

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra technologických zařízení staveb**



## **Diplomová práce**

**Optimalizace pracoviště montážní linky za využití  
programu Siemens PLM Process Simulate**

**Bc. Jakub Červenec**

© PRAHA 2021 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Červenec

Technika a technologie v dopravě a spojích  
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Optimalizace pracoviště montážní linky za využití programu Siemens PLM Process Simulate**

Název anglicky

**Optimization of the assembly line workplace using Siemens PLM Process Simulate**

---

### Cíle práce

Cílem práce je navrhnout optimalizaci stanoviště pracovní linky pro finální montáž osobních vozidel ve společnosti, zabývající se výrobou automobilů za využití podpory programu Siemens PLM Process Simulate. Primárním cílem je porovnání parametrů při využití ruční montáže a montáže s využitím automatických robotů. Sekundárním cílem je posouzení obou řešení na základě ekonomických parametrů.

### Metodika

Autor by měl vytvořit virtuální modely obou posuzovaných návrhů za pomoci simulačního programu Siemens PLM Process Simulate. Dále by měl stanovit soubor parametrů, na jejichž základě bude možné obě řešení porovnat. Pro variantu stanoviště s ruční montáží by měl autor navíc definovat ergonomickou náročnost jednotlivých operací a tuto skupinu parametrů zahrnout do celkového hodnocení. Pro vyhodnocení optimálního řešení by měl autor využít zvolené statistické metody.

## **Doporučený rozsah práce**

40 stran, včetně příloh

## **Klíčová slova**

ergonomie, montážní linka, optimalizace, výrobní proces, automatizace

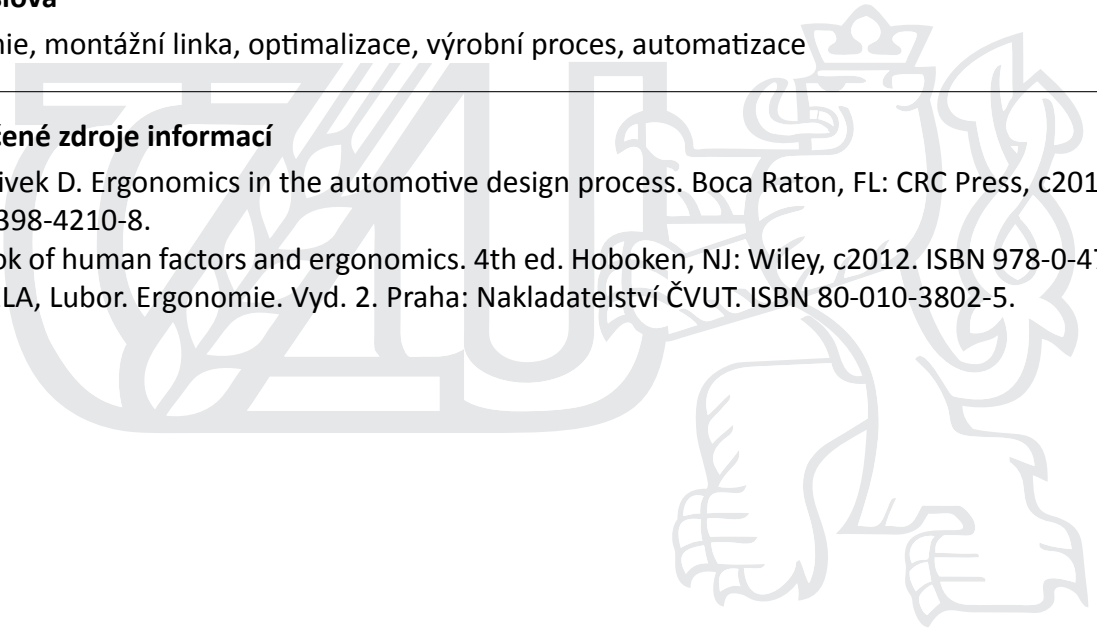
---

## **Doporučené zdroje informací**

BHISE, Vivek D. Ergonomics in the automotive design process. Boca Raton, FL: CRC Press, c2012. ISBN 14-398-4210-8.

Handbook of human factors and ergonomics. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2012. ISBN 978-0-470-52838-9.

CHUNDELA, Lubor. Ergonomie. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT. ISBN 80-010-3802-5.



---

## **Předběžný termín obhajoby**

2020/2021 LS – TF

## **Vedoucí práce**

Ing. Michal Hruška, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Technická fakulta

V Praze dne 07. 05. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **Optimilizace pracoviště montážní linky za využití programu Siemens PLM Process Simulate** vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 05. 2021

---

Jméno Příjmení

## **Poděkování**

Úvodem mé práce bych chtěl poděkovat všem, jenž mi při tvorbě této práce pomohli, zejména pak panu Ing. Michalovi Hruškovi, Ph. D. za cenné náměty a připomínky. Dále pak mé rodině a zaměstnavateli za morální a časovou podporu ve studiu.

## **Optimalizace pracoviště montážní linky za využití programu Siemens PLM Process Simulate**

**Abstrakt:** Tato diplomová práce se zabývá optimalizací montážní linky pomocí simulačního programu Process Simulate. Cílem bylo porovnání mezi ruční a robotickou linkou pro překládání zadních náprav automobilů v oblastech ergonomie, časového taktu a ekonomie. V teoretické části jsou především vysvětleny o procesech montážních linek a jejich angažování do průmyslu 4.0. Doba digitalizace přenáší nové poznatky v simulačním programu Process Simulate a také v ergonomii. V praktické části jsou využita porovnání současné ruční montážní linky a návrhu automatizace pomocí robota. Je popsáno postup vytváření simulačního výrobního procesu a poznatky v reálném prostředí. Na základě analýzy je kalkulována porovnatelnost návratnosti a investice těchto odlišných pracovních prostředí.

**Klíčová slova:** ergonomie, montážní linka, optimalizace, výrobní proces, automatizace

### **Optimization of the assembly line workplace using Siemens PLM Process Simulate**

**Summary:** This diploma thesis deals with the optimization of the assembly line using the simulation program Process Simulate. The aim was to compare the manual and robotic line for transferring the rear axles of cars in the areas of ergonomics, time cycle and economics. The theoretical part mainly explains the processes of assembly lines and their involvement in industry 4.0. The time of digitization transmits new knowledge in the simulation program Process Simulate and also in ergonomics. The practical part uses a comparison of the current manual assembly line and the design of automation using a robot. The procedure of creating a simulation production process and knowledge in a real environment are described. Based on the analysis, the comparability of returns and investments of these different environments is calculated.

**Key words:** ergonomics, assembly line, optimization, production process, automation

# Obsah

1	Úvod .....	1
2	Cíl práce a metodika .....	2
2.1	Cíl práce.....	2
2.2	Metodika .....	2
3	Teoretická část .....	3
3.1	Montážní linka .....	3
3.2	Průmysl 4.0.....	6
3.3	Tecnomatix .....	10
3.3.1	Process Simulate .....	12
3.4	Ergonomie.....	18
3.4.1	Ergonomie v pracovním prostředí.....	20
4	Vlastní práce .....	24
4.1	Zadní náprava .....	24
4.2	Operace zadních náprav v montážních linkách .....	26
4.3	Popis stávající ruční montážní linky.....	27
4.3.1	Ergonomické vyhodnocení stávající linky .....	29
4.4	Návrh automatické montážní linky.....	29
4.4.1	Návrh robota a greiferu .....	31
4.4.2	Modelování a simulace v Process Simulate .....	34
4.4.3	Výsledek simulace.....	36
5	Ekonomické vyhodnocení .....	38
5.1	Kalkulace ruční montážní linky.....	38
5.2	Investice automatické montážní linky .....	39
6	Závěr.....	40
7	Seznam literatury .....	41
8	Seznam obrázků.....	44
9	Seznam tabulek.....	45
10	Přílohy.....	46

# 1 Úvod

Vzhledem k současné pandemické době, lze dobře vidět zrychlující, ekonomický a ekologický trend v automobilových výrobních závodech. Je to dáno většinou tlaku od specialistů a odborníků pro záchranu naší planety Země. Každá výroba a proces je nákladnou záležitostí a časově neefektivní. Díky průmyslu 4.0 a progresivitě digitalizování, lze dosáhnout vyšší úrovně automatizace a chytřejší umělé inteligence. Pomocí simulačního programu Process Simulate se tato práce zabývá optimalizací montážní linky. Cílem bylo porovnání mezi ruční a robotickou linkou pro překládání zadních náprav automobilů v oblastech ergonomie, časového taktu a ekonomie.

V teoretické části je vysvětleno, charakteristika montážní linky v automobilovém průmyslu. V kapitole je popsána stručná historie a současnost, především o bezpečnosti montážních linek v průmyslových sférách. Průmysl 4.0 velmi zasáhl proces montážních linek, protože se stále více klade důraz na přesnost automatizace. Tento důsledek, je vysvětlen v podkapitolách, jak se technologie digitalizace promítá u procesů v počítačových softwarech tzv. Tecnomatix, konkrétně v Process Simulate. Aby se nepoukázalo pouze o virtuálním a automatickém prostředí, nemělo by se opomenout lidská činnost na pracovištích. Práci na montážních linkách, mají taky svůj podíl operátoři. Jejich nezbytnou součástí každodenní rutiny je důležitá jejich ergonomie a to především v pracovním prostředí.

V pracovní části je zaměřeno na operaci zadních náprav v montážní lince. Zde je popsána operace pro jejich převěšování. Tato linka pro operaci 7 je charakterizována hlavně pracovními úkony a ději. Na začátku této části je vysvětlena a popsána současná ruční montážní linka, pracovní úkony a ergonomie operátorů. Vyhodnoceno je jejich účelnost a efektivnost, pak je porovnáno vlastní vizí, proč změnit z ruční linky na robotickou linku a profitovat účel této operace. Vše je zpracováno a vyhodnoceno v Process Simulate. Ke konci diplomové práce je oceněna ekonomická kalkulace jednotlivých linek a rozdíly jejich cen.



## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem práce je navrhnout optimalizaci stanoviště pracovní linky pro finální montáž osobních vozidel v automobilovém závodě za využití podpory programu Siemens PLM Process Simulate. Primárním cílem je porovnání parametrů při využití ruční montáže a montáže s využitím automatických robotů. Sekundárním cílem je posouzení obou řešení na základě ekonomických parametrů.

### **2.2 Metodika**

Autor by měl vytvořit virtuální modely obou posuzovaných návrhů za pomoci simulačního programu Siemens PLM Process Simulate. Dále by měl stanovit soubor parametrů, na jejichž základě bude možné obě řešení porovnat. Pro variantu stanoviště s ruční montáží by měl autor navíc definovat ergonomickou náročnost jednotlivých operací a tuto skupinu parametrů zahrnout do celkového hodnocení. Pro vyhodnocení optimálního řešení by měl autor využít zvolené statistické metody.

## 3 Teoretická část

### 3.1 Montážní linka

Montážní linka je jedním z procesů průmyslové výroby, ve kterém se postupným způsobem montují výrobky, komponenty nebo zaměnitelné části. Základní montážní linka je složena z dopravního pásu, který veze produkt přes několik pracovních stanic, až do jeho finálního výsledku. Složitější montážní linka má přívodné pásy k přepravě dílů na pracovní stanice podél linky. Tyto se používají hlavně pro stavbu automobilů a jiných složitějších zařízení. Vývoj montážních linek způsobil revoluci v průmyslové výrobě. Dnes je většina složek výrobního procesu při značné rozmanitosti průmyslových odvětví řízena počítačem. Princip montážní linky je stejný, ale jsou tam opakující úkony. Vyrábějí je elektrické stroje, známe jako průmyslové roboty na obr. 1. Ty se nejvíce používají v automobilovém průmyslu, ale také ve farmaceutické nebo potravinářské výrobě, kde se vyžadují sterilní, či bezprašné podmínky. Počítačové řízení se také používá u některých obráběcích strojů na výrobu součástí.

*Obr.1 Robotická montážní linka*

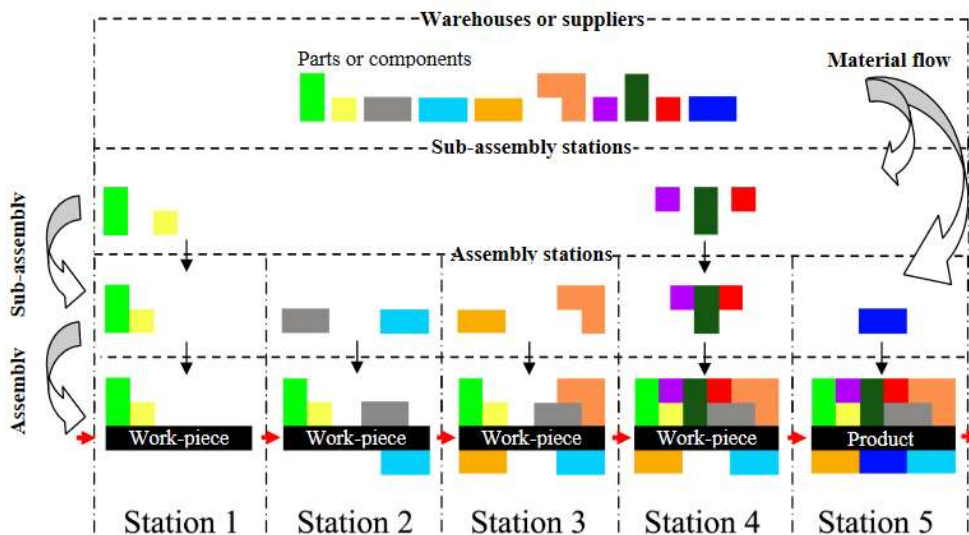


Zdroj: Simon Dawson/Bloomberg/Getty Images

Před koncem 18. století byl každý výrobek jedinečný. Jelikož ho vyrobil většinou jeden řemeslník podle návrhu z individuálně vyrobených dílů. V továrnách, která byla jednopodlažní bylo možné vyrobit i několik výrobků najednou. Dělníci, tak měli možnost vidět jejich postupný proces od začátku až do jeho konečného výsledku. Průkopníkem pro hromadnou výrobu montážní linky byl Henry Ford, který tuto technologii zavedl ve své automobilce roku 1913. Ve spolupráci s ostatními pracovníky ve společnosti vytvořili výrobní linku, kde se práce dělníků dělila konkrétními úkony, které přispěly k hotovému celku.[1]

Konceptem montážní linky je, že většina výrobků se skládá z různých částí. Každou část lze popsat, jako jednu jednotku výrobku, která je spojena s ostatními za účelem vytvoření hotového výrobku. Sestavení lze proto vysvětlit, jako operaci spojování dílů, buď ručně operátory, nebo automaticky roboty, za vzniku hotového produktu. Sestava složitějších dílů, které mají více než jednu součást, se nazývá podsestava. Aby se dosáhlo komplexního porozumění dynamice montáže, je nezbytné znát fáze a různé prvky zapojené do procesu montáže. Na obr.2 je stručný přehled typického montážního procesu zvýrazněním hlavních složek montážní linky.[2]

Obr.2 Schéma práce a toku materiálu na montážní lince



Zdroj: Chalmers, Product and Production Development

V automobilovém závodě Škoda Auto se rozšiřuje tzv. systém d-produkce. Má na starosti organizaci všech montáží na lince. D-produkce je jedna z částí komplexní digitalizace výroby. Ve výrobní hale ve Škoda Auto má, vůbec nejkratší montážní linku v automobilce.

Jeho součástí je 56 pracovních oblastí, kde je provedeno okolo 5000 operací. Pomocí d-produkce je zvýšený nárok pracovní organizace. A tato montážní linka byla zcela z digitalizována, jako z prvních v automobilovém závodě. Při skládání a montáži se střídají automobilové vozy Kodíaq a Superb. Pracovní čas výroby těchto vozů dosahuje, až 226 sekund a jejich denní výroba činí 350 vozidel. Celkový počet pracujících operátorů se vystřídá na lince celkem 212 pracovníků z Čech a z dalších pracovníků z východní Evropy. Každý operátor musí mít oprávnění ke vstupu na montážní linku. Pro vstup je zapotřebí mít zaregistrovanou zaměstnaneckou kartu v oddělení administrativy v závodě Škoda. Po registraci má operátor přístup k dokumentům a může si zjistit informace o montážních linkách a k dalším zprávám.[3]

Bezpečnost práce u montážních linek je velice důležitá. Jsou zde spojena rizika nebezpečí pro pracovníky. Kupříkladu jednotvárný opakující se pohyb může být pro tělo člověka nebezpečný. Kromě bezpečnosti práce je stejně důležitá pravidelná kontrola linky. Pokud by nastal technický nebo jiný problém mohlo by to mít dopad na celou montážní linku, kterou by operátor nebo kontrolní zařízení zastavil, dokud by se situace nevyřešila. V automobilovém závodě, ale i v jiné výrobě vítají nové pracovníky, ale také ty, kteří mají zájem o jejich produkt a vymýšlet jakým způsobem vylepšit montážní linku.

