vícekritériálního jsou metody řešení. (Mirast, 2010)

3.3.1 Vícekritériální hodnocení variant

Vícekritériální rozhodování závisí na určení vah jednotlivých kritérií. Váhy se občas také nazývají, jako koeficienty významnosti a jsou vyjádřeny číselně, kde číslo

udává důležitost jednotlivých kritérií. Je možné, že i více kritérií má stejnou váhu. Čím větší význam mu přisuzuje rozhodovatel, tím je váha jednotlivého kritéria vyšší, a naopak.

Určení vah lze provést několika způsoby. Způsoby se od sebe diferencují především komplikovatelností pro rozhodovatele. Systém dělení jednotlivých metod v závislosti na potřebných vědomostech důsledků všech variant pro jednotlivá kritéria je znázorněn (viz Obr. 9).



Zdroj: (Fotr, Dědina, Hružová, 2016)

Obr. 9 Přehled metod pro stanovení vah kritérií

Přímé stanovení vah kritérií

Využívá se u tří metod – bodové stupnice, alokace 100 bodů a porovnávání kritérií pomocí jejich preferenčního pořadí.

Bodovací metoda a metoda alokace 100 bodů

U bodové stupnice spočívá přiřazení určitého počtu bodů ze zvolené stupnice každému kritériu, a to v souladu s tím, jak posuzovatel hodnotí význam každého kritéria. (Fotr, Dědina, Hružová, 2016)

Stupnice se volí v závislosti na různorodosti významnosti jednotlivých kritérií. Nejvíce významný je vztah mezi nejdůležitějšími a nejméně důležitým kritériem, jenž bude určovat rozpětí. Stupnice může mít například typická, pětibodová (1, 2, 3, 4, 5) a vyšší rozlišovací schopností, například devítibodová (1, 2, ..., 9). Tím je vyšší hodnota kritéria, tím volíme i vyšší hodnotu.

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (2)$$

Rovnice 2 vyjadřuje váhu jednotlivých kritérií. Kde w_i jsou normované váhy, v_j jsou nenormované váhy a n značí počet všech uvažovaných kritérií.

Metoda alokace 100 bodů je podobná bodovací metodě. Avšak rozdělovatel přiděluje 100 bodů mezi jednotlivá kritéria v rámci jejich významností. Počet přidělených bodů právě udává váhu kritéria. Rozhodovatel musí použít všech 100 bodů.

Metoda pořadí

Preference pořadí je sestavena ze tří kroků (Fotr, Dědina, Hrůzová, 2016):

1. Stanovení preferenčního pořadí.
2. Určení vah kritérií porovnáním důležitosti s kritériem nejméně významným.
3. Normování vah.

Pořadí významnosti vah kritérií je možné určit dvěma způsoby. První je metoda přímým uspořádáním. Hodnotitel sestavuje kritéria od nejméně významných až po nejvýznamnější. To kritérium, které je nejvýznamnější je na prvním místě a naopak kritérium, které je nejméně významné je na posledním místě v preferenčním pořadí. (Šubrt, 2011)

U většího rozhodovacího problému, kde je více kritérií se volí druhá metoda – metoda etapového uspořádání. To je vázané na celkovém množství kritérií. V každé etapě se určuje nejvíce a nejméně významné kritérium, jim se přiřadí pořadí a pro další etapu následuje, že se redukuje soubor kritérií. Pokud se stanoví nejvýznamnější kritérium zjištěné v i -té etapě jako m_i a nejméně významné kritérium ve stejné etapě jako n_i , je poté preferenční pořadí kritérií v celém souboru posloupností $m_1, m_2, m_3, \dots, n_3, n_2, n_1$.

Výsledná váha preferencí se vypočítá podle rovnice 3.

$$w_i = \frac{v_j}{1 + 2 + \dots + n} = \frac{v_j}{\frac{n(n+1)}{2}}; j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Metoda párového srovnání (Metoda Fullerova trojúhelníku)

Metoda párového srovnávání určuje pro každé kritérium počet preferencí vzhledem k ostatním kritériím. Tato metoda se také nazývá Fullerův trojúhelník. Pro odhad vah se používají pouze informace o tom, které ze dvou kritérií je při porovnání důležitější. Tak se postupně srovnávají dvě kritéria mezi sebou.

Pro každé kritérium se určí počet preferencí f_i , které se stanovuje podle rovnice 4. Počet uskutečněných srovnávání je vyjádřen rovnicí 5.

$$v_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n f_i = \frac{n * (n - 1)}{2} \quad (5)$$

Kde v_i znamená normovanou váhu i - tého kritéria, f_i – počet preferencí i - tého kritéria a n značí počet kritérií. (Fotr, Dědina, Hrůzová, 2016)

Určování kritérií znázorňuje Tab. 5. V pravém horním rohu tabulky rozhodovatel u každé dvojice kritérií určuje, zda preferuje kritérium uvedené v řádku před kritériem uvedeným ve sloupci. Pokud ano, do příslušného okna se napíše jednička, v opačném nula. Preference se učí tím, že se sečtou jedničky v řádku a nuly ve sloupci kritéria.

Tab. 5 Nalezení preference kritérií u metody párového srovnávání

| Kritérium | k ₁ | k ₂ | k ₃ | ... | k _n | Počet preferencí |
|------------------|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|------------------|
| k ₁ | | 1 | 0 | ... | 1 | |
| k ₂ | | | 0 | ... | 0 | |
| k ₃ | | | | | 0 | |
| ... | | | | | ... | |
| k _{n-1} | | | | | 1 | |
| k _n | | | | | | |

Zdroj: (Fotr, Dědina, Hrůzová, 2016)

Pokud kritérium dostane nulové preference, neznamená to, že má nulový význam. Proto se v daných případech pro stanovení vah kritérií používá vztah s úpravou jmenovatele dle rovnice 6, kdy je počet preferencí u každého kritéria navýšen právě o jedničku. To může mít za následek zkreslení odhadu vah kritérií. (Fiala, Maňas, 1994)

$$v_i = \frac{f_i + 1}{n + \sum_{i=1}^n f_i} \quad (6)$$

Saatyho metoda stanovení vah kritérií

Základ této metody je stejný jako u párového srovnání, ale zde se nepočítá jen s preferencí, ale také s její intenzitou a místo matice preferencí je zde matice intenzity preferencí \mathcal{S} . Tato metoda odstraňuje vymezení metody párového srovnávání a je možné ji rozvrhnout do dvou kroků. Analogická metoda párového porovnání, kdy se zjišťují preferenční vztahy dvojic kritérií srovnaných v tabulce. V řádcích i sloupcích jsou napsány kritéria ve shodném pořadí. To se provede v prvním kroku. Od párového porovnání se diferencuje preferencí dvojic kritérií a určením velikosti preference, která je zároveň počtem bodů na bodové stupnici. Rozhodovatel porovnává všechny možné dvojice kritérií, ale důležitost jednoho kritéria před druhým je zde vyjádřen devítibodovou stupnicí (viz Tab. 6). (Šubrt, 2011)

Tab. 6 Saatyho doporučená bodová stupnice s deskriptory

| Počet bodů | Deskriptor |
|------------|--|
| 1 | Kritéria jsou stejně významná. |
| 3 | První kritérium je slabě významnější než druhé. |
| 5 | První kritérium je dosti významnější než druhé. |
| 7 | První kritérium je prokazatelně významnější než druhé. |
| 9 | První kritérium je absolutně významnější než druhé. |

Zdroj: (Fotr, Dědina, Hružová, 2016)

Kritéria se mohou uspořádat podle významu, od nejvíce preferovaného po nejméně důležité a poté stanovit rozpětí stupnice, podle toho, kolikrát je významnější kritérium důležitější než méně významné kritérium (Fotr, Dědina, Hružová, 2016).

V tomto případě se nemusí využívat celočíselná stupnice, ale jedno kritérium může být 1,5krát významnější než druhé kritérium.

Jako výsledek prvního kroku je získání pravé části matice velikosti preferencí (Jablonský, 2002). Další prvky Saatyho matice S získáme dle vztahů:

Prvky matice S jsou definovány, jako s_{ij} , které jsou jako odhad podílů vah kritérií v_i a v_j , takže poté platí rovnice 7.

$$s_{ij} \approx \frac{v_i}{v_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Po vytvoření matice S jsou hodnoty na hlavní diagonále rovny jedné, platí pro ně rovnice 8.

$$s_{ij} = 1, \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (8)$$

Pravá část matice vznikne porovnáním kritérií a jejich hodnocení dle bodové stupnice. Levou stranu získáme dle rovnice 9.

$$s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}}, \quad \text{pro } ij \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (9)$$

Protože prvky symetrické pole hlavní diagonály jsou převrácenými hodnotami.

Saatyho matice je znázorněna (viz Tab. 7, 8), kdy jsou známa kritéria k_1, k_2, \dots, k_7 , kterým bylo přiřazeno bodové ohodnocení 1-7 bodů.

Tab. 7 Preference dvojic v Saatyho metodě

| Kritérium | k ₁ | k ₂ | k ₃ | k ₄ | k ₅ | k ₆ | k ₇ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| k ₁ | | 1/2 | 2 | 6 | 2 | 3 | 2 |
| k ₂ | | | 2 | 7 | 2 | 4 | 2 |
| k ₃ | | | | 3 | 1 | 2 | 1/2 |
| k ₄ | | | | | 1/3 | 1/2 | 1/4 |
| k ₅ | | | | | | 2 | 1/2 |
| k ₆ | | | | | | | 1/2 |
| k ₇ | | | | | | | |

Zdroje: (Fotr, Dědina, Hružová, 2016)

Když je kritérium v řádku významnější než v sloupci, zapíše se do příslušného políčka počet bodů, kterým hodnotitel zaznamenává velikost preference kritéria v řádku vzhledem ke kritériu v sloupci. Pokud je kritérium ve sloupci významnější, zapíše se jeho hodnota ve zlomku, jako převrácená hodnota.

Tab. 8 Saatyho matic s doporučenými váhami kritérií

| Kritérium | k ₁ | k ₂ | k ₃ | k ₄ | k ₅ | k ₆ | k ₇ | Geometrický průměr | Výsledné váhy |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|---------------|
| k ₁ | 1 | 1/2 | 2 | 6 | 2 | 3 | 2 | 1,84 | 0,22 |
| k ₂ | 2 | 1 | 2 | 7 | 2 | 4 | 2 | 2,39 | 0,28 |
| k ₃ | 1/2 | 1/2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1/2 | 0,96 | 0,11 |
| k ₄ | 1/6 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1/2 | 1/4 | 0,32 | 0,04 |
| k ₅ | 1/2 | 1/2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1/2 | 0,96 | 0,11 |
| k ₆ | 1/3 | 1/4 | 1/2 | 2 | 1/2 | 1 | 1/2 | 0,58 | 0,70 |
| k ₇ | 1/2 | 1/2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1,35 | 0,16 |

Zdroje: (Fotr, Dědina, Hrůzová, 2016)

Aproximativní hodnoty vah kritérií se určí aritmetickými průměry řádků Saatyho matice, například $K_1 = \sqrt[7]{1 * 0,5 * 2 * 6 * 2 * 3 * 2} = 1,84$. Dále se výsledné váhy spočítají dle rovnice 4.

Po sestavení se musí ověřit konzistence matice. To znamená ověřit správnost výpočtu jednotlivých vah.

Konzistence matice se určí podle rovnice 10.

$$IS = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (10)$$

Kde λ je největší vlastní číslo matice a n představuje počet kritérií.

Pokud je matice konzistentní, musí platit $IS \leq 0,1$.

Dalším krokem ověření konzistentnosti matice je určení konzistentního poměru CR podle rovnice 11.

$$CR = \frac{IS}{RI} \quad (11)$$

Kde IS je index konzistence, RI je průměrný index konzistence pro 500 náhodně generovaných recipročních matic při použití Saatyho škály.