Nejdůležitějším parametrem pro návrh montážní linky je doba taktu. Často se používá ve výrobním procesu v německém jazyce tzv. Taktzeit, nebo v anglickém jazyce Takt-time. Je to funkce, která spočívá jako základní ukazatel pracovního cyklu. Zjednodušeně lze říct, že udává podíl požadovaných počtů vyráběných nebo montovaných dílů za pracovní čas.

Požadovaný počet výrobků:

$$\text{Výraz má tvar: } N_S = \frac{N}{t_t \cdot t_{dn} \cdot S} \quad [\text{ks}]$$

Kde  $N$  je požadovaný počet výrobků za rok [ks/rok]

$t_t$  počet pracovních týdnů v roce [týden]

$t_{dn}$  počet pracovních dnů v týdnu [den]

$S$  směnnost provozu [směn] [4]

Výpočet taktu linky:

$$\text{Výraz má tvar: } t = \frac{T_S - T_Z}{N_S} \quad [\text{min/ks}]$$

Kde  $T_S$  doba směny [min]

$T_Z$  celkový ztrátový čas [min] [4]

Výpočet ztrátového času:

$$\text{Výraz má tvar: } T_Z = \sum p + k_Z \quad [\text{min}]$$

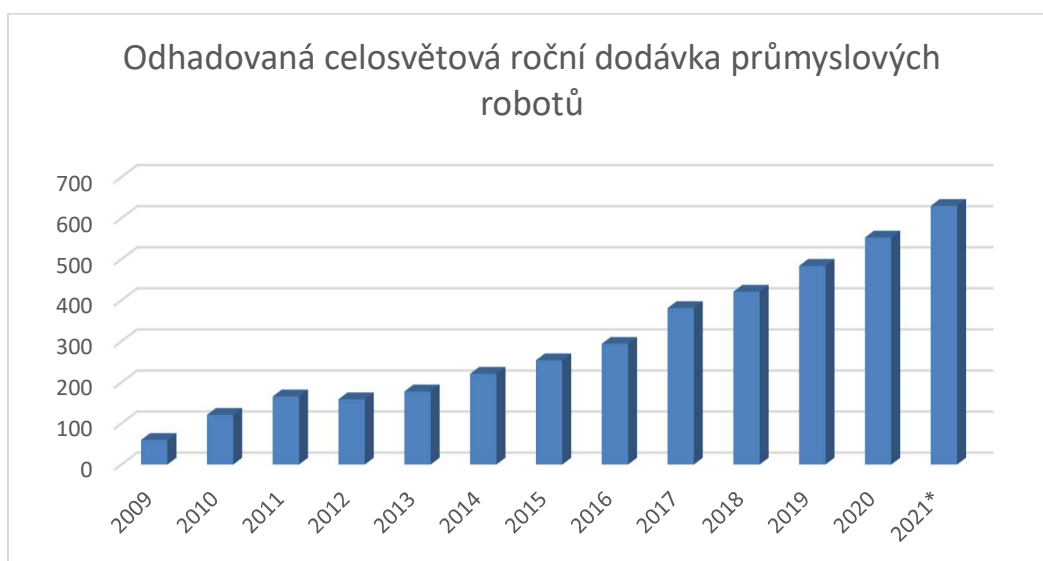
Kde  $p$  doba přestávky [min]

$k_Z$  čas ke kontrole linky [min] [4]

### 3.2 Průmysl 4.0

Je významné výrobní odvětví označeno, jako čtvrtá průmyslová revoluce od roku 2013, která se zaměřuje na digitalizaci a kyberneticko-fyzikální systémy. Stále se vyvíjející technologie v dnešní době, dává za pravdu, že průmyslové továrny zvyšují počet robotů a digitalizovaných zařízení, kteří mají nápomoci k zjednodušení optimálních pracovních podmínek. Pracující lidé, kteří opakovaně montují nebo seřizují zařízení, lze nahradit robotem nebo chytrým počítačem umožňující vykonat rychlou, přesnou a neunavující operaci. V automobilovém průmyslu je patrná vzrůstající poptávka po robotech, jejich předpoklad pro další roky je růst o 14 % průměrně za rok, tento jev lze vypočítat na grafu na obr. 3.

Obr.3 Odhadovaná celosvětová roční dodávka průmyslových robotů



Zdroj: IFR World Robotics

Nahrazením robotické síly může nastat problém nezaměstnanosti, proto v současnosti platí dohoda mezi koncerny, aby byl přiměřený poměr mezi lidskou činností a automatizací.

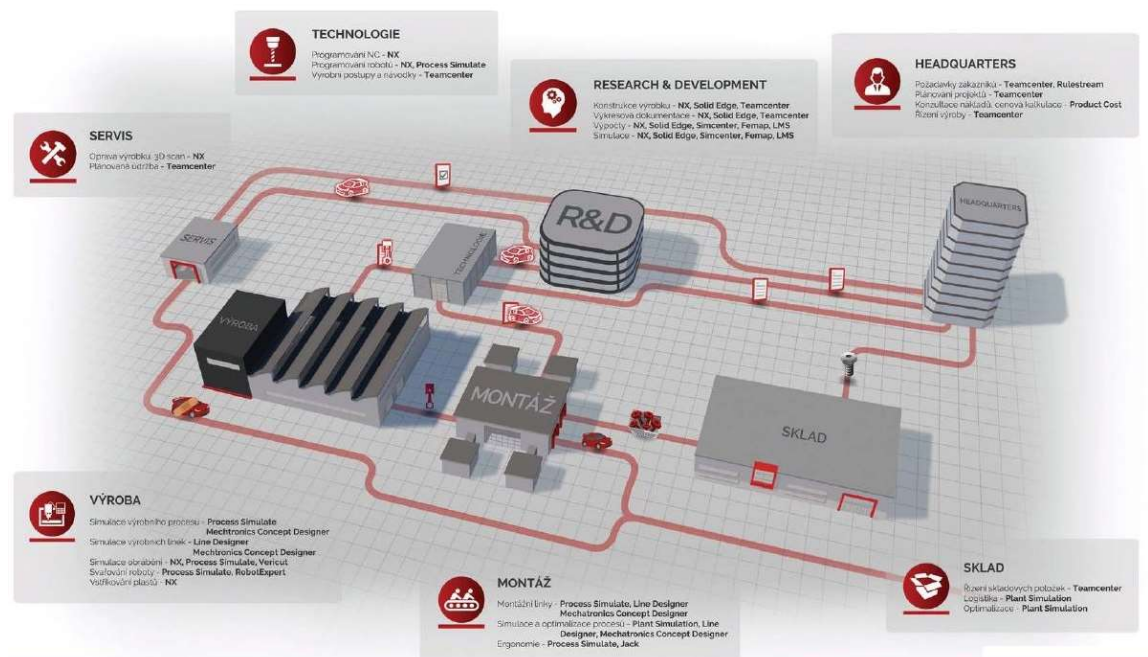
Již v první průmyslové revoluci došlo v 19. století přechodem Velké Británie od zemědělství k tovární výrobě. Druhá průmyslová revoluce trvala období od 50. let 19. století do první světové války a začala se zpracováním ocelí, které vyvrcholilo časnou elektrifikací továren a první vpuštění hromadné výroby. A konečně, třetí průmyslová revoluce odkazuje na změnu od analogové, mechanické a elektronické technologie k digitální technologii, která proběhla od konce 50. do konce 70. let. Čtvrtý je tedy posun směrem k digitalizaci. Průmysl 4.0 využívá internet věcí a kyber-fyzické systémy, jako jsou senzory ke shromažďování obrovského množství dat, která mohou výrobci a producenti použít k analýze ke zlepšení své práce. Nedávný pokrok v oblasti programových dat a analytických platforem znamená, že systémy mohou procházet obrovskými soubory dat a vytvářet přehledy, na které lze rychle reagovat. Inteligentní továrny, které budou srdcem Průmyslu 4.0, převezmou informační a komunikační technologie pro vývoj v dodavatelském řetězci a výrobní lince, který přináší mnohem vyšší úroveň automatizace i digitalizace. To znamená, že stroje využívající vlastní optimalizaci, vlastní konfiguraci a dokonce i umělou inteligenci k plnění složitých úkolů, aby poskytly mnohem vyšší efektivitu nákladů a kvalitnější zboží nebo služby.[5]

Charakteristikou konceptu Průmysl 4.0 je přeměna výroby z jednotlivých automatizovaných jednotek na zcela integrovaná automatizovaná a plynule probíhající

optimalizovaná výrobní prostředí. Na začátku výrobního prostředí vznikají nové globální sítě založené na unifikaci výrobních zařízení do kyberneticko-fyzikálních systémů – CPS (Cyber-Physical Systems). CPS budou v následujících letech, základní kostrou prvku „inteligentní továrna“, bude umožněno analyzování dat např. komunikace informací, převádění důležitých operací v reakci na momentální podmínky a vzájemné nezávislé kontroly. Inteligentní zařízení jako jsou stroje, senzory a IT systémy budou vzájemně unifikovány v rámci významného sledu událostí, přesahující oblasti ve specializovaných pracovních společnostech. Tato výměna dat a informací CPS budou na platformě standartních komunikačních protokolů propojeny základním internetovým připojením, vzájemně hodnotit a analyzovat data, aby mohly předpovídat případné nedostatky či poruchy. Sestavit vlastní konfiguraci v reálném čase a přizpůsobit hodnoty pro správnou činnost.[6]

Zásadním průlomem inteligentní, nebo-li chytré továrny je technologie digitalizace. Již na počátku myšlenky, při vytváření modelů jsou důležité vlastnosti výrobku, vzniká komplexní obraz z geometrických a mechanických vlastností. Na obr.4 je přehledně popsáno schéma digitální továrny. V současnosti jsou produkovány programy pro virtualizaci prostředí, vytvoření interakce s reálným prostředím. Výsledkem tohoto komplexu se nazývá digitální továrna.

Obr.4 Schéma průmyslu 4.0 v digitální továrně



Zdroj: AXIOM TECH

Trojrozměrný simulační software umožňuje vizualizaci a platnost procesů a výrobních úkolů. To je důležité, protože výrobní závody jsou v počátku postaveny od nuly, ale jsou za chodu provozu výroby, postupně změněny. To samo o sobě není nic nového, protože tato vhodná řešení pro digitální továrnu jsou již dlouho implementována. Novinkou však je, že pro realizaci myšlenek a konceptů Průmyslu 4.0 musí být nyní virtuální továrny a modelové závody přesným vyjádřením skutečných výrobních systémů. Nejen geometricky a kinematicky, ale také s ohledem na logické chování a kontrolu výrobních jednotek. Představují tedy, takzvané digitální dvojče továrny. To je jediný způsob, jak se dostat z tuhých, předem stanovených procesů k agilním, samoorganizovaným výrobním jednotkám. Digitální továrna umožňuje implementaci nových výrobních procesů, koncepcí zařízení a technologií, které by byly příliš drahé nebo dokonce nemožné bez řešení založených na simulaci. Čím více robotických aplikací se použije, tím větší bude potřeba nástrojů pro programování a simulaci. Řešení IT vedou k těmto komplexním aplikacím. Poskytují nezbytné programovací a simulační prostředí pro vytváření aplikací, které již nelze efektivně reprezentovat pomocí manuálního myšlení nebo by nevykazovaly potřebnou kvalitu procesu.

V informačním zpravodaji AXIOM TECH lze dočíst, že rozdíly mezi CAD/CAM softwarům a informačním systémům je, že náběh přínosů má pozvolný průběh a v počátečních návrzích má pracovní produktivitu velmi nízkou. Oproti simulačním procesům dokážou dynamické návrhy poskytnout okamžitou návratnost, při prvním úspěšném projektu. Časově několika týdnů až měsíců od prvních počátečních simulace. Při prvních jednání, lze posoudit okamžité výsledky. Potupně se navíc výsledky aplikované v řízení výroby, lidských zdrojů, logistice, zvyšuje finanční cena komplexního projektu v simulaci.[7]

Nejpoužívanější softwary pro virtuální prostředí se používá:

- Tecnomatix - Process Simulate (Siemens)
- RobotStudio (ABB)
- Roboguide (Fanuc)

Nejen moderní technologické zařízení a software je hlavní charakteristikou průmyslu. Nemělo by se zapomenout, také na pracovníky v oborech čtvrté průmyslové revoluce. Technicky se nazývají operátoři a musí v pracovního úkonu, být proškoleni a informováni o bezpečnosti práce.



Po generacích operátorů, kteří drží krok s prvními třemi průmyslovými revolucemi, přišel Operátor 4.0 jako nový koncept v rámci Průmyslu 4.0. Vzhledem k tomu, že diskuse kolem průmyslu 4.0 se stále objevují přesné definice, které lze najít v odborné literatuře, nejsou ani dosud zcela komplexní, ale představují výchozí bod pro další diskuse. Pracovníka definují, jako inteligentního a kvalifikovaného operátora, který vykonává nejen spolupráci s roboty, ale také práci podporovanou stroji, pokud je to nutné. V tomto smyslu je Operátor 4.0 považován za hybridního pracovníka založeného na symbióze vztahu mezi člověkem a strojem, kde je kladen důraz na zacházení s automatizací jako dalším zdokonalením fyzických, periferních a kognitivních schopností člověka. Předpokládanou typologii operátora z analyzovali sadu klíčových umožňujících technologií, které mohou podporovat vývoj spolupráce automatizace člověka v továrně budoucnosti.[8]

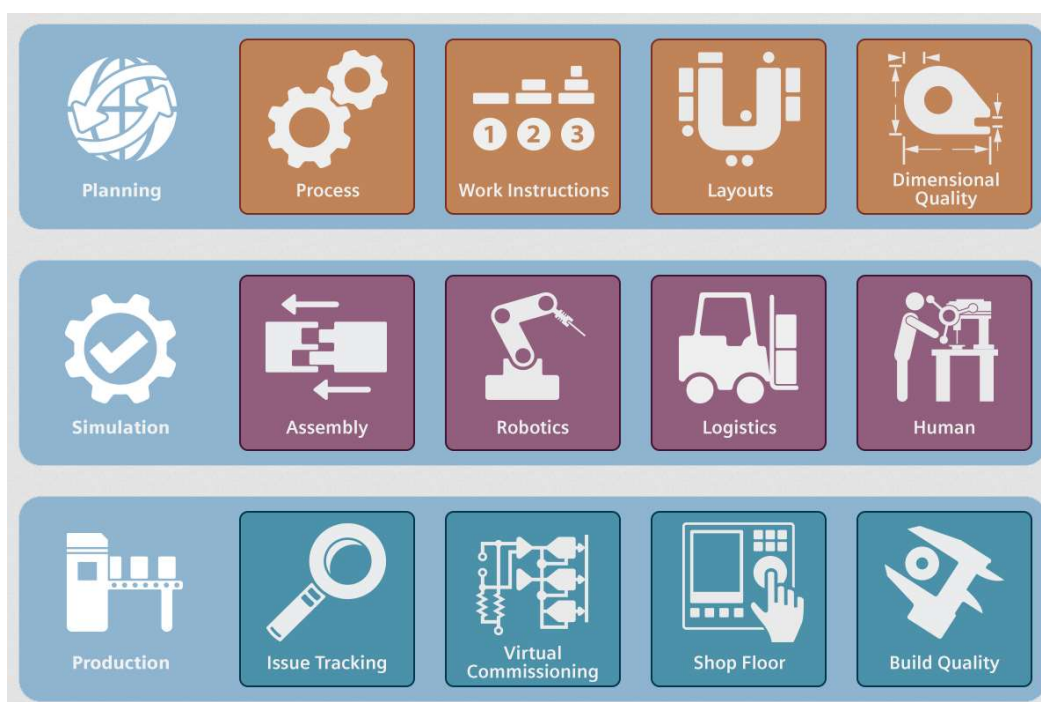
Očekává se, že technologie:

- bude podporovat operátory provádějící úkoly v rámci procesu / pracovního toku,
- bude podporovat porozumění a rozhodování,
- bude se učit z činnosti operátorů předvídat konkrétní situace, optimalizovat proces a lépe organizovat inteligentní továrnu.[8]

### 3.3 Tecnomatix

Tecnomatix je digitální výrobní řešení od společnosti Siemens PLM Software. Tecnomatix pomáhá zefektivnit a usnadnit výrobní proces propojením všech výrobních oborů s produktovým inženýrstvím, včetně procesního inženýrství, simulace a řízení výroby. Tecnomatix využívá software Teamcenter k poskytování bezkonkurenční integrace produktů a výroby, která podporuje chytřejší rozhodování, lepší produkty a rychlé uvažování. Řešení Tecnomatix, je postavené na otevřené architektuře, které jsou schopna integrovat s jakýmkoli systémem správy dat o produktu (PDM) na obr.5. Tím dává větší flexibilitu a nákladově efektivnější nasazení. Tecnomatix je použitelný v řadě průmyslových odvětví, včetně letectví, automobilového průmyslu, těžkého vybavení, spotřebního zboží. V podstatě jakéhokoli odvětví, které vyrábí a mohlo by těžit z digitalizace procesu. V prostředí správy znalostí Tecnomatix může snadno konfigurovat datové struktury, pracovní toky a obchodní pravidla tak, aby vyhovovaly potřebám uživatele. Aby se mohlo rychleji a efektivně využít investice do Tecnomatixu, má PLM po ruce specializovaný tým odborníků na digitální výrobu, který pomůže udržet produktivitu softwaru.

Obr.5 Nástroje Tecnomatix pro využití v digitální továrně



Zdroj: <https://longtermtec.com/tecnomatix/>

Nástroje digitální továrny Tecnomatix nabízí řešení pro následující oblasti:

- **Plánování a ověřování součástí i montážních postupů**

Tecnomatix pro plánování a ověřování součástí je platforma synergií aplikací k vytvoření pracovních postupů, dokumentaci nástrojů a asociací. Dále je zahrnuta optimalizace chování nástrojů a vzniku flexibilních údajů. Tecnomatix usnadňuje definice a vyhodnocení na základě prověřených výrobních procesů, a přispívá tak velkým společnostem docílit nejlepších návrhů plánování pro výrobu.[9]

- **Plánování v oblasti robotiky a automatizace**

Tecnomatix má zahrnutou část plánování robotiky, automatizace nebo provoz zařízení. Tyto funkce jsou určené pro komplexní inženýrství a ověření. Ve výsledku mají obrovský potenciál pro příští generaci v průmyslové revoluci.[9]

- **Návrh a optimalizace továren**

Tecnomatix umožňuje za krátkou dobu vytvořit návrhy efektivní továrny. V digitální továrně jsou např. návrh montážních linek, výrobních strojů nebo výrobních oblastí. Pomocí Tecnomatixu jsou zaimplementována 3D projektování a dynamické simulace při skládání digitálních modelů v layoutu. Chyba při návrhu procesu plánování v reálném pracovním prostředí je vyšší než v digitálním prostředí, protože simulace napoví, kde se chyby plánování objevují. Analýzou lze tyto nedostatky opravit nebo zredukovat, tím je optimalizace na nejvyšší úrovni.[9]

- **Řízení jakosti**

Řešením kvality řízení v Tecnomatixu sdílí data a získává grafické prostředí pro analýzu distančních odchylek, které napomáhá ke zvýšení efektivity tzv. „Strategie Six Sigma“ a ekonomické úspornosti výroby. Také umí vygenerovat celkové ověření CAD dat programů pro řízení souřadnic měřicích strojů CMM a NC obráběcích strojů.[9]

- **Řízení výroby**

Další součástí Tecnomatixu je řízení výroby. Má za úkol poskytovat celkový souhrn o životním cyklu výrobku a zprostředkovávat informace o řízení výrobních procesů s přístupem k továrním datům v reálném čase.[9]

### **3.3.1 Process Simulate**

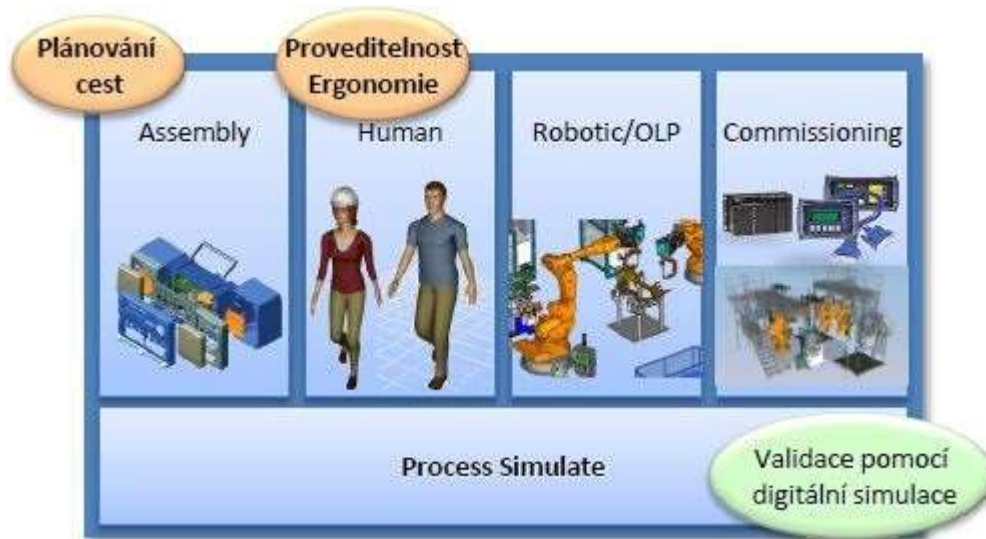
Process Simulate je softwarový nástroj z koncepce Tecnomatix od společnosti Siemens slouží pro využití a řešení různých procesních studií a optimalizací simulací ve virtuálním prostředí.

V praxi se detekují nedostatky procesů v průběhu sestavování výrobních linek, k tomu přispívá časová náročnost a nákladné změny za účelem zamezení těchto nevýhod. Používá se simulační program, který vytvoří simulační analýzy a předpoví návrh v počáteční fázi plánování v modelové simulaci, než se postaví kompletní výrobní linka.

Při vývoji vizualizace konceptu linky a jejich procesů rozhoduje návrh a také odsouhlasení vedení. Simulace pomáhá lidskému porozumění při stavbě či výrobě. Tento proces chrání před zbytečným a nepřijatelným rozhodnutím, který by mohl prodloužit hodiny

projektu. Simulace představuje pravděpodobný čas, anebo ukazuje efektivnost dosahů při vybírání robotů. V pokračujícím digitalizovaném trendu se postupně setkává, že bez simulačních softwarů nelze včas vytvořit projekt. Obsahem simulačního softwaru je balík aplikací, kde je na obr.6 znázorněné schéma, ve kterém lze aplikovat a vytvářet v daném projektu.

Obr.6 Schéma portfolia Process Simulate



Zdroj: Baumruk, Poznámky ke školení Process Simulate Basic

Hlavní výhody můžeme shrnout do těchto bodů:

- Ověřování operací a pohybů, které napomáhá k rychlé přeměně a snížení nákladů při výrobě.
- Optimalizace času cyklu vzhledem ke spolehlivosti simulace.
- Snižování rizik výroby, pomocí simulačních předloh.
- Testování elektrických a mechanických návrhů ve virtuálním zprovoznění před výrobou.
- Propojování hlavních a podřazených programů robota, kde dochází k ověření kvality a opakovatelnosti operací.
- Pokles nákladů pomocí opětování použitých standartních nástrojů a zařízení
- Vytváření logických bloků a signálů pro virtuální zprovoznění (PLC, HMI, roboty, senzory) v reálné výrobní lince.
- Vzájemné propojení mezi mechanickou konstrukcí a elektro oddělením.

- Off-line programování, lze v krátkém časovém sledu ověřovat ve výrobní lince, aniž by se měla výroba zastavit.
- Pokles počtu fyzických modelů pomocí virtuálního ověření.[10]

Aplikace v tomto programu lze provádět modelování a kinematiku přesných a navržených modelů, vytvářet proveditelnost montáže v lince, logistické studie, jestli splňuje požadovaný takt.

Aplikace Process Simulate:

- **Modelování a kinematika**

Vytvoření modelových objektů a zakomponovat jejich kinematiku.

- **Logistické studie**

Opakované sekvence, jestli splňuje požadovaný takt výrobní nebo logistické linky.

- **Proveditelnost montáže**

Splňující proveditelnost pracovní operace, návrh taktu.

- **Robotické simulace a offline programování robotů (Robotika)**

Vytvoření robotických simulací a jejich dosahů k následným uploadování programů přímo pro robotika.

- **Virtuální zprovoznění (PLC programování)**

Návrh logických bloků a signálů při instalaci linkového systému.

- **Ergonomie a manuální operace člověka**

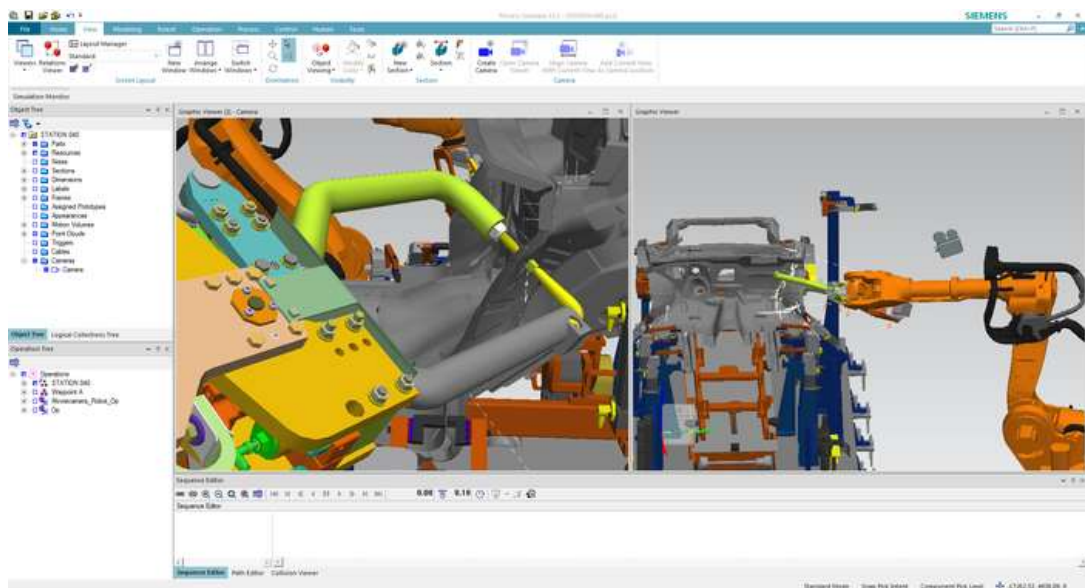
Studie operátora (člověka), jestli jeho pohyb je v souladu dle ergonomických norem a jeho zdraví.

### **3.3.1.1 Robotika v Process Simulatu**

Je jedna z částí aplikací Process Simulate. A jeho cílem je, že lze navrhovat, optimalizovat robotické a automatizované výrobní systémy pomocí 3D robotického návrhu pracovních stanic, simulace a offline programování se softwarovými řešeními pro simulaci robotiky a automatizace jako na obr.7. V této aplikaci je možno při vývoji robotických a automatizovaných výrobních systémů pracovat v prostředí vygenerovanými mnoha dat v

souborech. Tyto nástroje řeší několik úrovní simulace robotů a vývoje pracovních stanic, od stanic s jedním robotem, až po kompletní výrobní linky a zóny hal. Pomocí nástrojů pro spolupráci, lze zlepšit komunikaci a koordinaci mezi výrobními disciplínami a umožnit tak chytřejší rozhodování. To umožní přivést automatizační systémy online mnohem rychleji a s menším počtem chyb. Dále zjišťuje cyklický vyhodnocení událostí a emulovaný konkrétní robotický řadič. Nástroje simulace robotiky poskytují schopnost navrhnout pohyby bez kolizí pro všechny roboty, či zařízení a optimalizovat jejich doby cyklu.

*Obr.7 Prostředí Process Simulate Robotics*



Zdroj: <https://www.axiomtech.cz/25343-tecnomatix-process-simulate-robotics>

Klíčové funkce PS Robotics:

- Off-line programování robotů, podpora více značek robotů v jediné aplikaci
- Simulace celých výrobních linek ve 3D
- Ověření a optimalizace taktu linky
- Pokročilé nástroje pro návrh robotických pracovišť, kontrola dosahu robotu, hledání optimálního umístění robotu/přípravku
- Virtual Commissioning, možnost definovat vnitřní logiku komponent, možnost simulaci řídit přímo skutečnou řídicí jednotkou (např. PLC)
- Logikou a událostmi řízená simulace, využití digitálních i analogových signálů
- Podpora nativního jazyka robotu

- Vysoce výkonné grafické jádro umožňující dynamické simulace v reálném čase
- Kontrola kolizí
- Automatické hledání bezkolizní trajektorie
- Automatické nástroje pro analýzu kolizních zón robotů
- Přesná simulace robotů (Realistic Robotic Simulation - RRS)
- Uploadování zálohy robota
- Stažení programu simulace robota z Process Simulate do robota

### 3.3.1.2 Operátor v Process Simulatu

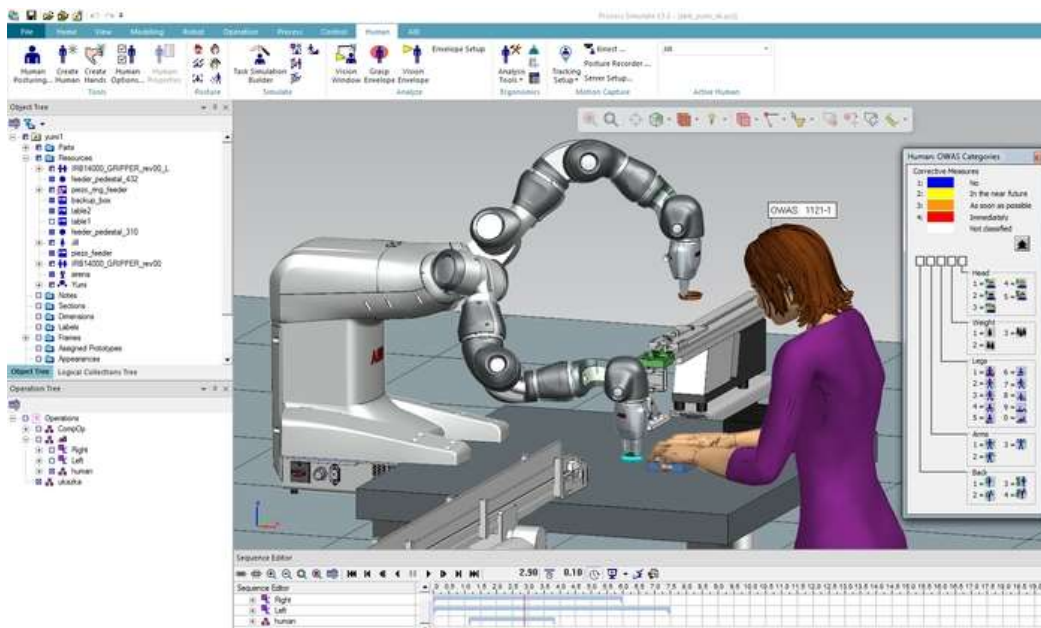
Process Simulate Human je rozšíření Process Simulate, postavený na špičkové technologii Jack. Je to nástroj pro modelování a simulaci člověka, který umožní zlepšit ergonomii návrhů požadovaných produktů a zdokonalit pracovní úkoly. Process Simulate Human a jeho volitelné sady nástrojů poskytuje návrhové nástroje zaměřené na člověka pro provádění ergonomické analýzy virtuálních produktů a virtuálních pracovních prostředí. Umožňuje výrobním plánovacím týmům vytvářet realistické lidské simulace a provádět ergonomická hodnocení.

Pro ověření pracovních poloh, se využívá Process Simulate Human. Tato platforma má několik zajímavých funkcí. Funkce Human Posturing, napomáhá k jednoduchému transportování lidského těla do cílové polohy. V této funkci, lze upravovat a přenastavovat přímo každý kloub jednotlivě, nebo lze použít funkci Posture Prediction, kde se dá chytrým kurzorem měnit polohy těla, např. ruka, zápěstí a další. Po této změně polohy vzniká přepočet natočení celého těla, jako na obr.8. V možnostech, kde je zapotřebí, aby se model člověka (Jack/Jane) něčeho dotýkal nebo uchopil jakoukoli věc, je možno použít funkci Touch, Reach a Grasp. Pomocí těchto činností dovoluje změnit, či nastavovat polohy článků každého prstu jednotlivě. Další funkcí v Process Simulate Human, jak nasimulovat vyhovující pracovní polohu, je použití nástrojů Motion Capture. Rozvijí kompletní množství optických i gyroskopických snímacích kostýmů, pracovních modelů rukavic. Díky nástroji Motion Capture je možno vyprojektovat vlastní přizpůsobení modelu člověka. Při simulaci lze, pokud je to zapotřebí přenastavit model člověka tak, aby se opíral rukama o jakýkoli předmět. V tomto konkrétním provedení, je v možnostech nástroje přizpůsobení vymezené síly v daném směru. V rozšířeném nastavení je eventuelně znázornění sledování očí při pohybu ruky. Po tomto kroku, je také při pohybu ruky závislé natočení hlavy, krku a částečně i zad. Po těchto skládání pracovních poloh modelu člověka si uživatel nastaví konečnou pracovní polohu. Vzniklé

pracovní polohy se uloží do knihovny s názvem Posture Library. Pomocí této funkce, lze využít v dalších studiích v Process Simulate Human.[11]

Pomocí nástrojů je možno, realisticky simulovat úkoly ruční manipulace s materiálem v závodě, předvídat lidský výkon v kontextu zabránění úrazu, optimalizaci rozvržení pracovního prostoru a ověření proveditelnosti navrhovaných úkolů ruční montáže.