Hodnoty RI pro 10 prvků v matici je znázorněno viz Tab. 9.

Tab. 9 Průměrný index konzistence

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Zdroj: (Šubrt, 2011)

Metoda postupného rozvrhu vah

Pro větší počet kritérií se je doporučuje shromáždit do dílčích skupin podle podobnosti věcného obsahu. V této situaci je dobré použít strom kritérií, tedy metodu postupného rozvrhu vah. Váhy jednotlivých kritérií se poté určí takto (Fotr, Dědina, Hrušková, 2016):

- Určí se normované váhy jednotlivých skupin kritérií s využitím předtím popsaných metod. Váhy musí být normovány – výsledný součet je roven jedné.
- Dále je možné řešit problém stanovení normovaných vah každého kritéria v dílčích skupinách. Musí být taktéž normované.
- Váhy kritéria ve skupině se vynásobí váhou této skupiny a určí výsledné normované váhy kritérií.
- Normované váhy v prvních dvou krocích zajišťují normované výsledky vah.

Jako přínos metody postupného rozvrhu vah je snížení obtížnosti na rozhodovatele (není nucen hodnotit významnosti kritérií obsahově naprosto rozdílných) a zajištění dodržování daných vztahů mezi skupinami kritérií.

Metoda kompenzačních vah

Jestliže jsou důsledky některých variant pro dané kritérium zhruba stejné, přesněji rozsah mezi nejlepší a nejhorší variantou je poměrně malý, tak tento pohled nebude hrát důležitou roli při rozhodování, protože rozhodovatel může toho kritérium samo o sobě pokládat za velmi významné.

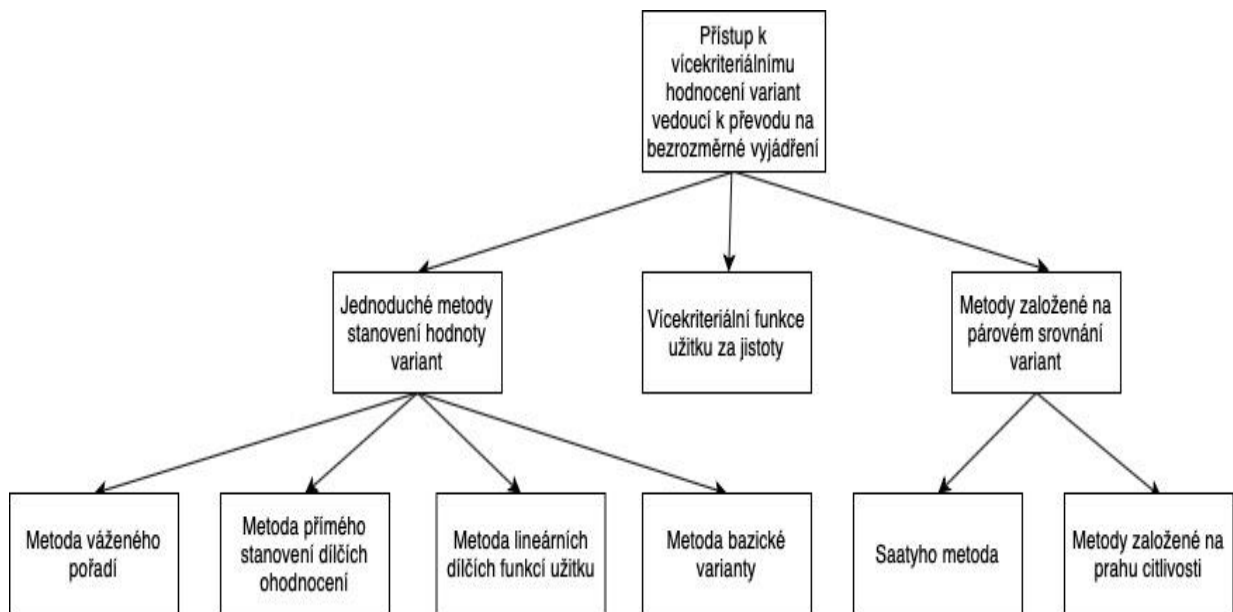
Váhy kompenzační metodou při stanovení obsahují následující kroky (Fotr, Dědina, Hrůzová, 2016):

- Rozhodovatel má domnělé dvě varianty, kde jedna bude mít vzhledem ke všem kritériím nejhorší možné důsledky a druhá naopak nejlepší
- Rozhodovatel určí v pořadí první kritérium, u kterého je pro něj změna nejméně na nejvíce upřednostňovanou hodnotu nejdůležitější.
- Stanoví se obdobně druhé kritérium v pořadí a sled se bude opakovat u dalších kritérií až do doby, kdy budou všechna kritéria uspořádána podle významnosti změn důsledků variant.
- Poté je porovnání významnosti zlepšení prvního kritéria z nejhorší hodnoty na nejlepší se zlepšením druhého nejdůležitějšího kritéria z nejhorší hodnoty na nejlepší.
- Změny prvního kritéria budou postupně srovnány se změnami u třetího a dalších kritérií.
- Finální váhy se znormují.

3.4 Metody vícekritériálního hodnocení

Metody vícekritériálního hodnocení usilují o určité podněcování kritérií, ale ne převodem na společné peněžní kritérium, ale přeměnou hodnot kritéria na bezrozměrnou aditivní veličinu jako hodnotu. (Fotr, Dědina, Hrůzová, 2016)

Mezi přednosti stanovení hodnoty variant se řadí jasnost a poměrně malá obtížnost na uživatele, proto patří v uplatnění mezi nejrozšířenější. Tato metoda je vhodná pro hodnocení variant vzhledem ke skupině kvantitativních kritérií a jsou usnadněním tzv. vícekritériální funkcí užítku (utility) za jistoty. Přehled metody vícekritériálního hodnocení (viz Obr. 10).



Zdroje: upraveno dle (Fotr, Dědina, Hružová, 2016)

Obr. 10 Metody vícekritériálního hodnocení variant vedoucí k převodu na bezrozměrné vyjádření

Vícekritériální rozhodování za jistoty

Znázorňuje přesnou hodnotu vícekritériálního rozhodování variant, která vychází z dané soustavy axiomů, které se vztahují k chování hodnotitele při rozpoznávání preferencí variant za podmínek jistoty.

Funkce užitku ve zjednodušeném tvaru lze vyjádřit pomocí rovnice 12.

$$u(x) = \sum_{i=1}^n v_i * u_i(x_i) \quad (12)$$

Kde x značí varianty rozhodnutí, $u_i(x_i)$ dílčí funkce užitku za jistoty i -tého kritéria, x_i představuje důsledek varianty vzhledem k i -tému kritériu, v_i je váha i -tého kritéria a n představuje počet kritérií hodnocení.

Vyjádřením vztahu je možné určit užitek variant, ale to jen v případě, pokud jsou známy váhy kritérií hodnocení a jednotlivé funkce užitku.

Pro výnosová kritéria je jednotlivá funkce užitku vždy rostoucí. Pokud přírůstky užitku pro shodně rozsáhlé přírůstky určitého kritéria klesají, pak je tato funkce konkávní. Pokud přírůstky užitku pro shodně velké přírůstky určitého kritéria rostou, pak je funkce konvexní. Pokud rozhodovatel přírůstky určitého kritéria hodnotí totožně, funkce je lineární.

Pro kritéria s klesající preferencí (nákladová kritéria) je jednotlivá funkce užítku vždy klesající. Pokud rozhodovatel posuzuje shodné poklesy hodnot určitého kritéria stále více, funkce má konkávní tvar. Když rozhodovatel cení stejné poklesy hodnot určitého kritéria stále méně, funkce má konvexní tvar. Rozhodovatel posuzující shodné poklesy hodnot určitého kritéria stále shodně, funkce má lineární charakter.

Metody stanovení hodnoty variant

Metoda stanovuje celkové hodnocení všech variant jako vážený součet částečných hodnocení variant. To zobrazuje rovnice 13. Při určení částečných variant ohodnocení vzhledem k daným kritériím se postupuje stejně jako u Saatyho metody stanovení vah kritérií. Zde se, ale porovnávají varianty rozhodování a ne kritéria.

$$H^j = \sum_{i=1}^n v_i * h_i^j \text{ pro } j = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

Kde H^j značí celkové hodnocení (hodnota) j -té varianty, v_i je váha i -tého kritéria, h_i^j je dílčí hodnocení j -té varianty vzhledem k i -tému kritériu, n představuje počet kritérií hodnocení a m počet variant.

Poté je možné vytvořit preferenční uspořádání variant, kde nejvýše ohodnocená varianta je optimální variantou.

Některé metody ke stanovení hodnoty variant jsou uvedeny ve sledu od metod nejjednodušších k metodám složitějším. Tyto metody jsou (Fotr, Dědina, Hrůzová, 2016):

- Metoda váženého pořadí,
- metoda založená na přímém stanovení dílčích ohodnocení,
- metoda lineárních funkcí užítku,
- metoda bazické varianty.

Metoda váženého pořadí

Metoda se využívá převážně pro úlohy vícekritériálního hodnocení s převahou kvalitativních kritérií. U metody váženého pořadí se jednotlivá ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím stanovuje podle pořadí variant vzhledem k těmto kritériím. Dílčí hodnocení j -té varianty vzhledem k i -té varianty vzhledem k j -tému kritériu h_i^j viz rovnice 14. (Fotr, Dědina, Hrůzová, 2016)

$$h_i^j = m + 1 - p_i^j \quad (14)$$

Z toho plyne, že pokud je dílčí ohodnocení variant vzhledem k jednotlivým kritériím rovny jedné, jsou tak varianty nejhorší. Nejlepší varianty mají jednotlivé ohodnocení vzhledem k jednotlivým kritériím rovno právě počtu kritérií.

Metoda založená na přímém stanovení částečných ohodnocení

Hodnotitel přímo určí jednotlivé hodnoty vzhledem k dílčím kritériím. Při hodnocení se přímo přidává počet bodů vybrané stupnice. Používá se například pětibodová stupnice nebo pro preciznější stanovení deseti bodová stupnice. Vždy nejhorší variantě se přiřazuje nejmenší číslo stupnice, tedy 1. Naopak nejlepší variantě se přiděluje nejvyšší hodnota, tedy 5, popřípadě 10. Jako výhodou této metody je to, že hodnotitel zvláště při použití bodové stupnice může lépe reagovat na vztahy mezi jednotlivými variantami. Bohužel její nevýhodou je to, že pro hodnotitele je samotné hodnocení velmi náročné. Od znalostí hodnotitele se odvíjí i kvalita veškerého hodnocení. Metoda je tedy subjektivní.

Metoda bazické varianty

Metoda vychází z určení jednotlivých ohodnocení variant vzhledem k dílčím kritériím pomocí srovnávání hodnot následků variant vždy s hodnotami bazické varianty. Je určena pro kvantitativní kritéria s rostoucí nebo klesající preferencí. Bazickou variantou myslíme buď variantu, která v daném souboru má nejlepší hodnoty nebo variantu, která má pro daná kritéria předem stanovených neboli požadovaných hodnot. Dílčí hodnocení variant vzhledem ke kritériím se stanovuje dle rovnice 15 a 16.

$$h_i^j = \frac{x_i^j}{x_i^b} \quad (15)$$

Rovnice 15 představuje kritérium výnosového typu. Rovnice 16 představuje kritérium nákladového typu.

$$h_i^j = \frac{x_i^b}{x_i^j} \quad (16)$$

Metoda TOPSIS

Metoda TOPSIS vychází z principu výběru varianty, která je právě nejbližší k ideální variantě a nejvzdálenější od bazální varianty. Očekává se u ní maximalizační povaha všech kritérií. Jestliže nejsou všechna kritéria maximalizační, poté je nezbytné je na maximalizační převést. (Friebelová, Kličarová, 2007)

U metody TOPSIS je nutnost nejprve všechny kritéria změnit na maximalizační a zároveň sestavit normalizovanou kritériální matici $R = (r_{ij})$ dle rovnice 17.