Obr.8 Prostředí Human v Process Simulate



Zdroj: <https://www.axiomtech.cz/25345-process-simulate-human>

Užitečné funkce PS Human:

- 3D návrh a simulace procesů na základě průmyslových standardů vizualizačních dat JT
- Plánování robotické cesty, test dosahu a inteligentní umístění
- 3D modely výrobních zdrojů s integrovanou logikou řízení
- Logicky řízená simulace využívající logickou a analogovou signalizaci
- Simulace založená na událostech založená na skutečném kódu programovatelného logického řadiče (PLC) a hardwaru přes standardní protokol OLE pro řízení procesu (OPC)



## Výhody PS Human

- Snížené náklady na změny díky včasnému odhalení problémů s designem produktu
- Snížený počet fyzických prototypů díky virtuálnímu ověřování
- Optimalizované doby cyklu pomocí simulace
- Virtuální validace mechanických, elektrických (PLC), robotických systémových komponentů a procesů
- Podporuje spolupráci mezi odděleními mechanického designu a řízení

## 3.4 Ergonomie

Je vědní obor zabývající se studiem člověka v pracovních podmínkách. Jeho systémem řešení je docílit a optimalizovat schopnosti mezi člověkem a technikou. Při činnosti pracovníka se musí zajistit, aby v pracovních podmínkách nebyla porušena jeho psychicko-fyzická zátěž a také aplikovat dodržení správných návyků. Při správné činnosti ergonomie dosáhneme k jeho vysoké výkonnosti, zdraví, bezpečnosti a především efektivitě.

Ergonomie, jak ji známe dnes, se však začala uplatňovat až v pozdním středověku. Ve vrcholném středověku převažovalo předávání zkušeností a dovedností při výkonu práce z otce na syna (individuální rozvoj a zlepšení). Později se však začaly rozvíjet mistrovské školy, takže předávání zkušeností již probíhalo z mistra na učedníka. To vedlo k oborovému rozvoji dovedností. Časté války však s sebou nesly i vysoké požadavky na rychlost a objem vykonané práce, jako například při stavbě mostů, opevnění, materiálu apod., při čemž kvalita výkonu byla v tomto ohledu až druhotná. Průmyslová revoluce (konec 18. století) pak přinesla řadu změn. Zavádí se centralizovaná výroba, kdy řemeslník/dělník si již přestává sám vyrábět pracovní nástroje a odděluje se výroba od cílových uživatelů nástrojů a strojů. Produkce univerzálních a jednotných výrobků (nástrojů) narušila vazby ve vztahu člověk-stroj. Toto období přineslo také rozvoj kapitalismu a soutěživost výrobců na trhu.[12]

Majitelé továren využívali pracovníky, aby podávaly co největší maximální schopnost a výkon. Ovšem na jejich pracovní potřeby a podmínky nehleděli. Byla to pro ně v tu dobu levná pracovní síla, kterou mohli kdekoli a kdykoli najít. Na konci 19. století se zaujímali jiné postoje k potřebám pracovníků. Byl to nový přístup organizace práce a jejího řízení. Měnilo se a upravovalo pracovní prostředí. Byly nové postupy a režimy práce. Vše pro maximální pracovní výkony. Organizace práce je určitý přístup k práci, který hledá nové řešení, přehledné

a bezpečné. Na přelomu 19. a 20. století v roce 1886 uvedl novou teorii F. Taylor. Byl to základ tzv. vědeckého řízení. Jeho následníci teorie byli F. Gilbreth, H. Fayol a M. Weber.[13]

Již od konce 80. let 20. století vznikaly obecně ergonomické normy, které dopomáhaly k tomu, aby se předcházelo ke špatným, až neřešitelným způsobům mezi vztahem člověka k pracovnímu prostředí.

V oblasti ergonomie na přelomu 20. a 21. století převládá rozmach výpočetní techniky, automatiky a řízení nových technologií. K tomu se váží také pracovní rizika a úrazy. Důležitá je pracovní a duševní pohoda pracovníka. Klade se zesílení bezpečnosti civilní dopravy (silnice, letectví, železnice). S velkým vzestupem přepravy jsou četnější a narůstající vzniky havárií. [13]

Velký důraz se klade na bezpečnost pracovníka, aby byla na nejlepší úrovni, a proto se stále ergonomie v této době zpřísňuje. Multidisciplinární obor, který se stále rozšiřuje a hlavně se zabývá těmito důležitými problémy. Jedná se o zranění, emoční stres, nepohodlí člověka, minimalizování únavy. Významný a podstatný je, že ani v ergonomickém nejlepším prostředí se nezbrání častým, nebo opakovaným stresovým zraněním, jestliže je tělo přepracováno. Tělo vydrží určitou mez, ale po překročení hranice přijde pravděpodobně následek zranění. Aby bylo těchto zranění a následků nejméně a nejmenších, je využití praktických systémů z ergonomických poznatků.[13]

Hlavní body ergonomie na výkonnost člověka

- Hodnocení a analýza člověka v pracovních podmínkách,
- Udržování pracovní zátěže a řešení pracovních postupů,
- Konstrukční návrhy zařízení pro optimalizaci obsluhy,
- Uspořádání zařízení pracovního prostředí člověka,
- Zdokonalování pracovních systémů (strojů), aby měl člověk pracovní a duševní pohodu.[13]

Vládní agentury, univerzity, pojišťovny, obchodní sdružení, profesní organizace, výrobci a servisní organizace hrají při snižování zátěže nemocí z povolání a úrazů společnosti důležitou roli. Mnoho odborníků na bezpečnost a ochranu zdraví má certifikaci zejména technických specializací. Rada certifikovaných profesionálů v oblasti bezpečnosti spravuje Certified Safety Professional (CSP), zatímco Rada pro certifikaci v profesionální ergonomii nabízí Certified Professional Ergonomist (CPE) a Certified Human Factors Professional (CHFP). Certifikace v oblasti průmyslové hygieny je k dispozici u americké rady průmyslové hygieny. Také všechny jednotlivé státy v USA licenční inženýři jako registrovaní profesionální inženýři (PE). Ačkoli není k dispozici konkrétní licence v oblasti bezpečnosti, jedním z principů licencování je bezpečnost. Národní společnost profesionálních inženýrů má, jako jeden ze svých základních zákonů, že inženýři musí při plnění svých profesních povinností udržovat prvořadou bezpečnost, zdraví a dobré životní podmínky veřejnosti. Pracovníci v oblasti bezpečnosti mají několik profesních organizací, ke kterým se mohou připojit, včetně Americké společnosti bezpečnostních inženýrů (ASSE) a Human Factors and Ergonomics Society (HFES).[14]

Pro bezpečnost a ochranu zdraví pracovníka ve výrobní nebo montážní lince je na prvním místě produktivita systému. Obecně je to podíl objemu užitečné vykonané práce za časovou jednotku.[15]

$$\text{Výraz má tvar: } p = \frac{Q}{t}$$

Kde **p** je produktivita práce za časovou jednotku

**Q** objem vykonané práce (užitná hodnota)

**T** čas potřebný k vykonání práce.[15]

Ergonomická opatření může mít dvě formy:

- Forma zvýšení produktivity práce při stejné fyzické a psychické zátěži.
- Forma zachování produktivity práce při zmenšené fyzické a psychické zatížení.[15]

### 3.4.1 Ergonomie v pracovním prostředí

Je propojení technických dovedností a zkušeností. Cílem je přizpůsobení člověka k pracovnímu prostředí. Jeho nesdílňnou součástí je psychický a fyzický stav k pracovnímu

procesu. Posuzování pracovní oblasti a jeho procesu, lze přenést do ergonomického přístupu z jiných starších návrhů a zkušeností.[16]

Ergonomický přístup by se měl použít pro následující projekty:

- Výběr a nákup pracovního zařízení (systému)
- Modernizace stávajícího pracovního zařízení
- Projektování nového pracovního zařízení
- Přizpůsobení individuálního pracovního prostoru k potřebám obsluhy
- Opravy a údržbu pracovního zařízení
- Projektování kompletní továrny

Tyto ergonomické přístupy zajistí na pracovišti:

- pracovní výkonnost člověka,
- poloha při náročnosti práce
- plánování a organizace
- vybavenost v pracovní oblasti
- časové požadavky/úkon

Pokud se bude držet dle stanovených ergonomických elementů, je zajištěna syntéza mezi člověkem a pracovní činností. Výsledkem optimalizace, je správný pohyb úkonu člověka, efektivita, nižší úrazovost, hygiena a pocit pohody.

V současných automobilových továrnách (VW, Škoda Auto, Audi a další) se uskutečňuje hodnocení rizikových vlivů a tím napomáhá ke zlepšení pracovnímu prostředí. Ze zprávy o trvale udržitelném rozvoji je popsáno dle citace „*Hodnocení technicko-hospodářských oddělení provádí zdravotnický personál, který se zaměstnanci na místě konzultuje ergonomicky vhodné nastavení pracoviště. U změn, které vyžadují úpravu, se vhodná řešení navrhuji jako soubor podnětů pro zlepšení. Nová pracoviště se definují již ve fázi plánování budoucího modelů vozů ve spolupráci s oblastí Technického vývoje. V roce 2018 probíhala spolupráce na co nejlepším ergonomickém nastavení výrobní linky nového modelu SCALA.*“[17]

Při ruční práci na montážních linkách, je důležité schválení pohybů, nebo úkonů operátora. Toto schválení potvrzuje tzv. „Ergonomický specialista“, který pozoruje a hodnotí všechny rizika práce operátora. Především to je pracovní pohyb, takt pracovní linky při úkonu operátora a bezpečnost ochrany zdraví. Specialista po těchto kontrolách, následně zapisuje do ergonomického „checklistu“ a pokud odsouhlasí všechny restriktce, operace ruční montáže je lze ratifikovat a vykonávat.

V případě ruční montážní linky jsou požadovány tyto restriktce:

- Prostorové požadavky na pracovišti

Podmínkou prostoru v pracovním prostředí je, že má zaměstnanec mít pro volný pracovní úkon v ploše nejméně 2m<sup>2</sup>, kromě východů cest z pracovišť a pracovních zařízení. Rozměr šířky volné pracovní plochy nemůže být, dle restriktcí méně než 1m. Obsazení strojů a zařízení je minimální distance 0.6m od pevných překážek. Průchod jedním směrem na pracovišti je méně než 0,85m. (Dle Nařízení vlády 361/2007 Sb. O ochraně zdraví při práci ČSN) viz. příloha I.[18]

- Antropometrie

Tento obor se orientuje na měření rozměrů lidského jedince. Dopomáhá, aby velikosti zařízení, s kterým člověk manipuluje souhlasila podle možností jedince. Při konstrukčních návrzích je zapotřebí, počítat s lidskými rozměry dle norem ČSN EN 547-3, ČSN EN ISO 4250-1 a ČSN EN ISO 14738 viz. příloha II.[18]

- Rozměry pracovního místa

Pracovní výška je nejčastější rozměr, kde se vykonává pracovní činnost. Manipulace zařízení v pracovní výšce, musí být předpoklad zohlednění rozměrů pracovníka. Hlavními parametry jsou základní umístění při úkonu, váha těžkých břemen, náročnost očí při sledování manipulace, či přemístění a silová zdatnost pracovníka. Prostor lidského jedince musí souhlasit, aby pohyb a síla člověka odpovídala rozsahu a normálnímu směru pohybu. viz. Příloha III.[18]

- Ruční manipulace s břemeny

Zásadní podmínkou při manipulaci s břemeny je eliminovat velké fyzické namáhání. Při konstrukčním návrhu zařízení je na konstruktérovi, aby co nejlépe usnadnil práci člověka

anebo použil vhodné manipulační prostředky. Zařízení břemene má být navrženo tak, aby pro člověka bylo nejideálnější manipulace při pracovním úkonu tj. cituji „*Břemeno nemá být zvedáno, nebo přemísťováno přímo ze země, pod úrovní kolen a nad úrovní ramen a nesmí při přemísťování bránit dobrému výhledu*“ viz. příloha IV.[18]

- Tlačné a tažné síly

Parametry rozsahu při tlačných a tažných silách jsou jasně stanoveny na rozjezdu a pojezdu manuálních vozíků. Předpokladem pro správnou manipulaci, je před začátkem vynaložit sílu a vyrovnat otočná kola nápravy podél linie jízdy. Postupnou tlačnou silou lze realizovat pomocí rukojeti. viz. příloha V.[18]

- Pracovní polohy

Pracovník má povinnost se chovat při manipulaci strojů nebo zařízení tak, aby nezpůsobil jakoukoli škodu přístroje. Nesprávná pracovní poloha může docházet nejen k poškození zařízení nebo strojů, ale také pracovnímu úrazu. NV 361/2007 Sb. o ochraně zdraví při práci viz. příloha VI.[18]

- Zorné pole

Pro správnou činnost manipulace je důležité zorné pole. viz. příloha VII. Pole dělíme na vertikální a horizontální zóny. Hodnotí se podle písmen abecedy A-D, kde A – doporučený, B – přijatelný, C – nevhodný, D – normální.[18]

- Ovladače

Při konstrukčních návrzích ovladačů je zapotřebí počítat s antropometrickými rozměry člověka. Pro dotyk a manipulaci ovladačů je důležitá poloha člověka. Jeho poloha musí být v rozsahu 50 cm od ramene k přepažené horní končetiny. Další podmínkou jsou vynaložené síly při stisknutí tlačítek nebo ovládacích rukojetí. viz. příloha VIII.[18]

- Řídící centra

Projektování řídicích pracovišť je vzít v úvahu ergonomické podmínky dle normy ČSN EN ISO 11064. Koncepce pracovišť je důležité počítat s rozměry a správnému uspořádání zařízení, strojů, pracovních stolů apod.[18]

## 4 Vlastní práce

### 4.1 Zadní náprava

Je jedna z hlavních částí podvozků automobilů, které pomáhají k upevnění kol ke karoserii. Historie, jejího vzniku začíná už od koňských povozů až do současných moderních automobilů. Účelem zadních náprav na obr.9 je, jak již bylo zmíněno je upevnění kol, ale i také umístění hnacího pohonu. Motor může být umístěn v přední části, nebo v zadní části zadní nápravy a to tehdy, pokud hnací síla se otáčí přes kardanovou hřídel.

*Obr.9 Model zadní nápravy*



Zdroj: Autor

Její výhodou je, že na rozdíl od přední nápravy je zadní náprava poháněna. Tyto vlastnosti ocení především řidiči sportovních automobilů.

Pohon zadní nápravy byl ze začátku navržen k přenosu hnací síly od motoru na kola automobilu. Byl využíván pohon pevné zadní nápravy pomocí řetězu od zadního uloženého motoru. Příčiny pro pohon zadní nápravy, jsou dané tím, aby dokázala měnit směr jízdy vozidla a také rozpohybovat vozidlo.[19]

Zadní nápravy jsou využívány u osobních vozidel, ale také pro sportovní, terénní vozidla a nákladních automobilů. Nejčastěji jsou vidány zadní nápravy pro pohon všech kol 4x4. Hnací náprava nevyžaduje složité konstrukční řešení, protože neobsahuje mechanismus na směrové řízení kol, pořizovaný pohon kol prakticky bez zalomení. V praxi to znamená, že

motor je uložený v přední části automobilu a je poháněn zadní nápravou. Dále je možné vyrobit tuhou zadní nápravu, kdy jsou obě kola, hřídele a diferenciál v jednom bloku. Taková náprava má menší pracovní vůli, vysokou tuhost a odolnost. Jeho nevýhodou je, že nemá příznivé jízdní vlastnosti. Tyto negativní subjekty se vyřešily, díky aktivním bezpečnostním prvkům jako např. ABS, ESP či ESD.[19]

Požadavky zavěšení kol:

- zajistit optimální styk kola s vozovkou
- izolovat podvozek od rázů způsobených stykem kola s nerovnostmi vozovky
- expandovat hmotnost vozidla [19]

V nezávislém systému zavěšení kol mohou kola sama stoupat a klesat, aniž by to ovlivnilo protilehlé kolo, pomocí kinematických vazeb a vinutých pružin. Odpružení s jinými zařízeními, jako jsou stabilizátory, které spojují kola, jsou také klasifikovány v nezávislém systému odpružení. Různé nezávislé systémy odpružení jsou: [20]

- Zavěšení s dvojitým příčným ramenem
- McPherson vzpěry a tlumiče
- Zavěšení zadních náprav
- Zadní nápravy polopásových ramen
- Zavěšení s více články [20]

V tomto typu systému zavěšení kola nejsou omezena tak, aby zůstala kolmá na rovnou plochu při zatáčení, brzdění a různých podmínkách zatížení; kontrola odklonu kol je důležitou otázkou. V systému s dvojitými příčnými rameny a víceprvkovým systémem využívá větší kontrolu nad geometrií systému než kyvná náprava, vzpěra McPherson nebo kyvné rameno z důvodu požadavků na náklady a prostor.[20]

Pohon zadní nápravy byl prvním způsobem přenosu hnací síly od motoru na kola automobilu.

**Úkoly zavěšení kol:**

- unést hmotnost vozidla
- zajistit optimální styk kola s vozovkou



- izolovat podvozek od rázů způsobených stykem kola s nerovnostmi vozovky [19]

#### **Zavěšení kol se dělí na dva druhy:**

- závislé zavěšení (tuhá náprava – obvykle rámové podvozky)
- nezávislé zavěšení (obvykle samonosné karosérie) [19]

Budoucnost zadních náprav u elektrických automobilů předpovídá, že jejich vlastnosti kladou stále vyšší nároky a preciznost jako například z webového článku Českých Novin, kde popisují výhody a kvalitu u elektrických offroadových automobilů od značky Jeep.

Elektrický automobil má elektromotor umístěný vpředu, kde točivý moment prochází mezi elektromotorem a kardanovou hřídelí. Ostatní výrobci elektromobilů s pohonem 4x4 mají jiný koncept. Používají další elektromotor umístěný u zadní nápravy v podlahách vozů.[21]

Podle citace Českých Novin „*Jeep už si elektrický pohon použil v případě plug-in hybridních verzí modelů Wrangler a Grand Cherokee. Vzhledem k tomu není vůbec vyloučené, že se sériový plně elektrický kultovní offroad dostane do prodeje ještě před koncem roku 2021.*“[21]

## **4.2 Operace zadních náprav v montážních linkách**

Sled operací pro montáž zadních náprav se v každém závodě liší. Pro konkrétní studii, je celkem 12 operací.

Operace 1 – Přemístění svařence nápravy z transportního vozíku na montážní paletu.

Operace 2 – Lisování elastických lůžek, montáže brzdových komponentů a čepu kola.

Operace 3 – Vložení nosné části nápravy a nalisování ložisek

Operace 4 – Montáž středové matice, senzory ABS a držadla lanek k manuálním brzdám

Operace 5 – Vkládání lanek k manuálním brzdám

Operace 6 – Montáž brzdového kotouče a třmenů. A následné přemístění do transportních vozíků.

Operace 7 – Převěšování zadních náprav z transportních vozíků na montážní paletu.

Operace 8 – Testování ABS zadních náprav a brzdové soustavy.

Operace 9 – Kontrola senzorů ABS.

Operace 10 - Náhradní technologie a opravy (repase).

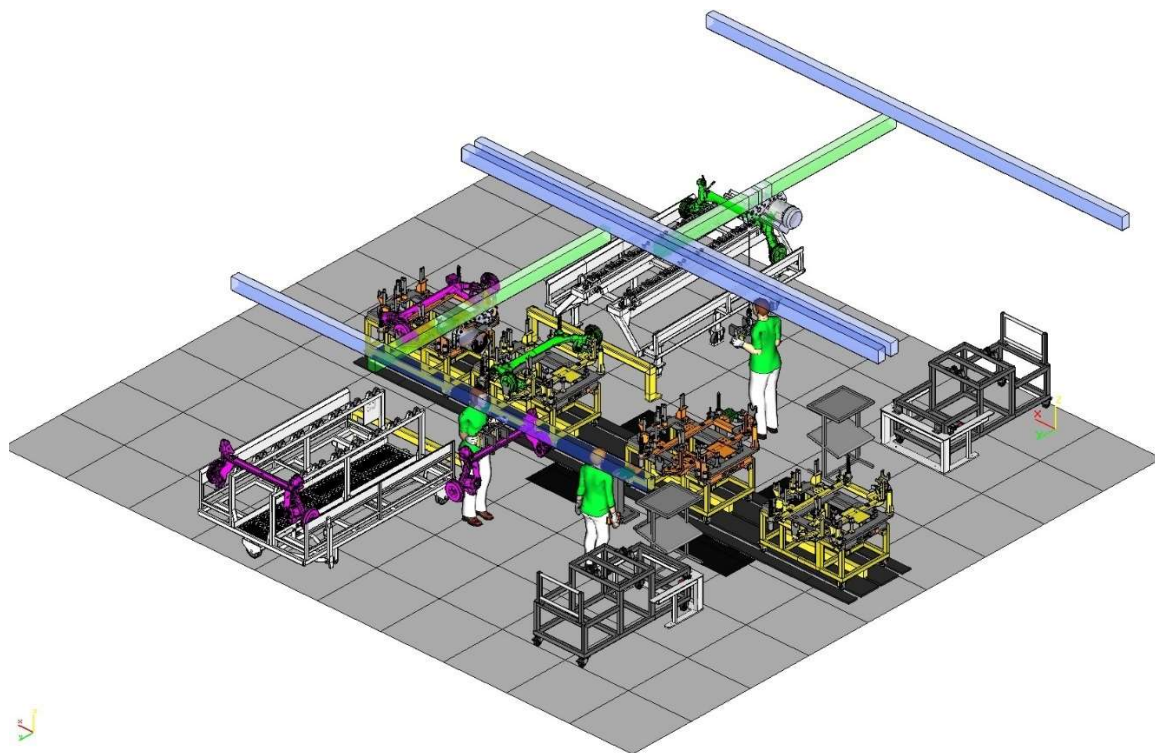
Operace 11 – Kontrola hledisek zadní nápravy a doplnění krytek.

Operace 12 – Přemístění připravené zadní nápravy.

### 4.3 Popis stávající ruční montážní linky

Tato práce je zaměřena na optimalizaci montážní linky. Po několika posouzení a přemýšlení je použita operace 7 - Převěšování zadních náprav z transportních vozíků na montážní paletu. Operace je vybrána z několika hledisek a to z ergonomického, ekonomického a z časového důvodu.

*Obr.10 Layout operace 7 - ruční převěšování zadních náprav*



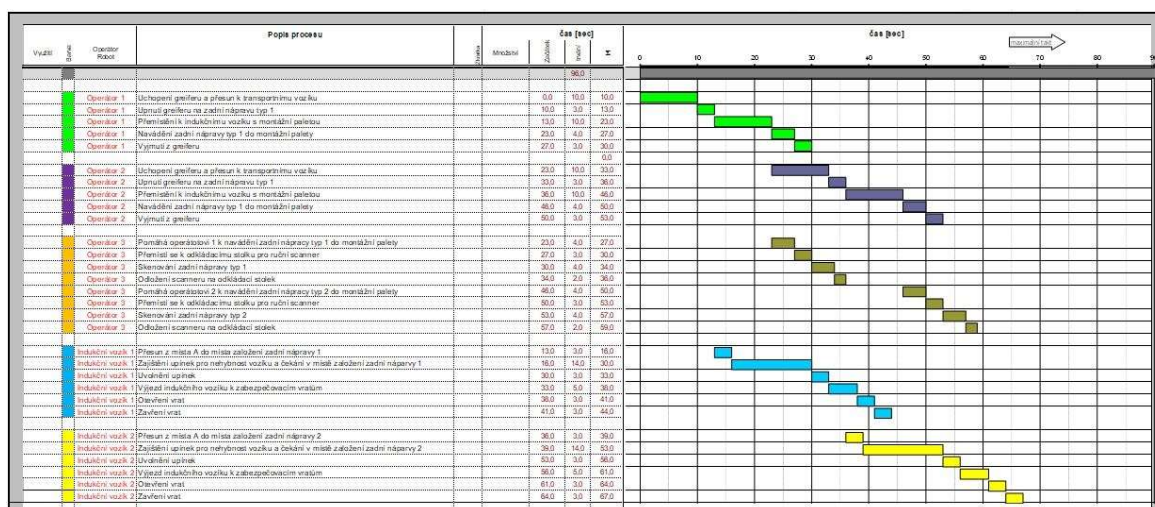
Zdroj: Autor

Současná montážní linka pro převěšování zadních náprav na obr.10 je umístěna mezi operací montáže brzdového kotouče a operací testování ABS zadních náprav. Celková hmotnost dvou typů zadních náprav po operaci 6 činí téměř 25 kg. Ruční montážní linka pro převěšování zadních náprav se skládá z indukční dráhy s vozíky, montážními palety pro

ustanovení náprav, transportních vozíků, jeřábových systémů, balancerů, dvěma greifery a třemi operátory.

Operátoři se střídají na dva typy zadních náprav, při kterém operátor 1 se přemísťuje a manipuluje greifer na jeřábovém systému a přeneše ho k transportnímu vozíku 1, kde jsou v řadách uloženy zadní nápravy 1. Jednoduchý greifer manuálně přesune do polohy, aby mohl uchopit nápravnicí a upevnit na čelistích greiferu. Po tomto úkonu operátor přechází s greiferem se zachycenou nápravou a přemísťuje nápravu pomocí jeřábových systémů k indukčnímu vozíku. Poté operátor 1 uloží nápravu na montážní paletu a ustanoví upínkami, aby se náprava nemohla, jakkoliv hýbat ve všech osách. Až je vše splněno, může operátor 1 uvolnit greifer a operátor 3 naskenovat čárový kód. Úkolem operátora 2 je totožná práce jako u operátora 1 s tím rozdílem, že má na starost druhý typ náprav. Po převěšení nápravy typu 2 opět operátor 3 musí naskenovat pomocí scanneru čárový kód. Každá strana také obsahuje dokovací vozíky pro případ špatných náprav. Podrobný postup je zohledněn v časovém diagramu na obr.11 nebo v příloze XII.

Obr.11 Časový diagram ruční montážní linky



Zdroj: Autor

Takt ruční montážní linky pro přenos zadní nápravy umístěné na transportním vozíku k montážní paletě a následné skenování činí 30 sekund. Celková sekvence, pokud počítáme pro jeden typ nápravy (8 náprav na transportním vozíku) je průměrný čas 240 sekund. Rezerva mezi sekvencemi překládání, musí být dle předpisů 85%. Tato rezerva, plní funkci pro případné zásahy oprav, údržby nebo diagnostiky.

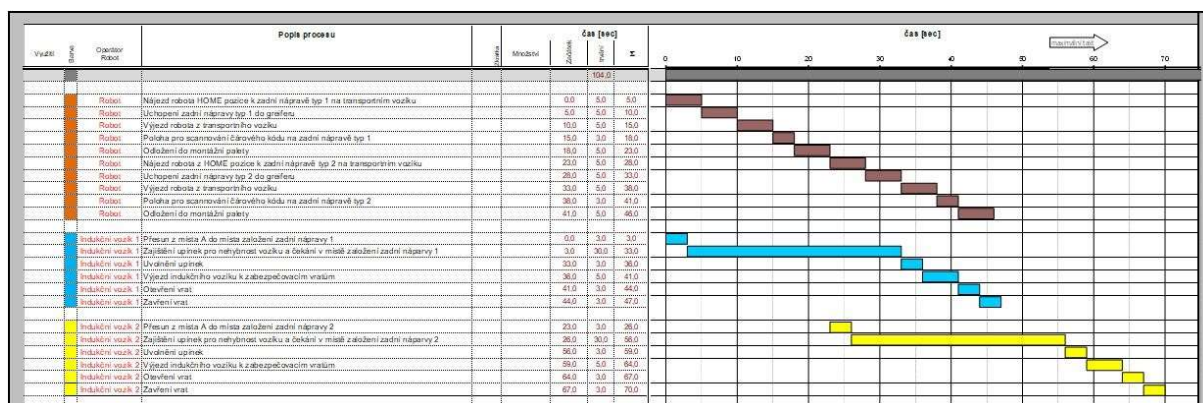
### 4.3.1 Ergonomické vyhodnocení stávající linky

Ergonomie ve stávající lince, je schválena ergonomickým specialistou. V této konkrétní operaci lze shlédnout některé úkony, které jsou pro operátora na hraně ergonomických požadavků. Úkony operátora při zvedání zadních náprav z transportního vozíku a následnému upnutí do ručního greiferu je při pohledu polohy těla operátora namáhaná rotace trupu a rovněž při zvedání, musí operátor vynaložit velkou sílu. Kvůli těžké nápravě znesnadňuje operátorovi manipulace balanceru s jeřábovým systémem. Operátor se musí po několika úkonech střídát s jiným operátorem. To znamená, že při pracovním taktu vznikají tzv. prostoje.

### 4.4 Návrh automatické montážní linky

Automatická montážní linka pro operaci 7 je určena k odebrání zadních náprav z transportních vozíků pomocí průmyslového robota. Cílem automatické montážní linky pro tuto operaci je nahrazení opakujících ručních úkonů. Robot urychluje a koresponduje přesnost odkládání zadních náprav na montážní palety. Následně zadní náprava je odložena na montážní paletu, která je upevněna na montážních indukčních vozících a postupuje k další operaci. Podrobný časový diagram lze prohlédnout na obr.12 nebo v příloze XIII. Pokud operace lze optimalizovat v montážní lince pro převěšování náprav, musí být takt v současné montáži v hale stejný. To znamená, že čas operace nesmí být v montážní lince zkrácený ani prodloužený. Kdyby se takt změnil po operaci 7, musely by se i ostatní operace taktně změnit kvůli přesouvání náprav na vozících. Montážní robotická linka, dle předpisů musí mít takt srovnatelný, že 91% je montážní proces na převěšování náprav a zbylých 9% taktu je časová rezerva pro danou údržbu, nebo diagnostiku.

Obr.12 Časový diagram robotické montážní linky



Zdroj: Autor

V návrhu zadání zahrnuje, aby byl totožný prostor, jako u ručního převěšování náprav. To znamená, že rozměry šíře a délky pro překládání náprav operaci 7 jsou stanoveny s rozměry 8m x 7m. Strop montážní haly je celkově 10m, tím pádem výška rámu a robota není důležitý parametr. Součástí robotické linky je rovněž operátor-seřizovač, jeho úkol je kontrolovat robotickou linku pro správnost úkonů robota a jeho údržbu. Kromě montážní linky pro převěšování náprav, má na starost také další robotické linky v okolí montážní haly.

#### **Součásti pracoviště jsou navrženy tyto zařízení:**

- Rolovací vrata

Na montážní lince budou celkově 4 kusy rolovacích vrat od společnosti ERAFLEX s.r.o. Tato firma zajistí kompletní dodání vrat včetně montáže.

- Výjezdové vrata s pneumatickým pohonem a nárazovou lištou

Svařované ocelové profily ukotvené k podlaze a „kari“ síť. Použití pneumatického pohonu od společnosti Festo s.r.o.

- Oplocení

Bezpečnostní plot okolo pracoviště budou z ocelových profilů a výplně pletivo s polykarbonátem. Následně se ukotví k podlaze.

- Servisní dveře se zámkem

Speciální dveře se zámkem zajišťují bezpečnost, při provozním režimu. Objednají se od firmy EUCHNER.

- Dokovací stanice (NOK vozík)

Se skládá ze svařovaných ocelových profilů, pro rychlý přesun zjistí kolečka s brzdou od firmy Blickle s.r.o. A na vozíku bude zachycovat nápravu dvě upínky od společnosti Destaco s.r.o. NOK vozík plní funkci, pro případné poškození zadních náprav anebo nenačtení čárového kódu.

- Rám robota

Základna se svaří z ocelových profilů ukotvené k podlaze a z výpalků. Zásadním bodem je pevnost profilů pro umístění robota a jeho hmotnost na horní desku.

- Aretace indukčního vozíku

Rám z ocelových profilů ukotvené k podlaze. Pro aretaci proti pohybu indukčního vozíku jsou namontovány 2 upínky od společnosti Tuenkers s.r.o.

- Aretace rámu

Podobně jako u aretace indukčního vozíku je rám z ocelových profilů ukotvené k podlaze. Jeho pneumatický pohon od společnosti Festo s.r.o. se skládá ze dvou kusů

- Aretace dokovacího vozíku

Zajištění dokovacího vozíku jsou na rámu přimontovány dva kusy upínky od firmy Tuenkers.