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m y_{ij}^2}}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

Tato transformace garantuje, že sloupcové vektory matice R budou jednotkové kvantily podle Euklidovské metriky, což právě dovoluje porovnávání všech kritérií.

Dále se kritériální matice R přepočítá na normalizovanou kritériální matici Z tak, že každý sloupec matice R vynásobíme vahou příslušného kritéria podle rovnice 18.

$$z_{ij} = w_{ij}r_{ij} \quad (18)$$

Pomocí prvků matice Z se poté zhotoví ideální varianty (h_1, h_2, \dots, h_n) a bazální varianty (d_1, d_2, \dots, d_n) , kde

$$h_j = \max z_{ij}; j = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

$$d_j = \min z_{ij}; j = 1, 2, \dots, n \quad (20)$$

Poté se spočítá vzdálenost od ideální varianty 21 a bazální varianty 22.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - H_j)^2}; i = 1, 2, \dots, p \quad (21)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - D_j)^2}; i = 1, 2, \dots, p \quad (22)$$

Naposled se spočítá relativní ukazatel vzdálenosti od bazální roviny 23.

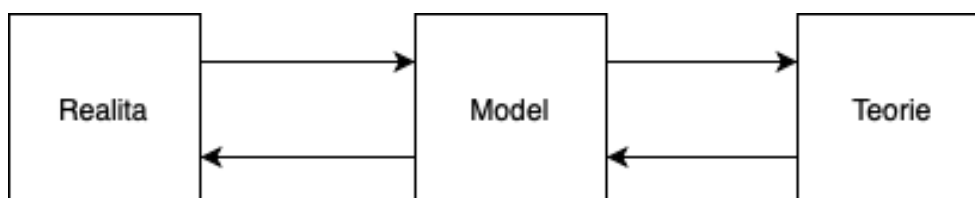
$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}; i = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

4 Matematický model

Model je zjednodušenou imitací skutečného předmětu, kde existuje jistá podobnost ve stavbě nebo funkci se zkoumaným předmětem. (Fiala, 2013)

Matematické modely dávají jasný popis všech relevantních faktorů dané situace a pomáhají najít důležité vztahy mezi prvky zkoumaného systému. Systémem jsou abstrakce, které si lidé zhotovují v procesu poznání. Použití matematického modelu umožňuje zjistit informace o chování systému, i když není možné nebo je těžké učinit závěry přímo z originálu. Dále urychluje proces poznání objektivní reality. Matematický model ulehčuje a racionalizuje proces poznání. Dává přehlednost daného systému, stručně zobrazuje objektivní realitu a poskytuje postup řešení podle potřeby uživatele. Modely vznášejí nové poznatky do našeho vnímání. Matematický model dovoluje postup při řešení problémů mnoho řad variant možných výsledků. Matematický model dokáže určit chybné poznání objektivní reality. (Hřebíček, Škrdla, 2006)

Při zhotovení modelu je celý proces zjednodušovaný. Model je mezistupněm mezi realitou a teorií, a to v obou směrech. Vztah mezi teorií a realitou (viz Obr. 11). Modely se většinou rozdělují podle toho, jaký úsek objektivní reality zachycují.



Zdroje: (Fiala, 2013)

Obr. 11 Vztah realita – model – teorie

Pracovní stádia tvoření modelu

Při sestavování matematického modelu se postupuje pěti pracovními fázemi, které na sebe navazují (Fiala, 2013):

1. V prvním fázi se musí analyzovat problém. Definuje se zkoumaný předmět a vymezí se podstatné vztahy mezi ním a modelem. Je důležité dosáhnout určitých dat. Cílem této fáze je zhotovení dat pro další krok.

2. V druhé fázi se zhotoví matematický model. Ten se vytvoří pomocí matematických nástrojů a naplní se získanými daty. K vytvoření spojitostí mezi prvky se převážně využívají rovnice a nerovnice.
3. V třetí fázi se řeší daný problém modelu. Výsledku může být dosaženo pomocí výpočetního postupu, na který se použije stávající program nebo se sestaví vlastní.
4. Ve čtvrté fázi se přezkoumává model, jestli byl správně definován a kontrolují se dosažené výsledky. Při zkoušení modelu se mění vstupní data, která limitují jednotlivé funkce. Tím se může zkontrolovat spojitost modelu, popřípadě zda se ukazují existující spojitosti v reálném předmětu. V případě odchylek se musí model změnit v testovacích datech. Pokud jsou chyby odstraněny, může se vrátit k reálným informacím.
5. V páté, poslední fázi jsou implementovány výsledky do reality a nastává tak uskutečnění řešení.

5 Srovnání vybraných ergonomických softwarů

V následující kapitole bude popsán stávající software používaný ve ŠKODA AUTO a.s. a vybrané tři softwary, které s ním budou pomocí vícekritériální metody porovnány dle zvolených kritérií.

5.1 Analýza současného softwaru ve ŠKODA AUTO a.s.

Ergonomické oddělení ve ŠKODA AUTO a.s. používá jako ergonomický software Catia V5 R19 od společnosti Dassault Systems vyrobený ve Francii. Jako virtuální postava je zde Delmia V5 Human. Jeho atributem je zobrazení dějů pomocí simulace. Systém Catia V5R19 se začal vyvíjet roku 1977 a využívá se v konstruování, ve výrobě, navrhování podporované počítačem a znázorňuje procesy celé životní etapy výrobku.

Dassault Systems poskytuje několik verzí softwaru Catia V5R19 s uplatněním v mnoha činnostech a průmyslové oblasti.

Catia V5R19 je složena z několika modulů mezi které patří i Ergonomic Design Analysis. Tento modul obsahuje (Dassault Systemes, 2002):

- **Human Measurements Editor** (Editor lidských měření) – Pomocí tohoto modulu se vytváří virtuální model člověka. V prvním kroku se zvolí jméno virtuální osoby, pohlaví a vybere z národností – Američan, Kanadčan, Francouz, Japonec, Korejec. Pro vytváření simulace se může pohybovat s celým člověkem nebo jen s některou částí těla. Je možné i měnit proporce dané osoby jako je výška a váha.
- **Human Activity Analysis** (Analýza lidských aktivit) – Tyto analýzy pomáhají zvyšovat výkonnost pracovníka, jeho komfort a bezpečnost. Pomocí těchto analýz lze zjistit výkon pracovníka s ergonomickým hlediskem na správnost udělaných pohybů. Obsahuje analýzy Rula, Analýzu zvedání a pokládání, analýzu táhnutí a tlačení, analýzu nesení a analýzu biomechanické akce.
- **Human Builder** (Modelář člověka) – V editoru jsou na výběr jednotlivé části těla. Základní polohy jsou vstoje, vsedě, klečmo a vstoje s upaženými rukama. Po určení směru pohybu a poté lze hýbat s jednotlivými částmi těla. Virtuální člověk může pohybovat tělem jako člověk. Pohyby těla virtuálního člověka jsou flexe, extenze, rotace, lateroflexe, elevace, deprese, abdukce, addukce, pronace a supinace.

- **Human Posture Analysis** (Aanalýza postoje těla) – Tento modul vyhodnocuje pozice pracovníka při práci. Pozice a postoje těla jsou studované a vyhodnocované, aby zajistili pohodlí a výkonost pracovníka při práci.

5.2 Identifikace a formulace rozhodovacího problému

S ohledem na používaný software, který je momentálně využíván, by chtělo ergonomické oddělení ve ŠKODA AUTO a.s. porovnat stávající software s ostatními softwary na trhu. Řešením je nalezení nového softwaru, který by splňoval minimálně stávající podmínky a mohl by nabídnout i více funkčních možností za lepší cenu.

Ergonomické oddělení ŠKODA AUTO a.s. využívá pro ergonomické účely software Catia V5R19 od společnosti Dessault Systems.

Vzhledem k tomu, že stávající software neodpovídá přesným požadavkům pracovníků, snaží se nalézt jiný software, který by uspokojil jejich požadavky. Cílem rozhodovacího procesu je najít takový software, který by odpovídal požadavkům.

5.3 Výběr ergonomických softwarů

Od roku 1960 jsou na trhu simulační CAD softwaru k návrhu a sestrojení stroje, jejich porganizování v prostředí, vložení virtuálních postav pro simulování celého průběhu výroby i s vyhodnocením rizik. Zvolení výrobci ergonomických softwarů jsou vypsáni (viz Tab. 10).

Tab. 10 Výrobci ergonomických softwarů

| Stát | Firma | Software | Virtuální postava |
|---------|----------------------|-----------------|-------------------|
| Francie | Dassault Systems | Catia V5R19 | Delmia V5 Human |
| USA | Siemens PLM Software | Tecnomatix Jack | Jack |
| Německo | Human Solution GmbH | Human Solutions | Ramsis |
| USA | PTC | Pro/engineer | Manikin Lite |

Zmíněné softwary byly prvotně vytvořeny pro požadavky v letectví, následně se začaly používat ve strojním a automobilovém průmyslu. Simulace umožňuje ukázat, jak funguje stroj v systému člověk – stroj – prostředí a jak velké zatížení působí na

člověka v průběhu výroby. Užití těchto softwarů je pro simulování, revizi a vyhodnocení působení pracovní činnosti a pracovního prostředí na člověka. S použitím virtuální postavy lze zjistit, jaké jsou jeho dosahové a zrakové možnosti pracovníků a odhadnout pohodlnost pracovního prostředí. Simulací se předejde nebo sníží riziko poškození zdraví zaměstnanců. Dále se i tím sníží náklady a čas oproti změnám vykonaným na reálně vyrobeném produktu.

Kdysi byla virtuální postava člověka v CAD programech zhotovena z co nejprimitivnějších tvarů. V novodobých verzích virtuální postavy člověka vypadají jako důvěryhodné imitace lidí.

Catia V5R19

Software Catia V5R19 od výrobce Dessault systém používá jako virtuálního člověka Delmia V5 Human. Jedná se o software, který využívá k ergonomickým simulacím ŠKODA AUTO a.s. a detailněji je popsán v kapitole 5.1.

Technomatic Jack

Technomatic Jack je vyroben firmou Siemens. Specializuje se na zkoumání lidského chování při vykonávání práce. Software používá 3D model pracovního místa, pracovníka a činnosti při práci. V softwaru se nachází virtuální člověk jménem Jack a virtuální žena jménem Jill. Jdou u nich nastavit tělesné rozměry, věk a rasa. Je umožněno pohybovat s danými částmi těla podle přirozeného pohybu a možnostech kloubu. Virtuálního člověka je možné vložit do virtuálního 3D prostředí a sledovat jeho produktivitu. Virtuální postavu je možné analyzovat a zkoumat, jaké má zorné pole při práci, kam maximálně dosáhne, jak se při práci cítí a zda vykonávanou práci zvládá splnit bez obtíží. Uplatnění tohoto softwaru je vhodné pro zdravotníky, ergonomické pracovníky a techniky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. (Baumruk, 2010)

Human Solution

Human Simulation je od firmy Human Solution GmbH, kde virtuálního člověka představuje Ramsis. Tento software slouží pro ergonomickou analýzu CAD projektů a zvyšuje výkonnost a komfort uživatelů. Software obsahuje rozsáhlou databázi z oblasti antropometrie. Software také zahrnuje individuální Ramsis figuríny podle 3D skeneru. V human Solutions je možné mít virtuální postavy různé velikosti a pohlaví, vidět zorné pole postav a simulovat pohyby a tím snižovat čas a náklady na vývoj.