- Navádění vozíku

Navádění je ze svařovaných ocelových profilů zapuštěné k podlaze.

- Kontrolní sloup s kamerou

Ocelový sloup, na kterém bude umístěná kamera na skenování štítků na nápravách.

- Bezpečnostní scannery a zprovoznění PLC

Bezpečnost v nebezpečných prostorech pomáhají scannery od společnosti Sick s.r.o. a

#### **4.4.1 Návrh robota a greiferu**

Aby se mohlo jednoznačně určit, kterého robota vložit do montážní linky je několik možností. Zákazník se snaží, co nejlépe ekonomicky uspořít náklady a pokouší se prosadit typ robota ze svých zásob, nebo využít robota z některých starších linek, které byly zrušeny. V tomto případě, upřednostňuje roboty ze společnosti KUKA. Pokud se tato možnost naskytne, je důležité, jestli daný robot splňuje tyto prvotní podmínky:

- Dostatečná délka ramene k dosažení naložení a vyložení nákladu
- Únosnost robota, aby neměl problém s vahou greiferu a nákladu
- Rychlost a přesnost opakování procesu

Než se rozhodne, jaký robot bude na navržené montážní lince, je také si uvědomit koncepční návrh greiferu. Konstrukční řešení a koncepce ručního manipulátoru, lze využít jako výchozí návrh při konstrukci robotického návrhu. V ruční montáži při překládání zadních

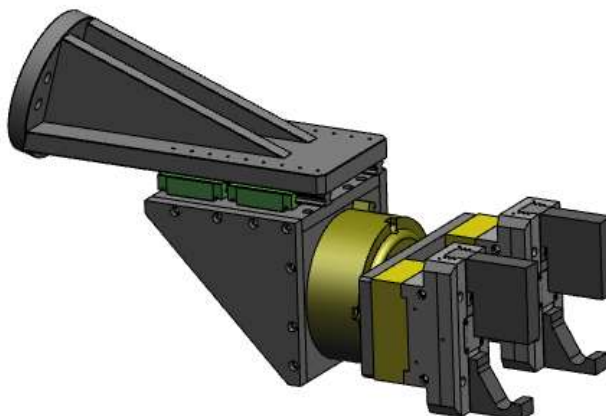
náprav, kdy operátor přejíždí greiferem k transportnímu vozíku a uchopí střed nápravnice je pro tuto situaci nerealizovatelný, protože čelisti greiferu jsou jednoduché a pro přesouvání zadních náprav nestabilní. Hrozí vypadnutí nápravy z greiferu a k jeho následnému poškození.

Je zapotřebí navrhnout a upravit greifer na obr.13, aby byl upnutý na přírubě robota a na druhém konci polohovatelné tvarované čelisti pro uchopení zadních náprav. Dále si konstruktér musí uvědomit, jaké materiály použije pro návrh greiferu, kvůli zátěži nosného ramene robota. Součástí tohoto manipulátoru musí také být doplněný senzory koncových poloh prvků a přítomnosti zadních náprav.

#### **Návrh greiferu:**

- Hliníkové desky na lineárním vedení.
- Kompaktní vozíky od společnosti HIWIN s.r.o.
- Protiskluzná hlava a dva kusy chapadel od firmy SCHUNK s.r.o.
- Pneumatický válec od společnosti Festo s.r.o.
- Senzory poloh a přítomnosti náprav od firmy Sick s.r.o.

*Obr.13 Návrh greiferu*



Zdroj: Autor

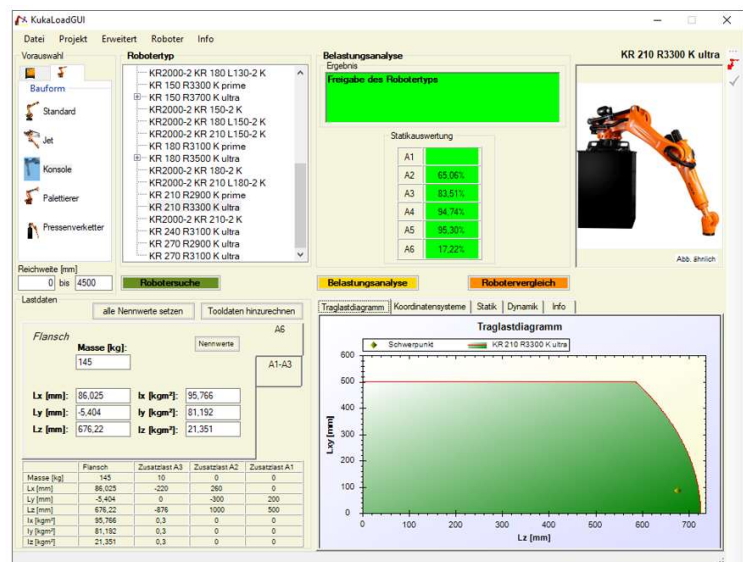
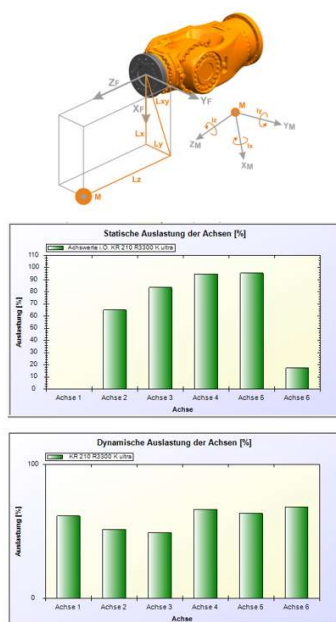
Až se dokončí model greiferu, v systému počítačového návrhu CATIA, konstruktér naimportuje model nápravy a zaimplementuje ke greiferu. Odměří se celková hmotnost greiferu, nápravy, poloha těžiště a momenty setrvačnosti k osám souřadného systému. Tyto údaje se zapíšou do softwarového produktu s názvem KUKALoad.

KUKALoad je datový software, který je zaměřen na správný výběr robota KUKA na základě požadovaného dosahu a užitečného zatížení. Po zápisu vstupních dat a vygenerování, jsou zajištěné potřebné údaje a potvrzení jestli robot, greifer a náklad (v tomto případě náprava) budou funkční s ohledem na zatížení robota.

### Funkce KUKALoad:

- Ověření situace zatížení
- Ověření robota pro dané zatížení
- Výběr robota pro dané zatížení
- Výpočet zatížení pro několik nástrojů namontovaných současně na přírubě
- Generování zprávy v událost statického přetížení
- Generování zprávy v případě dynamického přetížení
- Vytváření přejímacích protokolů
- Správa projektů s řadou robotů
- Přenos dat do Excelu

Obr.14 Kukuload výsledek zatížení greiferu na robota



Zdroj: Autor



Podle vyhodnocení softwaru KUKAloadu na obr.14, je dle přesných údajů zjištěno, že průmyslový robot KUKA 210 R3300 K ultra viz. příloha IX a navržený greifer viz. příloha X, je nejlepším řešením pro překládání náprav v montážní stanici operaci 7.

*Obr.15 Model KUKA 210R3300 K ultra*



Zdroj: Autor

#### **4.4.2 Modelování a simulace v Process Simulate**

Po vytvoření a předběžném rozložení modelů v designovém programu, se přeloží jednotlivé modely do simulačního softwaru Process Simulate. Objekty jako jsou upínky, posuvné dveře, pneumatické lineární vedení je důležité zkinematizovat, aby při spuštění simulace byly patrné vidět reálné pohyby při procesu překládání náprav. Dalším krokem je stáhnout přesný tip robota KUKA. Na registrovaných webových stránkách od společnosti KUKA. Anebo ze společnosti SIEMENS, lze stáhnout již zkinematizovaný objekt.

Po importování robota KUKA 210 R3300 na obr.15 se umístí na základnu v montážní lince. Greifer se nadefinuje jako nástroj k robotu a označí se důležité osové souřadnice tzv. axisy ANB (osový kříž pro připojení konzole greiferu na přírubu robota) a TCP (osový kříž pro připojení nápravy ke greiferu). V možnostech robota přes funkci „Mount Tool“ se připojí greifer k robotu bez nutnosti posouvání. Automaticky se konzole greiferu zakomponuje k přírubě robota. Po tomto zákroku, bude kdykoliv při pohybu robota držet greifer na přírubě. V další fázi se zahrne do simulace modely oplocení, bezpečnostních vrat, transportních a indukčních vozíků, dráhy pro vozík, rám a ostatní zařízení. Vznikne ideální prostorový model

pro simulování pohybů robota a greiferu, jak lze vypořádat na obr.16. Po tomto kroku se složí všechny komplexní modely tak, aby rozměry daných zařízení souhlasili v předběžném návrhu viz. příloha XI. Pokud by některé robotické body dosahů v simulaci nevycházeli, lze některé zařízení přesouvat, ale pouze v minimální míře.

*Obr.16 Robotický návrh layoutu operace 7*



Zdroj: Autor

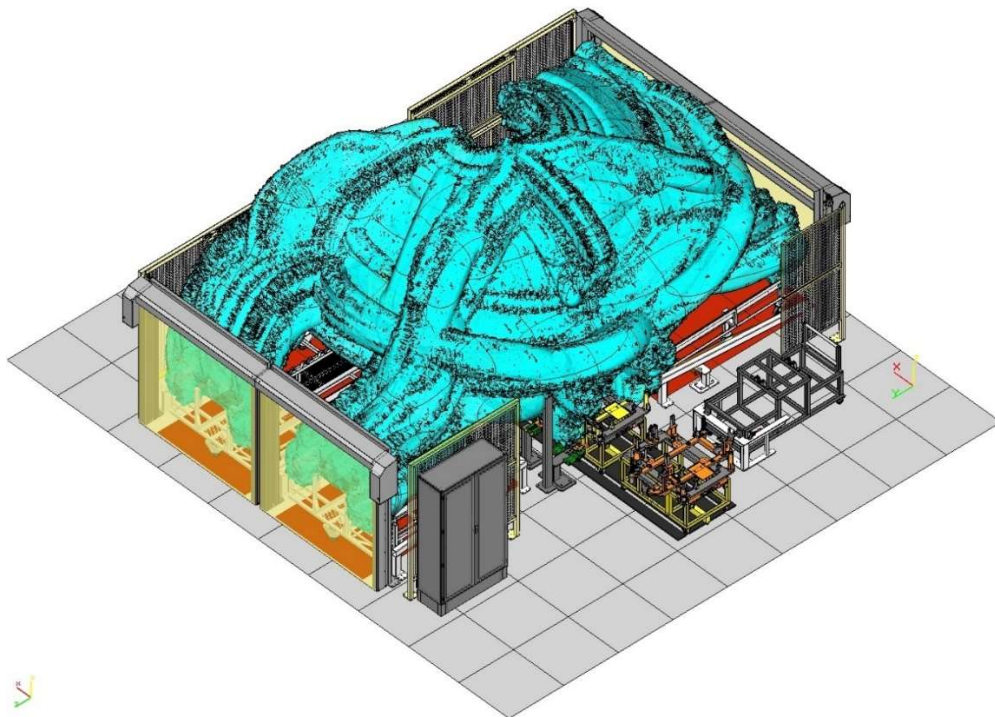
V simulačním procesu, se nejprve vytvoří operace „Pick&Place“ a s funkcí „relocate“ určí body dosahů na zadní nápravu v zadní poloze na transportních vozících. Při modelování bodů a postupné simulaci lze vypořádat, jaké osy robota jsou zatížené při dosahu náprav. V možnostech, lze změnit prodloužení konzole ke greiferu, anebo vytvořit posuvné zařízení na greiferu. V tomto případě je to nejideálnější technické řešení. Cílem řešení této úpravy je, aby robot nebyl zatížen při natahování odložených náprav na transportních vozících. To samé vytvoříme body dosahů ke všem zadním nápravám uložených na transportních vozících. Dále se zaimplementuje dosah při odkládání na montážní paletu indukčního vozíku i tady se využije posuv lineárního vedení na greiferu, protože při pohybu odkládání ukazuje opět zatíženou osu

robotu. Dosah k dokovacímu vozíku je podle funkce „Pick&Place“ v přirozené poloze. Po základním dosahu na všech pozicích je zapotřebí nasimulovat nájezdy, výjezdy a přetočení robotu. Tento úkol bývá nejobtížnější, protože může nastat překroucení robotu a také jeho singularita. Proto je důležité hned v prvním bodě operace, zvolit konfiguraci robotu. Správná konfigurace robotu zajistí, aby se zbytečně nevytvářelo vyššího počtu bodů pohybů v operaci. Po tomto kroku se zkopírují operace „Pick&Place“ k ostatním zadním nápravám. Upraví se body, aby nájezdy a výjezdy byly přemístěné a přizpůsobené ke konkrétním nápravám. Dokud se nepřesvědčí po přehrávání simulace o její správnosti. Zahrne se, také i připojení a odpojení modelů náprav ke greiferu.

#### 4.4.3 Výsledek simulace

- V simulaci bylo zjištěno ověření, že funkce robotu dosáhne ke všem lokacím.
- Nájezdy a výjezdy robotu, splňují odebrání všech typů náprav.
- Čas robotu splňuje kritéria pro daný takt pracoviště. S možným ohledem lze, také zrychlit takt pracoviště pro budoucí změny taktů v dalších operacích.
- Obálka pohybů robotu na obr.17 znázorňuje, kde všude robot má svoji dráhu. Při nastavení pohledů je možno ověřit bezkoliznost všech bodů v operaci.

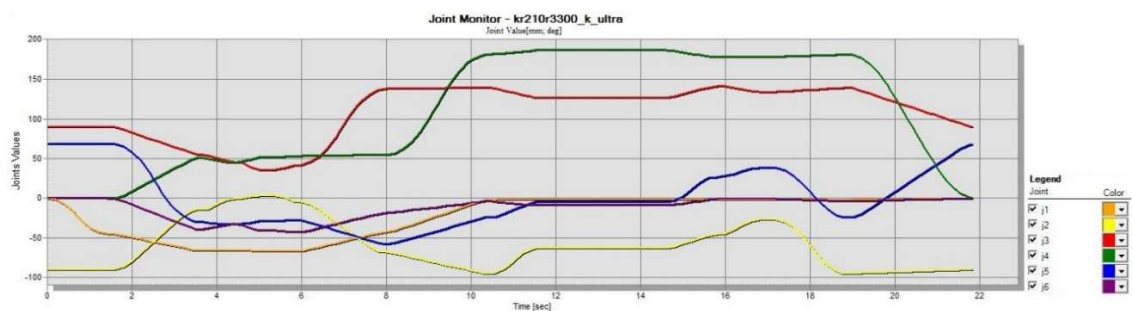
*Obr.17 Obálka pohybů robotu v simulaci*



Zdroj: Autor

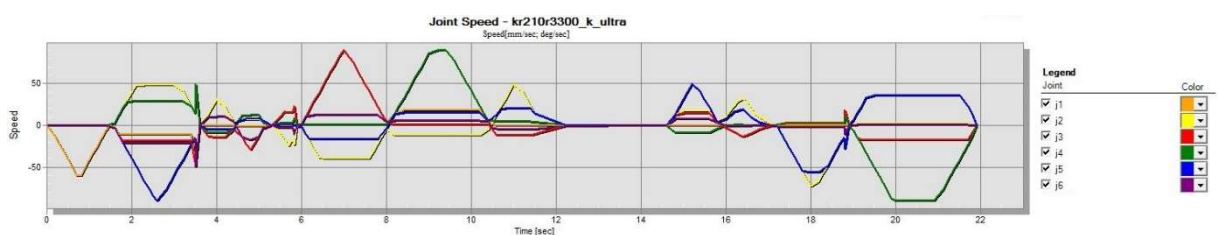
- Při uzavírání výjezdových vrat se načtou data a provede se indexace vozíku, jeho čas činí 3 sekundy.
- Najetí robota z parkovací polohy na nejbližší nápravu rotační rychlostí 105°/s a lineární pohyb, včetně upnutí je čekem za 5 sekund.
- Robot vyhledává nápravu od první pozice až po osmou lineárním pohybem za 3 sekundy.
- Kombinace úhlových a lineárních pohybů při které dojde k usazení nápravy na montážní paletu při maximální rychlosti 50-55 % je potřebný čas 5 sekund. Včetně uvolnění nápravy z greiferu.
- Na obr.18 a obr.19 jsou vygenerovány rychlostní a akcelerační parametry robota. Podle křivek je zjištěno, že osy robota nejsou extrémně zatíženy. Při zatížení pohybů reálného robota, lze usuzovat nižší nároky na údržbu a diagnostiku.

*Obr.18 Zatížení os robota*



Zdroj: Autor

*Obr.19 Rychlost os robota*



Zdroj: Autor

- Kontrola 2D kódu, vyhodnocení a měření uchopení nápravnice pro korekci dráhy probíhá do 2 sekund.
- Kombinace úhlových a lineárních pohybu při kterých se robot přesune z nakládací pozice do pozice parkování je čas 3 sekundy.
- Výsledky simulační studie, je možno předat jako šablonu pro robotika anebo rozšířit simulaci v offline prostředí. Následně lze zakomponovat virtuální zprovoznění.

## 5 Ekonomické vyhodnocení

Při ekonomickém vyhodnocení je zapotřebí porovnat cenově stávající ruční montážní linky a předpokládaný návrh robotické montážní linky. Ceny zařízení jsou orientační po zvážení a informování specialistů a odborníků v daném oboru. Po vypočítání a součtu všech zařízení je získáno rozdílné efektivitu montážních linek.

### 5.1 Kalkulace ruční montážní linky

Cenové kalkulace stávající ruční linky v tab.1 je vycházeno z podnětů pozorování přímo v montážní hale a konzultace s vedoucím linky.

Tab.1 Kalkulace ruční montážní linky

<b>Kalkulace:</b>	<b>Ks/Počet:</b>	<b>Cena 1ks/počtu:</b>	<b>Cena:</b>
<i>Výbavení pracoviště (osvětlení, elektro, rozvaděč)</i>		30 000 €	30 000 €
<i>Jeřábový systém</i>	2x	30 000 €	60 000 €
<i>Balancer (el. Kladkostroj)</i>	2x	6 000 €	12 000 €
<i>Grejfer</i>	2x	5 000 €	10 000 €
<i>Dokovací stanice (Vozík NOK)</i>	2x	8 000 €	16 000 €
<i>Bezpečnostní prvky (scanner, nášlapná rohož)</i>		12 000 €	12 000 €
<i>Pomocné zavěšení</i>		30 000 €	30 000 €

<b>člověk</b>	<b>Počet</b>	<b>člověk/1 rok</b>	<b>Cena:</b>
<i>Operátor</i>	9	30 000 €	270 000 €

Celkové náklady všech zařízení na ruční montážní lince činí 170 000 €. Musí se, ale také připočíst náklady na tří směnný provoz třech operátorů, kde činí celková částka za rok 270 000 €.

## 5.2 Investice automatické montážní linky

Tab.2 Kalkulace automatické montážní linky

<b>Kalkulace:</b>	<b>Ks/Počet:</b>	<b>Cena 1ks/počtu:</b>	<b>Cena:</b>
Výbavení pracoviště (osvětlení, elektro, rozvaděč)		30 000 €	30 000 €
Rolovací vrata	4x	8 000 €	32 000 €
Výjezdová vrata	2x	8 000 €	16 000 €
Oplocení a servisní dveře		6 000 €	6 000 €
Rám robota	1x	5 000 €	5 000 €
Aretace indukčního a dokovacího vozíku		10 000 €	10 000 €
Kontrolní sloup s kamerou	1x	8 000 €	8 000 €
Robot (KUKA 270 R3300 Ultra)	1x	45 000 €	45 000 €
Greifer	1x	15 000 €	15 000 €
PLC (zprovoznění)		30 000 €	30 000 €
Bezpečnostní prvky pracoviště (Scannery)		12 000 €	12 000 €

<b>člověk</b>	<b>Počet</b>	<b>člověk/1 rok</b>	<b>Cena:</b>
Operátor-Seřizovač	3	*6000 €	18 000 €

Podíl člověka/rok (30 000 €) počtů kontrolovaných linek (5). Dává výsledek pro operátora-seřizovače hodnotu za rok celkem 18 000 €.

Celkové náklady robotické montážní linky v tab.2 má celkovou hodnotu 227 000 €. Pro kontrolu robotické linky je započítán operátor-seřizovač. Kromě robotické linky pro převěšování náprav obstarává další 4 robotické linky, to znamená že operátor-seřizovač má hodnotu za jednu pracovní směnu 6000 €.

## 6 Závěr

Tato diplomová práce poukazuje, kam směřuje dnešní trend digitalizace v průmyslu 4.0. Je zde popsána současná problematika montážních linek a jejich postupné zdokonalování. Pro současné zpracování a sestavení jsou využity moderní softwarové technologie. Simulační programové vybavení Process Simulate pomáhá, nejen jako 3D software, ale také k vizuální představitosti a k účelům procesní simulace. Jeho úkolem je zjišťovat takt linky, průběh zatížení robota a také přesnost pohybů, aby nedocházelo ke kolizním situacím. Dále v teoretické části je vysvětleno, jak současná ergonomie v pracovních podmínkách je v této době zásadní. Pohyb a psychická odolnost člověka v průmyslové oblasti je důležitá pro zdraví pracovníků. Tendence moderních technologií se zdokonaluje a nejen to, protože až přijdou další průmyslové revoluce v budoucích letech, činnost lidské práce bude dokonalejší a striktní vůči současným normám.

Vlastní práce popisuje návrh optimalizace montážní linky pro převěšování zadních náprav v automobilovém průmyslu. V této konkrétní práci je vytvořena robotická montážní linka v Process Simulate. Tato linka je mezi operací montáže brzdového kotouče a operací testování ABS zadních náprav. V současné době je vytvořená jako ruční montážní linka. Rozhodovalo a posuzovalo se, jestli nahradit ruční linku se třemi operátory nebo automatickou linku pouze s jedním robotem. Důvod, proč nahradit ruční linku na automatickou linku, je její ekonomické hledisko, časový průběh montážní linky, činnost operátorů a ergonomie. Po návrhu sestavení a vymodelování zařízení se musí zjistit, jestli navrhovaný greifer uchopený na robota, může přenášet zadní nápravy do montážních palet. Pomocí programu KukaLoad, lze vyhodnotit výsledek zatížení greiferu. Vzhledem k přijatelným početním podmínkám v programu KukaLoad, je zapotřebí nasimulovat všechny pohyby průmyslového robota a dostupnost náprav na transportních vozících. Výsledek simulace poukazuje, že průběh časového taktu, lze zrychlit a zvýšit výkonnost montážní linky. Jelikož tato operace je vsazena mezi operacemi 6 a 8, jeho takt nelze změnit. Je, ale předpokladem pro další návrhy studií v budoucích letech při změně montážních linek. Průběh pohybů robota je v patřičných podmínkách, robot a jeho osy nejsou obtížně zatíženy. Diagnostika robota nebude náročná. Dle ekonomického posouzení lze prohlásit, že investice do robotické linky se vyplatí lépe než ruční montážní linka. Důvodem je rozdíl v ceně (57 000 €) a jeho návratnosti. Především cena operátora za jednu směnu práce v ruční montážní lince, je v současné době nadsazená. Proto, lze usoudit, že v dalších letech se počet operátorů v ručních linkách bude snižovat a budou postupně nahrazeny robotickými linkami.

## 7 Seznam literatury

- [1] HUGHES, James. *Velká obrazová všeobecná encyklopedie*. Praha: Svojtka & Co., 1999. ISBN 80-7237-256-4.
- [2] TÖRENLI, Artun. *Assembly line design and optimization* [online]. 2019 [cit. 15.2.2021]. Dostupné z: [https://www.proplanner.com/media/cms/ArtunTorenli\\_Thesis\\_MAN\\_Public\\_41372EB3DF63E.pdf](https://www.proplanner.com/media/cms/ArtunTorenli_Thesis_MAN_Public_41372EB3DF63E.pdf)
- [3] AUTOMA – časopis pro automatizační techniku s.r.o., *Digitalizace montážní linky ve Škoda Auto Kvasiny* [online]. Praha, číslo 5, 2019 [cit. 15.2.2021]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/digitalizace-montazni-linky-ve-skoda-auto-kvasiny-2019\\_05\\_0\\_12161/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/digitalizace-montazni-linky-ve-skoda-auto-kvasiny-2019_05_0_12161/)
- [4] PETŘÍK, Jan. *Bakalářská práce – Racionalizace montážní linky* [online], ZČU, Plzeň 2017 [cit. 30.4.2021]. Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27116/1/Bakalarska\\_prace\\_Jan\\_Petrik.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27116/1/Bakalarska_prace_Jan_Petrik.pdf)
- [5] MOORE, Mike, *What is Industry 4.0? Everything you need to know* [online]. TechRadar, 2019 [cit. 5.1.2021]. Dostupné z: [www.techradar.com/news/what-is-industry-40-everything-you-need-to-know](http://www.techradar.com/news/what-is-industry-40-everything-you-need-to-know)
- [6] MAŘÍK, Vladimír. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-440-0.
- [7] URBANI, Roman, *Digitální továrna Tecnomatix* [online]. Informační zpravodaj AXIOM TECH, číslo 11, 2010 [cit. 10.4.2021]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/wcd/zpravodaj/zpravodaj2010.pdf>
- [8] GAZZANEO, Lucia, *Procedia Manufacturing 42* [online], ScienceDirect, 2019. [cit. 5.1.2021]. Dostupné z: [www.pdf.sciencedirectassets.com/306234/1-s2.0-S2351978920X00060/1-s2.0-S2351978920306375](http://www.pdf.sciencedirectassets.com/306234/1-s2.0-S2351978920X00060/1-s2.0-S2351978920306375)
- [9] Tecnomatix – AXIOM TECH s.r.o. [online]. C2020, poslední revize 31.12.2020 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/24751-digitalni-tovarna-tecnomatix>



- [10] SÁMEK, David, *Tecnomatix Process Simulate Robotics* [online], číslo 16, AXIOM TECH 2015 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z:  
<https://www.axiomtech.cz/wcd/zpravodaj/zpravodaj2015.pdf>
- [11] Informační zpravodaj AXIOM TECH, *Tecnomatix Human* [online], číslo 17, AXIOM TECH 2017 [cit. 2021-01-28]. Dostupné z:  
<https://www.axiomtech.cz/wcd/zpravodaj/zpravodaj2017.pdf>
- [12] RÜSCHENSMIDT; REINDT; RENTEL. *Occupational Health and Safety at the Workplace, Designing with Ergonomics*. 1. vyd. Hochum,: Verlag Technik & Information, 2007. ISBN 978-3-934966-68-0
- [13] MAREK, Jakub a Petr SKŘEHOT. *Základy aplikované ergonomie*. Praha: VÚBP, 2009. Bezpečný podnik. ISBN 978-80-86973-58-6.
- [14] SALVENDY, Gavriel. *Handbook of human factors and ergonomics*. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2012. ISBN 978-0-470-52838-9.
- [15] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT. ISBN 80-010-3802-5
- [16] ŠTEVKO, Gabriel, *Ergonomie na pracovištích* [online], Praha 2004 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://mapis.vubp.cz/PR/ShowDokument.aspx?guid=76d9fb06-24f3-4729-b298-250fc5bac716>
- [17] Škoda auto a.s. *Zpráva o trvale udržitelném rozvoji 2017/2018* [online]. Mladá Boleslav, 2019 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: [https://cdn.skoda-storyboard.com/2019/07/190711\\_Zprava-o-trvale-udrzitelnem-rozvoji-2017-2018.pdf](https://cdn.skoda-storyboard.com/2019/07/190711_Zprava-o-trvale-udrzitelnem-rozvoji-2017-2018.pdf)
- [18] Ochrana zdraví (SG). *Technické zadání ŠKODA AUTO a.s. Část I – 08 Ergonomie*, Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav, 2016.
- [19] FABIAN, Michal a Vladimír KOHAN. *Zadní náprava osobního automobilu* [online]. CAD.cz, 2020 [cit. 2021-04-30] <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/3457-zadni-naprava-osobniho-automobilu.html> ISSN 1802-6168
- [20] P, Shijil a Albin VARGHEESE, *Design and analysis of suspension system for an all terrain vehicle* [online], International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 3, March-2016 [cit. 2021-03-20] Dostupné z:

<https://www.ijser.org/researchpaper/DESIGN-AND-ANALYSIS-OF-SUSPENSION-SYSTEM-FOR-AN-ALL-TERRAIN-VEHICLE.pdf> ISSN 2229-5518

[21] PECÁK, Jiří, *Jeep chystá plně elektrický model Wrangler* [online], České noviny, 2021 [cit. 2021-04-01] Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/jeep-chysta-plne-elektricky-model-wrangler/1993678>

## **8 Seznam obrázků**

*Obr.1 Robotická montážní linka*

*Obr.2 Schéma práce a toku materiálu na montážní lince*

*Obr.3 Odhadovaná celosvětová roční dodávka průmyslových robotů*

*Obr.4 Schéma průmyslu 4.0 v digitální továrně*

*Obr.5 Nástroje Tecnomatix pro využití v digitální továrně*

*Obr.6 Schéma portfolia Process Simulate*

*Obr.7 Prostředí Process Simulate Robotics*

*Obr.8 Prostředí Human v Process Simulate*

*Obr.9 Model zadní nápravy*

*Obr.10 Layout operace 7 - ruční převěšování zadních náprav*

*Obr.11 Časový diagram ruční montážní linky*

*Obr.12 Časový diagram robotické montážní linky*

*Obr.13 Návrh greiferu*

*Obr.14 Kukaload výsledek zatížení greiferu na robota*

*Obr.15 Model KUKA 210R3300 K ultra*

*Obr.16 Robotický návrh layoutu operace 7*

*Obr.17 Obálka pohybů robota v simulaci*

*Obr.18 Zatížení os robota*

*Obr.19 Rychlost os robota*

## **9 Seznam tabulek**

*Tab.1 Kalkulace ruční montážní linky*

*Tab.2 Kalkulace automatické montážní linky*

## **10 Přílohy**

*Příloha I Požadavky na prostor pracoviště*

*Příloha II Antropometrie*

*Příloha III Rozměry pracovní roviny a místa*

*Příloha IV Ruční manipulace s břemeny*

*Příloha V Maximální limity pro tažné a tlačné síly*

*Příloha VI Pracovní polohy – trup, hroní končetiny, hlava a krk*

*Příloha VII Zorné pole*

*Příloha VIII Data-Sheet Kuka KR210 R3300 ultra K*

*Příloha IX Sestavový výkres greifery*

*Příloha X Layout robotické montážní linky*

*Příloha XI Časový diagram ruční montážní linky*

*Příloha XII Časový diagram robotické montážní linky*

**1. Volná podlahová plocha na 1 zaměstnance – min. 2m<sup>2</sup>**  
mimo zařízení a spojovacích cest

**Šíře volné plochy** pro pohyb nesmí být v žádném místě zúžena **pod 1 m**.

Umístění strojů a zařízení nejméně **0,60 m** od pevných překážek.

Průchodová ulička na pracoviště jednosměrná nejméně **0,85 m** (1 zaměstnanec s břemenem)

- pracoviště, kde zaměstnanec stojí nebo chodí po tvrdé podlaze, je nutné toto pracoviště vybavit ergonomickou proti únavovou rohoží nebo zaměstnance vybavit speciální obuví s odpruženou podešví

**2. Vzdušný (objemový) prostor na 1 zaměstnance**

dle třídy práce I nebo IIa	- 12m <sup>2</sup>
dle třídy práce IIb, IIIa nebo IIIb	- 15m <sup>2</sup>
dle třídy práce IIa, IIb nebo V.	- 18m <sup>2</sup>

viz. Příloha č.1, část A, tab. č. 1 k Nařízení vlády 361/2007Sb.

**3. Světlá výška prostor**

při ploše do 20 m <sup>2</sup>	- min. 2,50 m
při ploše do 50 m <sup>2</sup>	- min. 2,60 m
při ploše do 100 m <sup>2</sup>	- min. 2,70 m
při ploše do 2000 m <sup>2</sup>	- min. 3,00 m
při ploše nad 2000 m <sup>2</sup>	- min. 3,25 m

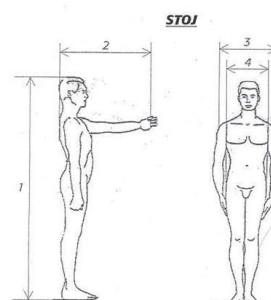
- Světlá výška přechodných pracovišť nesmí být nižší než 2,1 m
- Objemový prostor nesmí být zmenšen stabilním provozním zařízením

Zdroj: Škoda Auto a.s.

## Příloha II Antropometrie

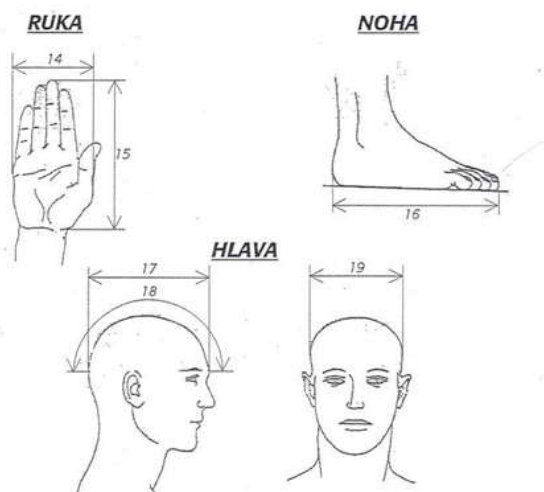
Antropometrie se zabývá rozměry člověka, obecně slouží k tomu, aby rozměry věcí odpovídaly možnostem člověka.