Human Solution je ve třech základních verzích pro automobilový průmysl, letecký průmysl a průmyslová vozidla. Virtuální postava může kromě stání také sedět například jako řidič v autě nebo jako spolujezdec. To analyzuje, jestli se člověk v autě cítí komfortně, jaký je budoucí prostor v autě a jestli budoucímu uživateli budou vyhovovat podmínky uvnitř vozidla. (Human Solution GmbH, Human Solution)

Pro/engineer

Pro engineer od firmy PTC má virtuálního člověka Manikin Lite, který umožňuje konstrukční řešení systému Product Development System. Software poskytuje detailní návrh výrobku, procesu výroby, montáže, kontroly výrobku, navrhování a vytváření variant a konstrukci výrobního zařízení. Jako jednou z výhod softwaru je rychlé sestavení dílů, jednoduchá úprava ploch se zobrazením změn ve výrobku. Software poskytuje realistické zobrazení výrobků a rychlou analýzu. V softwaru se nachází virtuální postava typu Manikin Lite, která má nastavené výchozí pozice, ve kterých se může pohybovat. Tyto pohyby mohou být použity pro ergonomické analýzy, vizualizace pohybu, zorný úhel, zorné pole, odměřování vzdáleností. Je možné analyzovat těžiště člověka, zvednutí a tlačení. (PTC, 2021)

5.4 Kritéria

Volba vhodného kritéria je v rozhodovacím procesu velmi důležité. Podle těchto kritérií jsou hodnoceny jednotlivé varianty. Při špatně zvolených kritériích by mohlo nastat nesprávné posouzení daných softwarů. Kritéria pro hodnocení softwarů byla zvolena z více okruhů, aby byly co nejvíce obsáhlé, a co nejvíce věcné. Nestačí pouze určit jednotlivé požadavky na software, je potřeba definovat i jejich prioritu.

Výběr kritérií byl limitován dostupností jednotlivých informací u vybraných softwarů. Ne všechny informace jsou veřejně publikovatelné a hodně informací lze získat až po konzultaci se zástupcem příslušné společnosti. Po prozkoumání veřejně dostupných informací o jednotlivých softwarech bylo definováno 6 kritérií.

Analýza kritérií

- Kritérium k_1 – cena licence, kterou by ŠKODA AUTO a.s. musela zaplatit za zakoupení ergonomického softwaru,
- Kritérium k_2 – operační software (Windows, Linus, iOS), v kterém bude ergonomický software používán, komptabilita dat s jinými CAD a CAM softwary,
- Kritérium k_3 – grafika softwaru, kde je důležité realistické zachycení člověka a jeho pohybů, které ovlivňují hodnotu výstupu daného návrhu,
- Kritérium k_4 – jazyk softwaru,
- Kritérium k_5 – moduly softwaru,
- Kritérium k_6 – komptabilita se softwarem od konstruktérů, ve kterém modelují jednotlivé části aut.

Cena licence

Jedná se o jedno z důležitých kritérií hodnocení softwaru, ale není to rozhodující kritérium. Oddělení musí zvážit své finanční možnosti. Je možné, že koncová cena celého softwaru se všemi vybranými moduly a funkcemi, popřípadě se zaškolením bude vyšší, než je uvedeno dodavatelem. Některé ceny jsou uvedeny jako celek, jiné jsou rozděleny do dílčích cen podle jednotlivých modulů a služeb. Ceny jednotlivých vybraných softwarů jsou znázorněny (viz Tab. 11).

Tab. 11 Ceny licencí vybraných softwarů

| Stát | Firma | Software | Basic Licence | Ceny modulů | Cena údržby |
|---------|----------------------|-----------------|---------------|-------------------------|--|
| Francie | Dassault Systems | Catia V5R19 | 4 500\$ | 2 700 \$ - 19 000 \$ | 2 000\$ licence + 18 % z ceny modulů |
| USA | Siemens PLM Software | Tecnomatix Jack | 2 400\$ | X | X |

| | | | | | |
|---------|---------------------|-----------------|---------------------|---|---|
| Německo | Human Solution GmbH | Human Solutions | 10 000\$ – 20 000\$ | X | X |
| USA | PTC | Pro/engineer | 4 995 \$ | X | X |

Hardware a operační systém

Ergonomické oddělení pracuje s operačním systémem Windows. To je potřeba při výběru nového softwaru zohlednit, aby nedošlo k vysokým nákladům na nový operační software nebo nového hardware, protože stávající zařízení by nemuselo být pro daný software dostačující. S tím je i souvisí, zda daný ergonomický software je kompatibilní i s jiným softwarovým vybavením, které se na oddělení používají. Operační systém, ve kterém vybrané je možné ergonomické softwary nainstalovat je vypsáno (viz Tab. 12).

Tab. 12 Operační systémy softwarů

| Stát | Firma | Software | Operační systém |
|---------|----------------------|-----------------|-------------------------|
| Francie | Dassault Systems | Catia V5R19 | Windows 10 – 64 bit. |
| USA | Siemens PLM Software | Tecnomatix Jack | Windows 10 – 32/64 bit. |
| Německo | Human Solution GmbH | Human Solutions | Windows 10 – 64 bit. |
| USA | PTC | Pro/engineer | Windows 10 – 64 bit. |

Grafika softwaru

Grafika vybraného softwaru je důležitá pro znázornění jednotlivých částí člověka a doplňků ve formě nástrojů a strojů, se kterými daný člověk na pracovišti pracuje. Pokud by daný software nebyl přesný, bylo by obtížné simulovat požadavek přímo z pracovního prostředí. Pohyb musí být přesný a jasný, a to bez dobré grafiky

softwaru nejde učinit. Jak dobrá grafika je vybraných softwarů, je popsáno (viz Tab. 13).

Tab. 13 Grafika softwarů

| Stát | Firma | Software | Grafika |
|-------------|----------------------|-----------------|----------------|
| Francie | Dassault Systems | Catia V5R19 | Velmi dobrá |
| USA | Siemens PLM Software | Tecnomatix Jack | Velmi dobrá |
| Německo | Human Solution GmbH | Human Solutions | Velmi dobrá |
| USA | PTC | Pro/engineer | Velmi dobrá |

Jazyk softwaru

Jako jazyky softwaru jsou preferovány čeština nebo angličtina. V jiném jazyce software není adekvátní pro jednoduché ovládání. Jazyk jednotlivých softwarů je znázorněn (viz Tab. 14).

Tab. 14 Jazyk softwarů

| Stát | Firma | Software | Jazyk |
|-------------|----------------------|-----------------|--------------|
| Francie | Dassault Systems | Catia V5R19 | AJ |
| USA | Siemens PLM Software | Tecnomatix Jack | AJ |
| Německo | Human Solution GmbH | Human Solutions | AJ |
| USA | PTC | Pro/engineer | AJ |

Požadavky na moduly a knihovny softwaru

To je jedno z nejdůležitějších specifických kritérií softwaru, z jakých je složen součástí a jaké má další funkce. Musí být zjištěno, zda software obsahuje všechny používané moduly a funkce. Zda jsou tyto funkce zahrnuty v základní verzi nebo je

potřeba je dokoupit dodatečně k danému softwaru. Mezi využívané moduly v Catii patří moduly zmíněné v kapitole 4.1. Moduly ostatních vybraných softwarů jsou vypsány (viz Tab. 15).

Tab. 15 Moduly jednotlivých softwarů

| Stát | Firma | Software | Human Measurements Editor | Human Activity Analysis | Human Builder | Human Posture Analysis |
|-------------|----------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| USA | Siemens PLM Software | Tecnomatix Jack | Ano | Ano | Ano | Ano |
| Německo | Human Solution GmbH | Human Solutions | Ano | Ano | Ano | Ano |
| USA | PTC | Pro/Engineer | Ano | Ano | Ano | Ano |

Kompabilita se softwarem od konstruktérů

Aby se předešlo složitému převádění modelů na jiné formáty, měl by být vybraný software kompatibilní se softwarem Catia, kteří používají konstruktéři ve ŠKODA AUTO a.s. k modelování jednotlivých částí. Zda jsou dané softwary kompatibilní je znázorněno (viz Tab. 16). Vytvořený model je následně zaslán ergonomickému oddělení, které provádí následnou analýzu použití navrhovaného dílu na montážní lince.

Tab. 16 Doba vyhodnocení analýz

| Stát | Firma | Software | Kompabilita |
|-------------|----------------------|-----------------|--|
| Francie | Dassault Systems | Catia V5R19 | ano |
| USA | Siemens PLM Software | Tecnomatix Jack | Ano, jen souboru z Catii musí být uložen v .Jt nebo .lgs |

| | | | |
|---------|---------------------|-----------------|--|
| Německo | Human Solution GmbH | Human Solutions | Ano, jen souboru z Catii musí být .Ixf |
| USA | PTC | Pro/engineer | Ano, jen souboru z Catii musí být v .Stp |

5.5 Stanovení vah kritérií

Stanoveným kritériím je důležité přiřadit danou váhu tak, aby byla ohodnocena jejich významnost. Díky tomu, že se dají stanoveny preference jednotlivých kritérií, je možné pro stanovení vah použít metodu bodovací nebo Saatyho metodu. Výchozí metodou pro stanovení vah jednotlivých kritérií bude použita Saatyho metoda.

Výpočet vah pomocí Saatyho metody

Byla použita Saatyho metoda, protože je to jedna z nejpřesnějších – metod. Kromě určení jednotlivých kritérií, také zobrazuje velikost preferencí mezi jednotlivými kritérii. Při určování velikosti preferencí se vychází ze Saatyho bodové stupnice, která je detailně popsána v kapitole 3.3.1 v Tab. 6.

Pro prvky matice S , které jsou definovány, jako s_{ij} , které jsou odhadem podílů vah kritérií, které se určí podle rovnice 7. Po vytvoření matice jsou hodnoty na hlavní diagonále rovny jedné, pro které platí vztah rovnice 8. Pravá část matice vznikne porovnáním kritérií a jejich hodnocení dle bodové stupnice. Levou stranu matice lze získat dle rovnice 9.

V dalším kroku se určí geometrický průměr řádků Saatyho matice, který se dostane jako vynásobením prvků v jednotlivých řádcích a poté odmocněním n -tou odmocninou těchto součinů. Tyto hodnoty se musí nadále znormovat. Normování se dosáhne, jako podíl geometrického průměru daného kritéria a součtem geometrických průměrů všech kritérií.

Body kritérií přidělili pracovníci ze ŠKODA AUTO a.s. podle Saatyho bodovací stupnice jsou znázorněny (viz Tab. 17 a 18). Geometrický průměr jednotlivých kritérií a hodnocení jednotlivých kritérií pomocí Saatyho metody je znázorněno (viz Tab. 19).

Tab. 17 Průměrné hodnocení preferencí kritéria ve zlomcích

| | k₁ | k₂ | k₃ | k₄ | k₅ | k₆ |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| k₁ | 1 | 1/9 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1/9 |
| k₂ | 9 | 1 | 5 | 5 | 3 | 1/3 |
| k₃ | 5 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/5 |
| k₄ | 3 | 1/5 | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 |
| k₅ | 5 | 1/3 | 3 | 3 | 1 | 1/3 |
| k₆ | 9 | 3 | 5 | 5 | 3 | 1 |

Tab. 18 Průměrné hodnocení preferencí kritéria

| Kritérium | k₁ | k₂ | k₃ | k₄ | k₅ | k₆ |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| k₁ | 1,00 | 0,11 | 0,20 | 0,33 | 0,20 | 0,11 |
| k₂ | 9,00 | 1,00 | 5,00 | 5,00 | 3,00 | 0,33 |
| k₃ | 5,00 | 0,20 | 1,00 | 0,33 | 0,33 | 0,20 |
| k₄ | 3,00 | 0,20 | 3,00 | 1,00 | 0,33 | 0,20 |
| k₅ | 5,00 | 0,33 | 3,00 | 3,00 | 1,00 | 0,33 |
| k₆ | 9,00 | 3,00 | 5,00 | 5,00 | 3,00 | 1,00 |

Tyto váhy (viz Tab. 18) byly použity v navazující bazické metodě hodnocení vybraných softwarů.

Tab. 19 Váha kritéria

| | Geometrický průměr | Váha kritéria |
|----------------------|---------------------------|----------------------|
| k₁ | 0,23 | 0,03 |
| k₂ | 2,47 | 0,28 |
| k₃ | 0,53 | 0,06 |

| | | |
|----------------------|------|------|
| k₄ | 0,70 | 0,08 |
| k₅ | 1,31 | 0,15 |
| k₆ | 3,56 | 0,40 |
| Součet | 8,80 | 1,00 |

Ověření konzistence matice

Na závěr Saatyho metody se ověří konzistence matice podle rovnic 10 a 11.

Největší vlastní číslo matice bylo určeno výpočtem v softwaru Mathcad viz Obr 12.

$$\text{eigenvals} \left(\begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{9} & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & \frac{1}{9} \\ 9 & 1 & 5 & 5 & 3 & \frac{1}{3} \\ 5 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 3 & \frac{1}{5} & 3 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 5 & \frac{1}{3} & 3 & 3 & 1 & \frac{1}{3} \\ 9 & 3 & 5 & 5 & 3 & 1 \end{pmatrix} \right) = \begin{bmatrix} 6.496 \\ 0.141 + 1.593i \\ 0.141 - 1.593i \\ -0.24 + 0.827i \\ -0.24 - 0.827i \\ -0.298 \end{bmatrix}$$

Obr. 12 Určení vlastního čísla matice v Mathcadu

Index konzistentnosti IS :

$$\lambda = 6,496$$

$$n = 6$$

$$IS = \frac{6,496 - 6}{6 - 1} = 0,0992 < 0,1$$

Konzistenční poměr CR :

$$IS = 0,0992$$

$$RI = 1,24$$

$$CR = \frac{0,0992}{1,24} = 0,08 < 0,1$$

Podle výsledků Saatyho matice je konzistentní.

5.6 Hodnocení jednotlivých softwarů

Stejně jako pro určení hodnot vah jednotlivých kritérií, existuje i pro stanovení hodnocení více metod.

Pro výpočet souboru variant bude použita metoda bazické varianty, která je detailně popsána v kapitole 3.4 a dále bude použita metoda TOPSIS, která vychází z minimalizace vzdálenosti od ideální varianty. Tato metoda byla také popsána v kapitole 3.4.

K jednotlivým kritériím byla udělána bodovací škála (viz Tab. 20, 21), která je poté použita u zmínění bazické metody a TOPSIS metody. Tato bodová škála je i slovně popsána (viz Tab. 20).

Tab. 20 Informace o kritériích jednotlivých softwarů

| | | KRITÉRIA | | | | | |
|-------------------|----------|-------------------|---|----------------|----------------|----------------|--------------------------------------|
| | | k ₁ | k ₂ | k ₃ | k ₄ | k ₅ | k ₆ |
| POČET BODŮ | 2 | ≥10 000\$ | nepodporuje Windows | špatná | není ČJ ani AJ | žádný modul | Ano |
| | 4 | 5 000\$ - 9 999\$ | Win 10 - 64 bit. | ucházející | jen AJ | 1 modul | Ano, ale po převedení na jiný formát |
| | 6 | 3 000\$ - 4 999\$ | Win 10 - 32/64 bit. | dobrá | jen ČJ | 2 moduly | Ano, ale po převedení na jiný formát |
| | 8 | ≤3000\$ | Win 10 - 32/64 bit. a další operační systém | velmi dobrá | AJ i ČJ | ≥ 3 moduly | Ano, ale po převedení na jiný formát |

Tab. 21 Slovní ohodnocení

| Bodovací škála | Slovní ohodnocení |
|----------------|-------------------|
| 2 | Nevyhovující |
| 4 | Slabě vyhovující |
| 6 | Vyhovující |
| 8 | Velmi vyhovující |

Tab. 22 Bodové ohodnocení jednotlivých kritérií

| | | KRITÉRIA | | | | | |
|-----------------|------------------------|----------|----|----|----|----|----|
| | | k1 | k2 | k3 | k4 | k5 | k6 |
| Varianty | Catia V5R19 | 4 | 4 | 8 | 6 | 8 | 8 |
| | Tecnomatix Jack | 8 | 6 | 8 | 6 | 8 | 6 |
| | Human Solutions | 2 | 4 | 8 | 6 | 8 | 6 |
| | Pro/engineer | 6 | 4 | 8 | 6 | 8 | 6 |

Metoda bazické varianty

U bazické metody jsou hodnoty kritérií porovnány s bazickými variantami. U výnosového typu se vychází z rovnice 15, a právě bazickou variantu znázorňuje nejvyšší hodnota kritéria z daného souboru variant. Nákladová kritéria vychází z rovnice 16 a bazickou variantu představuje nejmenší hodnota kritéria z daného souboru. Získané hodnoty se vynásobí váhami kritérií, které byly získány Saatyho metodou. Následovně se sečtou hodnoty každého kritéria u příslušné varianty. Celkové hodnocení udává pořadí jednotlivých variant.

Pořadí je řazeno sestupně, tudíž nejhůř hodnocený software je označen hodnocením pět a nejlepší software je ohodnocen jedničkou.

V tomto případě na porovnání softwarů se počítá jen s metodou bazickou výnosového typu.

Tab. 23 Kritéria pro bazickou metodu

| | | KRITÉRIA | | | | | |
|-----------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | k ₁ | k ₂ | k ₃ | k ₄ | k ₅ | k ₆ |
| Varianty | Catia V5R19 | 4 | 4 | 8 | 6 | 8 | 8 |
| | Tecnomatix Jack | 8 | 6 | 8 | 6 | 8 | 6 |
| | Human Solutions | 2 | 4 | 8 | 6 | 8 | 6 |
| | Pro/engineer | 6 | 4 | 8 | 6 | 8 | 6 |

Tab. 24 Hodnocení softwarů bazickou metodou

| | | KRITÉRIA | | | | | | Celkové hodnocení | Pořadí |
|-----------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|-----------|
| | | k ₁ | k ₂ | k ₃ | k ₄ | k ₅ | k ₆ | | |
| Varianty | Catia V5R19 | 0,50 | 0,67 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,89 | 1. |
| | Tecnomatix Jack | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,75 | 1,00 | 0,75 | 0,88 | 2. |
| | Human Solutions | 0,25 | 0,67 | 1,00 | 0,75 | 1,00 | 0,75 | 0,76 | 4. |
| | Pro/engineer | 0,75 | 0,67 | 1,00 | 0,75 | 1,00 | 0,75 | 0,78 | 3. |
| | Váhy | 0,03 | 0,28 | 0,06 | 0,08 | 0,15 | 0,4 | | |
| | Báze | 8 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | | |

Metoda TOPSIS

Metodou navazující na ty předchozí je metoda TOPSIS. Ta je postavena na vytvoření ideální varianty. Nejlepší varianta je ta, která je právě ideální variantě H nejbližší a bazální variantě D nejdále. Hodnocení vybraných softwarů je znázorněno (viz Tab. 25)

Tab. 25 Kritéria pro metodu TOPSIS

| | | KRITÉRIA | | | | | |
|--|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | k ₁ | k ₂ | k ₃ | k ₄ | k ₅ | k ₆ |

| | | | | | | | |
|-----------------|------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Varianty | Catia V5R19 | 4 | 4 | 8 | 6 | 8 | 8 |
| | Tecnomatix Jack | 8 | 6 | 8 | 6 | 8 | 6 |
| | Human Solutions | 2 | 4 | 8 | 6 | 8 | 6 |
| | Pro/engineer | 6 | 4 | 8 | 6 | 8 | 6 |

Základní podmínkou pro uplatnění metody TOPSIS, je maximalizační typ všech porovnaných kritérií. Poté následoval výpočet normalizace hodnot dle rovnice 17. Normalizované hodnoty jsou uvedeny (viz Tab. 26).

Tab. 26 Normalizované hodnoty kritérií

| | | KRITÉRIA | | | | | |
|-----------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | k₁ | k₂ | k₃ | k₄ | k₅ | k₆ |
| Varianty | Catia V5R19 | 0,033 | 0,048 | 0,031 | 0,047 | 0,031 | 0,047 |
| | Tecnomatix Jack | 0,067 | 0,071 | 0,031 | 0,035 | 0,031 | 0,035 |
| | Human Solutions | 0,017 | 0,048 | 0,031 | 0,035 | 0,031 | 0,035 |
| | Pro/engineer | 0,050 | 0,048 | 0,031 | 0,035 | 0,031 | 0,035 |

Dalším krokem je vytvoření vážené kritériální matice (viz Tab. 27). Každý *j*-tý sloupec normalizované kritériální matice vynásobí s odpovídající vahou v_i dle rovnice 18.

Tab. 27 Vážená normalizovaná kritériální matice

| | | KRITÉRIA | | | | | |
|-----------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | k₁ | k₂ | k₃ | k₄ | k₅ | k₆ |
| Varianty | Catia V5R19 | 0,001 | 0,013 | 0,002 | 0,004 | 0,005 | 0,019 |
| | Tecnomatix Jack | 0,002 | 0,020 | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,014 |

| | | | | | | | |
|--|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Human Solutions | 0,001 | 0,013 | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,014 |
| | Pro/engineer | 0,002 | 0,013 | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,014 |

Pomocí normalizované kriteriální matice je vytvořena ideální a bazální varianta. Poté se sestaví ideální (H) a bazální (D) varianta a jejich vzdálenost od ideální varianty podle rovnice 21 a 22.

Na konec se ze vzdálenosti od bazální a ideální varianty vypočítá relativní ukazatel vzdálenosti od bazální varianty. Podle klesajícího ukazatele c_i podle rovnice 23 a následě lze software seřadit od nejvhodnějšího k nejméně vhodnému (viz Tab. 28).

Tab. 28 Stanovení pořadí metodou TOPSIS

| | | H | D | H - D | c_i | Pořadí |
|-----------------|------------------------|----------|----------|--------------|-------------------------|---------------|
| Varianty | Catia V5R19 | 0,00005 | 0,00477 | 0,00481 | 0,990562 | 2. |
| | Tecnomatix Jack | 0,00002 | 0,00683 | 0,00686 | 0,996718 | 1. |
| | Human Solutions | 0,00007 | 0,00000 | 0,00007 | 0 | 4. |
| | Pro/engineer | 0,00007 | 0,00100 | 0,00107 | 0,937038 | 3. |

6 Zhodnocení výběru

Výběr vhodného ergonomického softwaru je velmi důležitý proto, aby se mohlo předcházet úrazům na pracovištích. Tím, že bude zaměstnanec pracovat na ergonomicky správném pracovním místě, může maximálně využít své schopností, znalostí, dovedností a potenciálu k lepšímu pracovnímu výkonu. To poté zefektivňuje požadované výstupy.

Do hodnocení byly zařazeny čtyři ergonomické softwary – Catia V5R19, Tecnomatix Jack, Human Solutions a Pro/engineer. Výběr softwarů probíhal rešerší, z toho ergonomický software – Catia V5R19 je momentálně využíván na ergonomickém oddělení společnosti ŠKODA AUTO a.s.

Během rešerše byla stanovena kritéria na hodnocení softwarů: cena licence, operační software, grafika softwaru, jazyk softwaru, moduly softwaru a kompatibilita se softwarem, ve kterém pracují konstruktéři.

Pomocí Saatyho matice bylo vyhodnoceno, že nejvyšší váhu při rozhodování má skupina kritéria kompatibility softwaru se softwarem, který používají konstruktéři (váha kritéria 0,40). Na druhém místě se umístilo kritérium s operačním softwarem (váha kritéria 0,28) Je důležité, aby vybraný ergonomický software bylo možné instalovat do stávajícího, který je na oddělení využíván a nemusel se kvůli softwaru pořizovat nový. Jako třetí nejdůležitější kritérium byl vyhodnocen jazyk ergonomického softwaru (váha kritéria 0,15). Toto kritérium je také důležité pro usnadnění práce a porozumění softwaru. Jako čtvrté bylo vyhodnoceno kritérium na moduly jednotlivých softwarů a obsah knihoven (0,08). Bylo důležité, aby daný nový software obsahoval minimálně všechny moduly, které jsou využívány ve stávajícím softwaru. Pátý nejdůležitější požadavek byl určen grafika daného softwaru (0,06). Grafika vybraného softwaru je důležitá pro precizní zachycení virtuální postavy a simulování aktivit při práci. Při špatné grafice může dojít ke špatnému vyhodnocení, kdy daný uživatel nevidí nepřesnosti při sestavování pohybů při pracovní činnosti virtuální postavy. Jako poslední byla zvolena cena licence (0,03), která není úplně důležitá při výběru, ale nesmí být opomenuta jako jedno z kritérií při výběru.

Po vyhodnocení vah jednotlivých kritérií, kdy všechna kritéria byla vyhodnocena za maximalizační se sestavily výsledné hodnocení jednotlivých softwarů. Podle bazické metody se na prvním místě se umístil stávající software Catia V5R19

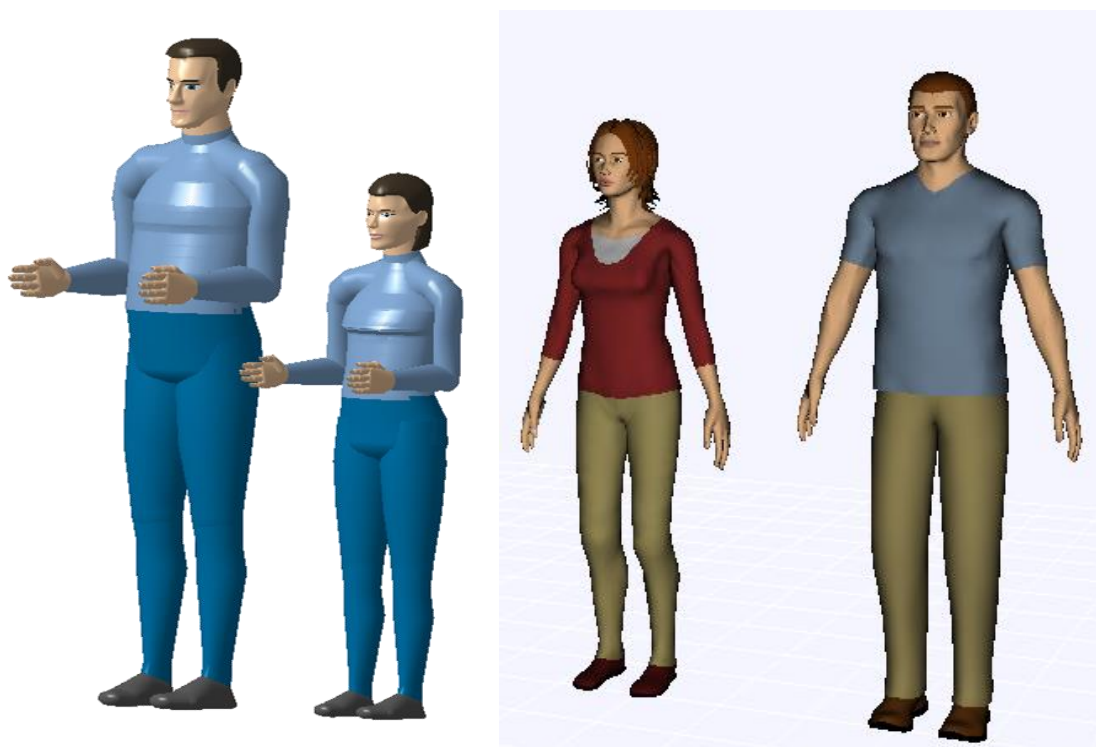
s hodnocením 0,90. Tento stávající software dostal nejvyšší hodnocení téměř ve všech kategoriích. Na druhém místě se umístil software Tecnomatix Jack s ohodnocením 0,86. Tecnomatix Jack, který až na hodnocení kompability se softwarem od konstruktérů, měl ve všech kategoriích téměř nejvyšší hodnocení. Na třetím místě se umístil software Pro/engineer s hodnocením 0,78. Těsně za ním se umístil software Human Solutions s hodnocením 0,77.

Nakonec byla provedena metoda TOPSIS, která vyhodnotila, jak se daný software nachází od ideální varianty. Hodnocení daných softwarů se od bazické metody dost lišilo, a to v rozdílu mezi Catia V5R19 a Tecnomatix Jack. V metodě TOPSIS se na prvním místě umístil Tecnomatix Jack se vzdáleností od bazální varianty 0,996718. Na druhém místě se umístil software společnosti ŠKODA AUTO a.s. Catia V5R19 se vzdáleností od bazální varianty 0,990562. Po zaokrouhlení se neliší Catia V5R19 od Tecnomatix Jack. Rozdíly mezi nimi jsou jen v tisícinách. Na třetím místě umístil software Pro/engineer s hodnocením 0,937038 od bazální varianty. Na posledním místě se umístil software Human Solutions s hodnocením 0 od bazální varianty.

Pokud by se ergonomické oddělení ve ŠKODA AUTO a.s. rozhodlo pro změnu softwaru, tak by mělo zvolit software, který se dle vícekritériálního hodnocení umístil na druhém místě v bazické metodě a na prvním místě v metodě TOPSIS, a to Tecnomatix Jack od společnosti Siemens.

7 Porovnání Tecnomatix Jack a CatiaV5R19

Už z vícekritériálního rozhodování je patrné, že každý z těchto uvedených softwarů má své silné a slabé stránky. Oba softwary obsahují model virtuálního člověka, který je možné měnit dle vlastních preferencí. Nastavit lze rasu, pohlaví, věk a tělesné proporce. V Catia V5R19 se tento virtuální člověk nazývá Delmia V5. V Tecnomatix Jack je virtuální postavou muž Jack nebo žena Jill. Tyto zmíněné postavy jsou znázorněny na Obr. 13, kde vlevo jsou postavy ze softwaru Catia V5R19 a vpravo z Tecnomatix Jack.



Obr. 13 Virtuální postavy v Delmia V5 a Tecnomatix Jack

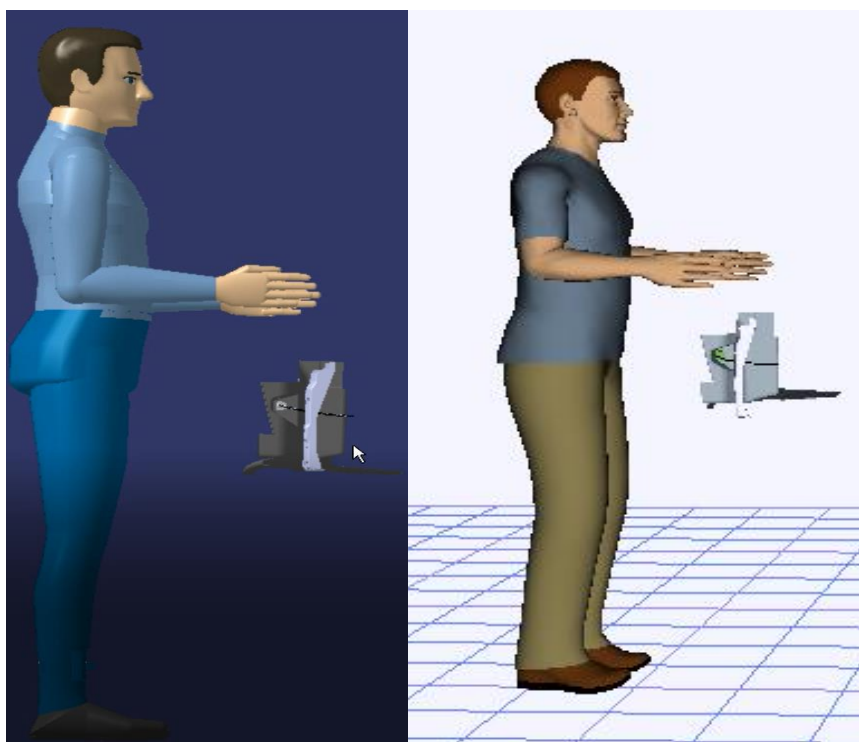
Případová studie

Na obou simulacích je vytvořené identické prostředí Simulace. V něm se nachází teplotní čidlo. Pro simulaci byl zvolen díl teplotního čidla, na kterém se bude provádět daná simulace pracovní činnosti (viz Obr. 14).



Obr. 14 Teplotní čidlo zhotovené konstruktéry

Při montáži musí pracovník prostrčit prsty okolo konektoru čidla. Úprava je časově a finančně náročná. Proto je potřeba prověření v datech, zda je nezbytná. Obě simulace zkoumají, zda se prsty pracovníka vlezou do prostoru okolo konektoru. Pracovní prostředí je znázorněno (viz Obr. 15).



Obr. 15 Pracovní místa v Delmia V5 a Tecnomatix Jack

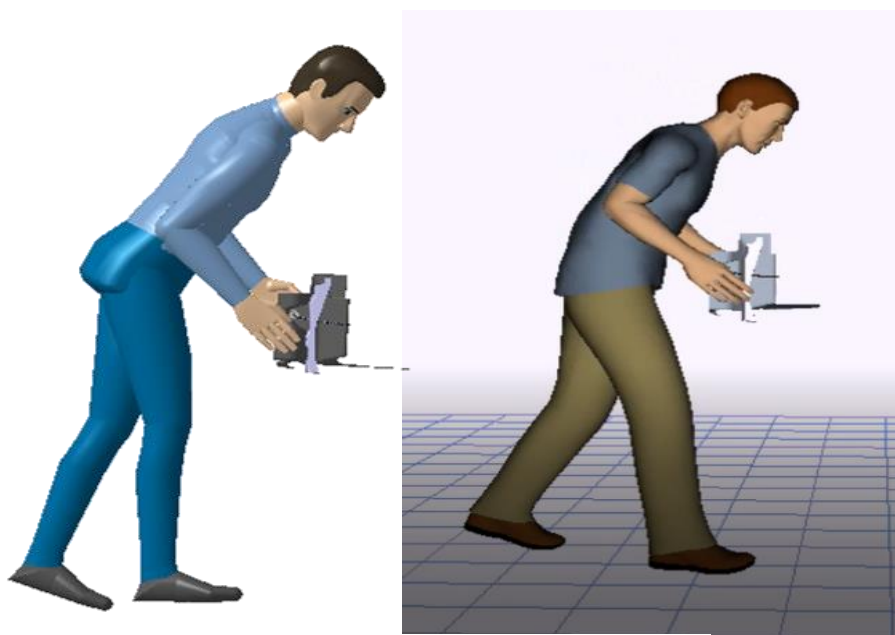
Průběh simulace

Podmínky při sestavování byly:

- Zjistit, jakým způsobem a kde se nyní na lince montuje,
- vybrání vhodné postavy na kontrolu,
- zajistit potřebná data,
- stanovení výšky pracovní roviny.

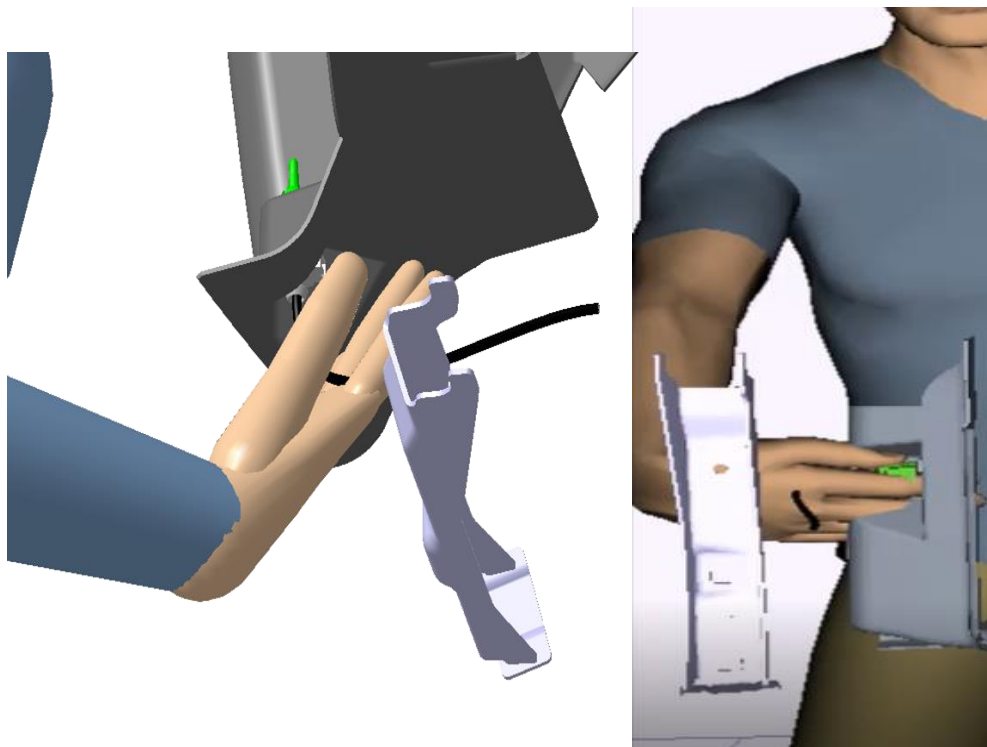
Pro simulaci pohybu je potřebné mít zkušenosti z pracovní linky, na níž se provádí obdobná montáž. Podle definovaných podmínek byl na obě pracoviště umístěn člověk stejných tělesných proporcí a o stejné výšce. Jako virtuální člověk byl zvolen muž padesátého percentilu.

Po definování vstupních podmínek je možné zhotovit základní postoj pracovníka při montáži. Pracovník zaujme základní postoj a mírně se předkloní, pokud to při montáži bude nutné. Základní postoj při práci je znázorněn na Obr. 16.



Obr. 16 Základní postoj při montáži

Pomocí funkce reverzní kinematiky, která je součástí obou programů, se nastaví paže a dlaň do neoptimálnější polohy při práci. Reverzní kinematika je nástroj, který umožní simulujícímu pohybovat paží do polohy, která je reálnému člověku přirozená. U figuríny se ale hýbe do této polohy rukou. Poloha paže a ruky je znázorněna na Obr. 17, vlevo zhotovené v Catii V5R19 a vpravo v Tecnomatix Jack.



Obr. 17 Nastavení paže a daně

Poté už se jen dlaň a prsty nastaví do závěrečné polohy, která ukáže výsledek simulace. Konečné uchycení teplotního čidla je znázorněno na Obr. 18.



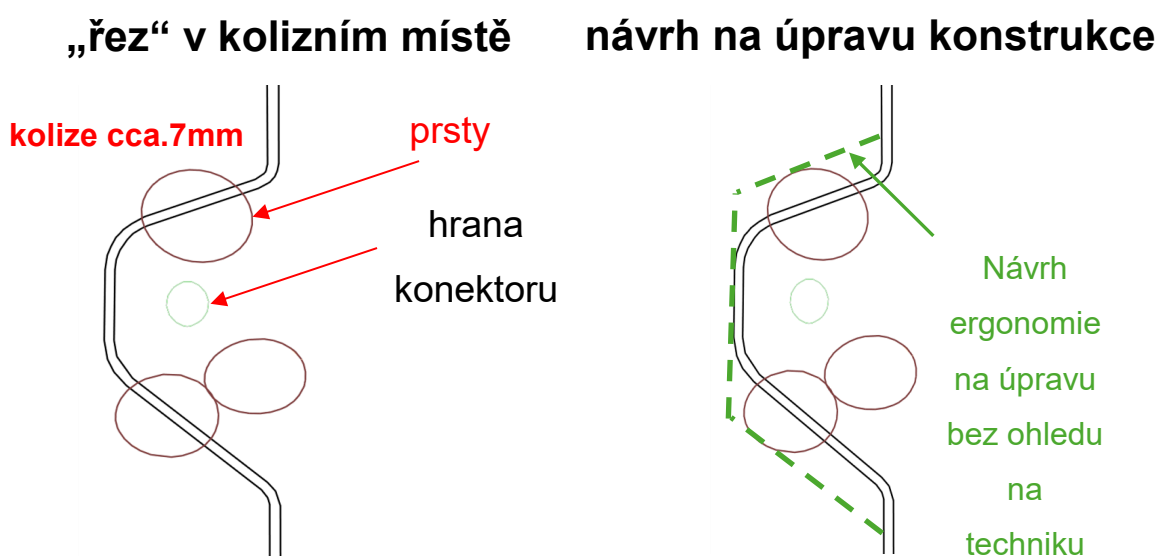
Obr. 18 Konečné natočení ruky do polohy montáže

Zhodnocení

Do softwaru Catia V5R19 lze vložit dokumenty dílů přímo od konstruktérů, kteří pracují se softwarem Catia. Do Jacku se musel model převést do formátu .Jt, který Tecnomatix Jack podporuje. Není se softwarem Catia od konstruktérů napřímo kompatibilní. Poté jde do obou prostředí vložit virtuální postava, která simuluje práci

v dané situaci. Po vložení virtuální postavy do vybraného pracovního prostředí je možné zjistit, jestli je pracovní činnost za daných podmínek možná, nebo se musí podmínky změnit, aby byly ergonomicky v pořádku. Tím se zabrání riziku zranění a pomocí simulací jde zjistit optimální umístění strojů a nástrojů na daném pracovišti, ověření montáže daných dílů, popřípadě lze vyhodnotit řadu dalších faktorů. Výsledkem u obou softwarů je pracoviště, na kterém daný pracovník dokáže efektivně pracovat bez jakýkoliv obtíží a zranění.

V obou softwarech bylo vyhodnoceno, že otvor v díle je malý a pro člověka je nemožné tam strčit prsty. To je znázorněno na Obr. 19.



Obr. 19 Návrh ergonomicky správného prostoru

Výsledkem simulace je návrh plochy, která zajistí dostatečný prostor pro prsty. Nyní je na dalších odborných útvarech (elektrikáři, lisaři plastů, aerodynamici a technici pasivní bezpečnosti a designéři) aby posoudili, zda je návrh realizovatelný.

Při simulaci jednotlivých pracovních úkonů trvala simulace v Catii V5R19 1,5 hodiny a v Tecnomatix Jack trvala padesát minut.

Z přiblíženého Obr. 18, na kterém je zachycena montáž čidla je patrné, že Tecnomatix Jack má reálnější zobrazení ruky virtuální postavy než Catia V5R19.

V Tecnomatix Jack jsou na rozdíl od Catie V5R10 znázorněny směry pohybu, kam se bude s danou částí pohybovat. To v Catii V5R19 není a může to být pro nového uživatele velmi matoucí.

Při porovnání vždy nastanou malé odchylky. Žádnou simulaci nelze vyhodnotit se 100 % přesností. Odchylky mohly nastat při virtuálního úchopu předmětu, kdy prsty nebyly totožně umístěny na předmět. Jak bylo vyhodnoceno v kapitole vícekriteriálního rozhodování, oba softwary jsou si velice podobné a pracují na podobném principu. To se projevilo i při jejich praktickém porovnání.

Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce byl výběr a hodnocení simulačních softwarů pro ergonomii ve výrobním průmyslu. Na trhu se nachází několik ergonomických softwarů, které nabízí různé ergonomické analýzy a simulace. Byly vybrány potenciálně vhodné softwary. A po následném porovnání metodami zmíněnými v předešlých kapitolách byl určen pomocí vícekriteriálního hodnocení variant nejvhodnější software.

Tato práce se skládá z devíti kapitol, z toho první kapitola je úvod a devátá kapitola je závěr. V druhé kapitole byla popsána vybraná společnost ŠKODA AUTO a.s.. Ve třetí kapitole byla popsána ergonomie, kde se ergonomie popisuje v systému Člověk – Technika – Prostředí, ergonomické faktory při práci na pracovišti, organizace práce, fyzická zátěž při práci a metody ergonomického hodnocení. Metodika vícekriteriálního hodnocení variant byla popsána ve čtvrté kapitole. V počátku této kapitoly byl popsán rozhodovací proces, a prvky rozhodování. Následně bylo popsáno vícekriteriální rozhodování, kde byly charakterizovány jednotlivé metody ke stanovení vah kritérií a metody vícekriteriálního hodnocení.

Poté byl popsán stávající software Catia V5R19, který je momentálně používán ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. Byly v něm definovány moduly, které software umí vyhodnocovat a nově vybraný software by je měl také splňovat.

Následovně byly popsány vybrané softwary na porovnání Tecnomatix Jack, Pro/engoneer a Human Solutions.

Byla sestavena vícekriteriální analýza těchto variant softwarů, jejíž součástí bylo i určení kritérií hodnocení. Nejdůležitějším kritériem bylo, aby daný software byl kompatibilní se softwarem, který používají konstruktéři. Druhým kritériem byl operační software, který musí být daným ergonomickým softwarem podporován. Třetím kritériem byly moduly, které jednotlivé softwary obsahují. Čtvrtým kritériem byl jazyk softwaru. Pátým kritériem byla grafika softwaru. Posledním určeným kritériem byl finanční obnos, který by musel být vynaložen na zakoupení licence pro daný ergonomický software.

Po výpočtu bazické metody se na prvním místě umístil stávající software ŠKODA AUTO a.s. Catia V5R19. Na druhém místě se umístil software Tecnomatix Jack, který obsahuje stejné moduly jako Catia V5R19. Na rozdíl od ní se musí soubory od

konstruktérů exportovat do jiného formátu. Na poslední příčce se umístil software Human Solution, který má drahou licenci.

Na základě hodnocení metody TOPSIS se na prvním místě umístil Tecnomatix Jack, který měl jen o pár tisíců lepší hodnocení než stávající software Catia V5R19. Ten se umístil na druhém místě. Na třetím místě byl Pro/engoneer a na posledním místě se umístil software Human Solution.

Výsledné softwary – Tecnomatix Jack a Catia V5R19 byly poté porovnány na simulaci z montážní linky. Oba softwary vyhodnotili, že daná montáž není možná, protože pracovník nemá v díle dostatečné množství místa na uchycení čidla prsty. K simulaci byla použita reverzní kinematika, kterou mají oba dva softwary. I přes to sestavení simulace v Tecnomatix Jack zabralo padesát minut, zatímco v Catii V5R19 zabrala 1,5 hodiny.

Věřím, že zjištění obsažená v této práci mohou pomoci vylepšit pracovní podmínky ve ŠKODA AUTO a.s. a pomoci zaměstnancům této firmy dosahovat lepších pracovních výkonů při dodržení vysokých standardů bezpečnosti práce.

Seznam literatury

3D Manikin & Ergonomics Simulation [online]. Human Solutions [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.human-solutions.com/en/products/ramsis-general/index.html>

About Creo Manikin [online]. AVENG [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: http://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/usascii/index.html#page/model_analysiss/manikin/About_PTC_Creo_Manikin.html

BAUMRUK, Martin. *Tecnomatix Jack 7.0* [online]. Siemens, 2010 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/Images/Tecnomatix_Jack_7_tcm841-117308.pdf

BROŽOVÁ, Helena, Milan HOUŠKA a Tomáš ŠUBRT. *Modely pro vícekriteriální rozhodování*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2014 dotisk. ISBN 978-80-213-1019-3.

FIALA, Petr a Miroslav MAŇAS. *Vícekriteriální rozhodování: Určeno pro stud. všech fak.* Praha: Vysoká škola ekonomická, 1994. ISBN isbn80-7079-748-7.

FIALA, Petr. *Modely a metody rozhodování*. 3., přeprac. vyd. V Praze: Oeconomica, 2013. ISBN isbn-978-80-245-1981-4.

FOTR, Jiří a Lenka ŠVECOVÁ. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. Třetí, přepracované vydání. Praha: Ekopress, 2016. ISBN isbn978-80-87865-33-0.

FRIEBELOVÁ, Jana a Jana KLICNAROVÁ. *Rozhodovací modely pro ekonomy*. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Ekonomická fakulta, 2007. ISBN isbn978-80-7394-035-5.

GILBERTOVÁ, Sylva a Oldřich MATOUŠEK. *Ergonomie: optimalizace lidské činnosti*. Praha: Grada, 2002. ISBN isbn80-247-0226-6.

GLIVICKÝ, Vladimír. *Úvod do ergonomie*. Praha: Práce, 1975. Příručky Práce.

HLÁVKOVÁ, Jana, VALEČKOVÁ, Alena: *Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik*. Praha: SZÚ, 2007.

HŘEBÍČEK, Jan a Michal ŠKRTLA. *Úvod do matematického modelování* [online]. 2006 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2007/Bi3101/um/skripta.pdf>

Human Workplace Design and Simulation™: eady-to-use V5 Solution to Design, Simulate, Validate and Analyze Human Workcell Assembly Tasks [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: DASSAULT SYSTÈMES. Human Workplace Design and Simulation™ [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/DELMIA/Resources-center/PDF/delmia-human-workplace-design-simulation.pdf>

CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013.

JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing, 2002. ISBN isbn80-86419-42-8.

KOSINA, Miroslav a kolektiv autorů. *BEZPEČNOST PRÁCE – NEDÍLNÁ SOUČÁST ŽIVOTA*. Praha: Českomoravská konfederace odborových svazů v rámci projektu „Posilování sociálního dialogu“ ve vydavatelství Educa Service, 2008. ISBN 978-80-90391-79-6.

KROEMER, Karl H. E., H. B KROEMER a K. E. KROEMER-ELBERT. *Ergonomics: how to design for ease and efficiency*. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, c2001. Prentice Hall international series in industrial and systems engineering. ISBN 0-13-752478-1.

MALÝ, Stanislav, Lenka SVOBODOVÁ, Jiří TILHON a Iveta MLEZIVOVÁ. *Ergonomické stresory pod kontrolou, aneb, Ergonomie - jak na to*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2016. ISBN isbn978-80-87676-27-1.

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

MIRAS. *Management - Rozhodování* [online]. In: . [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <http://www.miras.cz/seminarky/management-rozhodovani.php>

Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci: NAŘÍZENÍ VLÁDY. In: . 2007, 361/2007 Sb.

OLDŘICH, Matoušek. *Bezpečnost práce při manipulaci s břemeny*. 2006. Praha: VÚBP, 2006. ISBN 80-86973-06-9.

POIRSON, Emilie a Mathieu DELANGLE. Comparative analysis of human modeling tools. *HAL* [online]. USA: International Digital Human Modeling Symposium, 2013, , 7 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01240890/document>

POLÁŠEK, Patrik, Marek BUREŠ a Michal ŠIMON. *Comparison of Digital Tools for Ergonomics in Practice* [online]. Department of Industrial Engineering and Management, University of West Bohemia, 2014 [cit. 2021-04-19].

RENATA, Machová, Jiří KŘUPKA a Miloslava KAŠPAROVÁ. *Rozhodovací procesy* [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní, 2012 [cit. 2021-04-06]. ISBN ISBN 978-80-7395-478-9. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1157600-Jiri-krupka-miloslava-kasparova-renata-machova.html>

SVOZILOVÁ, Alena. *Projektový management*. 3. Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-271-0075-0.

ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN isbn978-80-7380-345-2.

TAYLOR, Geoffrey A., Kellie EASTER a Roy HEGNEY. *Enhancing occupational safety and health*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004. ISBN 0-7506-6197-6.

Tvoříme historii již 125 let [online]. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/o-spolecnosti/historie>

Výroční zpráva ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO, 2021, ročník 2021, číslo 1. Dostupné také z: https://www.skoda-auto.com/_doc/06955328-692a-4db9-9b89-f9c147717e7f

WILHELMSSEN, Cheryl, A., OSTROM, Lee, T., STACK, Theresa, *OCCUPATIONAL ERGONOMICS: A Practical Approach*. Canada: Wiley, 2016. 560 s. ISBN 978-1-118-81421-5.

WILLIAMS, Claire, SHORROCK, Steven, *Human Factors and Ergonomics in Practice*. Boca Ratón: CRC Press, 2017. 422 s. ISBN 978-1-4724-3925-3.

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Základna ergonomie..... | 14 |
| Obr. 2 Systém Člověk – Technika – Prostředí..... | 15 |
| Obr. 3 Dosahy rukou při práci vsedě – svislá rovina | 19 |
| Obr. 4 Dosahy rukou při práci vsedě i vstoje – svislá poloha | 20 |
| Obr. 5 Dosahy rukou vstoje – svislá rovina | 21 |
| Obr. 6 Mezní hodnoty výšky manipulační roviny (rozměry jsou v milimetrech) | 22 |
| Obr. 7 Svalová síla v závislosti na pohlaví a věku..... | 27 |
| Obr. 8 Moment síly | 28 |
| Obr. 9 Přehled metod pro stanovení vah kritérií | 35 |
| Obr. 10 Metody vícekritériálního hodnocení variant vedoucí k převodu na bezrozměrné vyjádření..... | 43 |
| Obr. 11 Vztah realita – model – teorie..... | 47 |
| Obr. 12 Určení vlastního čísla amice v Mathcadu | 59 |
| Obr. 13 Virtuální postavy v Delmia V5 a Tecnomatix Jack..... | 67 |
| Obr. 14 Teplotní čidlo zhotovené konstruktéry | 68 |
| Obr. 15 Pracovní místa v Delmia V5 a Tecnomatix Jack | 68 |
| Obr. 16 Základní postoj při montáži..... | 69 |
| Obr. 17 Nastavení paže a daně..... | 70 |
| Obr. 18 Konečné natočení ruky do polohy montáže..... | 70 |
| Obr. 19 Návrh ergonomicky správného prostoru..... | 71 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tab. 1 Antropometrické údaje - tělesná výška..... | 18 |
| Tab. 2 Oblasti působení rukou vsedě, vstoje – svislá rovina..... | 20 |
| Tab. 3 Přípustné hmotnostní limity ručně manipulovaných břemen | 28 |

| | |
|--|----|
| Tab. 4 Doporučené maximální tlačné a tažné síly..... | 28 |
| Tab. 5 Nalezení preference kritérií u metody párového srovnávání | 37 |
| Tab. 6 Saatyho doporučená bodová stupnice s deskriptory | 38 |
| Tab. 7 Preference dvojic v Saatyho metodě..... | 39 |
| Tab. 8 Saatyho matic s doporučenými váhami kritérií | 40 |
| Tab. 9 Průměrný index konzistence | 41 |
| Tab. 10 Výrobci ergonomických softwarů..... | 50 |
| Tab. 11 Ceny licencí vybraných softwarů | 53 |
| Tab. 12 Operační systémy softwarů..... | 54 |
| Tab. 13 Grafika softwarů | 55 |
| Tab. 14 Jazyk softwarů | 55 |
| Tab. 15 Moduly jednotlivých softwarů | 56 |
| Tab. 16 Doba vyhodnocení analýz..... | 56 |
| Tab. 17 Průměrné hodnocení preferencí kritéria ve zlomcích | 58 |
| Tab. 18 Průměrné hodnocení preferencí kritéria | 58 |
| Tab. 19 Váha kritéria | 58 |
| Tab. 20 Informace o kritériích jednotlivých softwarů..... | 60 |
| Tab. 21 Slovní ohodnocení..... | 61 |
| Tab. 22 Bodové ohodnocení jednotlivých kritérií | 61 |
| Tab. 23 Kritéria pro bazickou metodu..... | 62 |
| Tab. 24 Hodnocení softwarů bazickou metodou | 62 |
| Tab. 25 Kritéria pro metodu TOPSIS..... | 62 |
| Tab. 26 Normalizované hodnoty kritérií | 63 |
| Tab. 27 Vážená normalizovaná kriteriální matice..... | 63 |
| Tab. 28 Stanovení pořadí metodou TOPSIS..... | 64 |

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

| | | | |
|---|--|----------------------|------|
| AUTOR | Bc. Kateřina Škodová | | |
| STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE | specializace Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců | | |
| NÁZEV PRÁCE | Výběr a hodnocení simulačních softwarů pro ergonomii ve výrobním průmyslu | | |
| VEDOUCÍ PRÁCE | Vedoucí práce: Ing. Pavel Wicher, Ph.D. | | |
| KATEDRA | KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality | ROK ODEVZDÁNÍ | 2021 |
| POČET STRAN | 81 | | |
| POČET OBRÁZKŮ | 19 | | |
| POČET TABULEK | 28 | | |
| POČET PŘÍLOH | 0 | | |
| STRUČNÝ POPIS | <p>Ergonomie je jedním z vědních oborů, který se snaží o vylepšení daných podmínek v pracovním prostředí. Udává vhodné rozměry a tvary nástrojů, rozmístění strojů na pracovišti a určuje optimální dosahové vzdálenosti pracovníka. V oboru ergonomie existuje několik ergonomických softwarů, které jsou nápomocny při simulování procesů z pracovního prostředí. Pomocí těchto softwarů je možné zjistit, zda jsou během výkonu práce dodrženy vhodné pracovní podmínky. Cílem diplomové práce je provést řešerši a komperativní analýzu softwarových programů pro simulaci ergonomických problémů ve výrobním průmyslu. Následně se provede simulace vybraného ergonomického problému v podmínkách ŠKODA AUTO a.s.</p> | | |
| KLÍČOVÁ SLOVA | Ergonomie, vícekriteriální rozhodování, software, simulace | | |

ANNOTATION

| | | | |
|-----------------------------|--|-------------|-------------|
| AUTHOR | Bc. Kateřina Škodová | | |
| FIELD | Specialization International Supply Chain Management | | |
| THESIS TITLE | Choice and evaluation of simulation software for ergonomics in the manufacturing industry | | |
| SUPERVISOR | Ing. Pavel Wicher, Ph.D. | | |
| DEPARTMENT | KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management | YEAR | 2021 |
| NUMBER OF PAGES | | | |
| | 81 | | |
| NUMBER OF PICTURES | | | |
| | 19 | | |
| NUMBER OF TABLES | | | |
| | 28 | | |
| NUMBER OF APPENDICES | | | |
| | 0 | | |
| SUMMARY | <p>Ergonomics is scientific disciplines that seeks to improve the conditions in the work environment. It specifies suitable dimensions and shapes of tools, the location of machines in the workplace and determines the optimal range of the worker. In the field of ergonomics, there are several ergonomic software that are helpful in simulating processes from the work environment. With the help of these softwares, it is possible to determine whether suitable working conditions are observed during the performance of work. The aim of the master thesis is to perform a research and comparative analysis of software programs for the simulation of ergonomic problems in the manufacturing industry. Subsequently, a simulation of the selected ergonomic problem is performed in the conditions of ŠKODA AUTO a.s.</p> | | |
| KEY WORDS | Ergonomics, multi – criteria decision, software, simulation | | |