Rozložení antropometrických údajů vychází ze základního dělení :



ŽENY		MUŽI	
Malá (5%)	154 cm	X	
Střední (50%)	166 cm	Malý (5%)	166 cm
Velká (95%)	175 cm	Střední (50%)	175 cm
X		Velký (95%)	187 cm

Rozměry v mm	muži			ženy		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
1. Výška vstoje	1670	1770	1860	1550	1660	1750
2. Dosah v předpažení	800	850	890	740	800	840
3. Šířka ramen	365	400	430	340	365	405
4. Šířka boků vstoje	310	350	375	315	360	410



Rozměry v mm	MUŽI			ŽENY		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
14. Šířka ruky	80	90	95	70	75	85
15. Délka ruky	175	190	205	60	175	190
16. Délka nohy	240	265	285	220	240	260
17. Délka hlavy	180	190	200	170	180	200
18. Obvod hlavy	540	575	600	520	550	590
19. Šířka hlavy	145	155	165	135	145	155

Zdroj: Škoda Auto a.s.

### Příloha III Rozměry pracovní roviny a místa

**Výška pracovní roviny je místo, na němž jsou nejčastěji vykonávány pracovní úkony.**

Výška pracovní nebo manipulační roviny musí odpovídat tělesným rozměrům zaměstnance, základní pracovní poloze, hmotnosti břemen apod.

Pracovní místo musí být uspořádáno tak, aby pracovní roviny, pohybové prostory a vynakládané síly odpovídaly tělesným rozměrům a přirozeným drahám pohybů.

**Optimální výška pracovní roviny vstoje :**

Muži - 1120 - 1180 mm
Ženy - 930 - 1080 mm

**Optimální výška pracovní roviny vsedě (nad sedákem) :**

Muži - 220 - 310 mm
Ženy - 210 - 300 mm

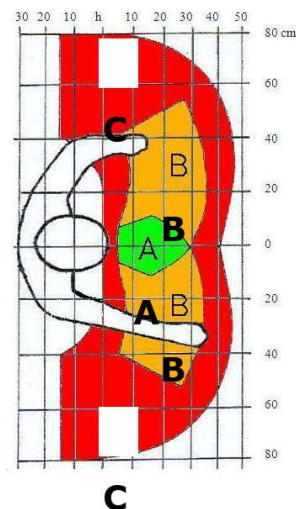
- Při práci vyžadující zvýšené nároky na zrak se výška pracovní roviny zvětšuje přibližně o 100 - 200 mm.

**Dosahy horních končetin v horizontální rovině :**

**Oblast A – optimální prostor**  
Časté a přesné pohyby

**Oblast B – vhodný prostor**  
Pohyby obou předloktí bez nutnosti změny základní pracovní roviny

**Oblast C – nevhodný prostor**  
Maximální dosah – méně časté A pomalejší pohyby, otáčení trupu



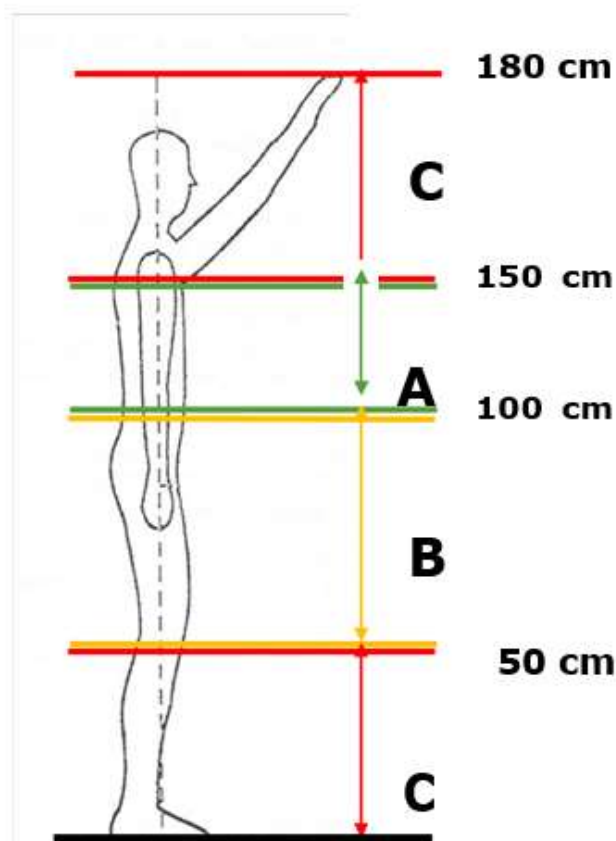
### Dosahy horních končetin ve vertikální rovině :

**Oblast C – nepřijatelný pro časté pohyby**

**Oblast A – optimální dosah**

**Oblast B – přijatelný dosah**

**Oblast C – nepřijatelný pro časté pohyby**



Zdroj: Škoda Auto a.s.



## Příloha IV Ruční manipulace s břemeny

### Přípustné hmotnostní limity:

	max. přípustná hmotnost břemene při občasně manipulaci (> 30 min./směna)	max. přípustná hmotnost břemene při časté manipulaci (< 30 min./směna)	limit vsedě
<b>Ženy</b>	<b>20 kg</b>	<b>15 kg</b>	<b>3 kg</b>
<b>Těhotné ženy</b>	<b>7,5 kg</b>	<b>5 kg</b>	<b>3 kg</b>
<b>Muži</b>	<b>50 kg</b>	<b>30 kg</b>	<b>5 kg</b>

### Limity kumulativní hmotnosti za směnu (8 hod.) v optimálních fyziologicky přijatelných pracovních podmínkách

muži	ženy
10 000 kg	6 500 kg

Pokud není manipulace prováděna v optimálních pracovních podmínkách, postupuje se podle ČSN EN 1005 (výpočet fyzické zátěže při manipulaci s břemeny)

U práce ve směně delší než osmihodinové musí být přípustné minutové hodnoty celkové fyzické zátěže u mužů i žen sníženy o 20% a kumulativní hmotnost břemen u mužů i žen nesmí být zvýšena o více než 20 % v žádné směně (měření přípustných minutových hodnot provádí útvar ZG).

### Metoda výpočtu fyzické zátěže při manipulaci s břemeny v závislosti na pracovních podmínkách dle ČSN EN 1005-2

**Hodnotící kritéria:**

- rozměry a hmotnost břemene
- úchopové vlastnosti
- vertikální poloha a posunutí břemene
- horizontální poloha břemene
- úhel asymetrie trupu
- frekvence úchopů břemene

**Výsledek hodnocení:** stanovení rizika poškození svalově-kosterního aparátu zaměstnance.

Kvantifikace rizika je vyjádřena **indexem rizika  $R_i$**

#### Index rizika: $R_i$



**$R_i \leq 0,85$**

nízké riziko = opatření nejsou nutná

**$0,85 < R_i < 1,0$**

potenciální riziko = doporučuje se přijmout opatření (organizační).

Přetížení je při dlouhodobé expozici pravděpodobné u méně odolných, málo trénovaných a nezpracovaných osob

**$R_i \geq 1,0$**

vysoké riziko = doporučuje se přijmout zásadní opatření (technická opatření).

Přetížení je při dlouhodobé expozici pravděpodobné u zdravých osob

## Příloha V Maximální limity pro tažné a tlačné síly

### Maximální limity pro tažné a tlačné síly pro pohyb vozíků, mobilních palet apod.

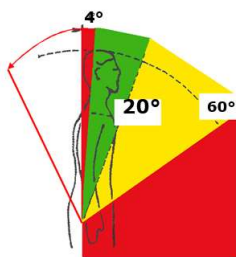
N	muži	ženy
Tažná síla	280 N	220 N
Tlačná síla	310 N	250 N

#### Podmínky k obsluze :

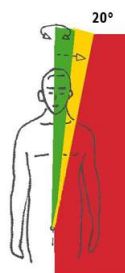
- před roztlačením je nutné srovnat otočná kola nápravy ve směru jízdy (pohybem rukojeti do stran)
- průměr držadla má být 20 – 40 mm
- šířka držadla/výřezu má být min. 125 mm
- prostor nad prsty má být min. 70 mm

Zdroj: Škoda Auto a.s.

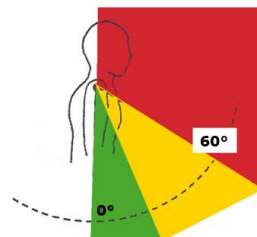
*Příloha VI Pracovní polohy – trup, hroní končetiny, hlava a krk*



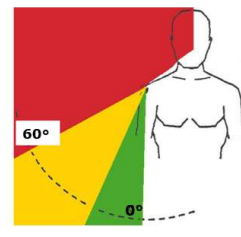
**Předklon/záklon**



**Úklon nebo pootočení**



**Vzpažení před trup**



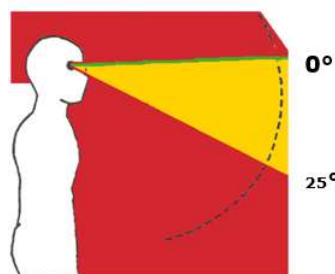
**Upažení do strany**

**Fyziologicky nepřijatelné polohy**

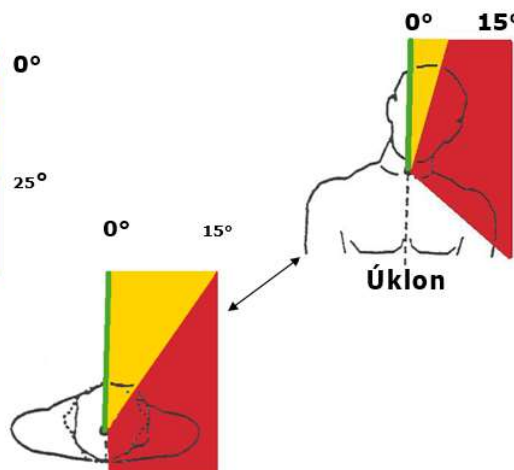
Předklon trupu větší než 60°  
Záklon bez opory celého těla  
Výrazný úklon či pootočení trupu větší než 20°

**Fyziologicky nepřijatelné polohy**

Nevhodná poloha paže (krajní rotace, zvednutí, ohnutí dozadu.....)  
Vzpažení nebo upažení paže větší než 60°



**Předklon/záklon**



**Úklon**

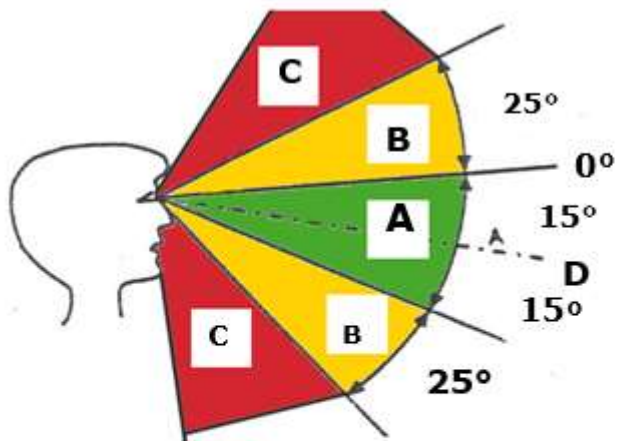
**Rotace**

**Fyziologicky nepřijatelné polohy**

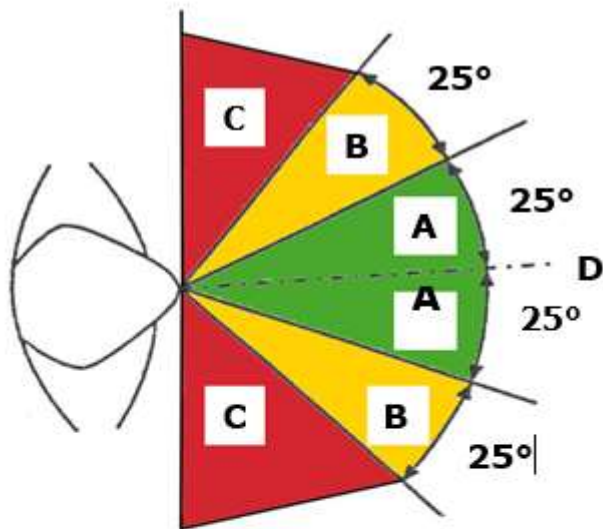
Předklon hlavy větší než 25° bez podpory trupu  
Záklon hlavy bez podpory celé hlavy  
Úklon a rotace hlavy větší než 15°

Zdroj: Škoda Auto a.s.

Příloha VII Zorné pole



vertikální



horizontální

- A** – doporučený zorný úhel
- B** – přijatelný zorný úhel
- C** – nevhodný zorný úhel
- D** – normální (střední) úhel pohledu

Zdroj: Škoda Auto a.s.

### Příloha VIII Ovládače

- ovládače musí být v optimálním dosahu (do 50 cm od ramenního kloubu), max. ale na předpaženou horní končetinu
- při projektování ovládačů dodržovat antropometrické rozměry člověka včetně přídatku na OOPP
- při projektování ovládačů dodržovat maximální svalové síly ruky

Typ ovládače	Frekvence ovládání	Způsob ovládání
		max. síly (N)
<b>Páka ruční</b>	často :	vpřed a vzad <b>60 N</b>
		do stran <b>40 N</b>
	zřídka :	vpřed a vzad <b>120 N</b>
		do stran <b>80 N</b>
		nahoru a dolů <b>300 N</b>
<b>Tlačítko</b>		jedním prstem <b>8 N</b>
		dlaní <b>50 N</b>

#### Vysvětlivky:

Trvale používané ovládače jsou takové, které jsou používány více než 40x za osmihodinovou směnu.

Často používané ovládače jsou takové, které jsou používány 20 až 40x za osmihodinovou směnu.

Zřídka používané ovládače jsou takové, které jsou používány méně než 20x za osmihodinovou směnu.

Zdroj: Škoda Auto a.s.

## Príloha IX Data-Sheet Kuka KR210 R3300 ultra K

### KR 210 R3300 ultra K



#### Technical data

Maximum reach	3301 mm
Rated payload	210 kg
Rated supplementary load, rotating column / link arm / arm	0 kg / 0 kg / 50 kg
Rated total load	260 kg
Pose repeatability (ISO 9283)	± 0.06 mm
Number of axes	6
Mounting position	Floor
Footprint	830 mm x 830 mm
Weight	approx. 1214 kg

#### Axis data

Motion range	
A1	±185 °
A2	-120 ° / 70 °
A3	-120 ° / 155 °
A4	±350 °
A5	±122.5 °
A6	±350 °
Speed with rated payload	
A1	105 °/s
A2	101 °/s
A3	107 °/s
A4	136 °/s
A5	129 °/s
A6	206 °/s

#### Operating conditions

Ambient temperature during operation	10 °C to 55 °C (283 K to 328 K)
--------------------------------------	---------------------------------

#### Protection rating

Protection rating (IEC 60529)	IP65
Protection rating, in-line wrist (IEC 60529)	IP65

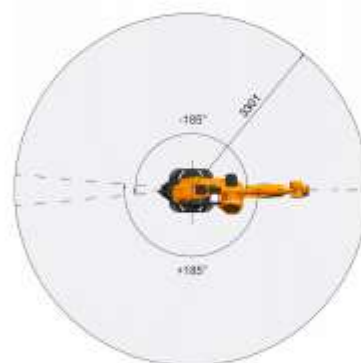
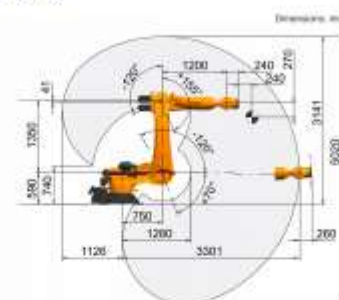
#### Controller

Controller	KR C4
------------	-------

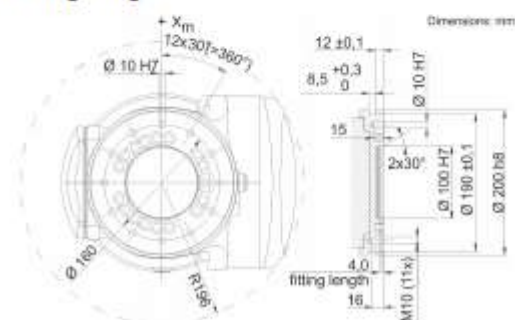
#### Teach pendant

Teach pendant	KUKA smartPAD
---------------	---------------

#### Workspace graphic



#### Mounting flange

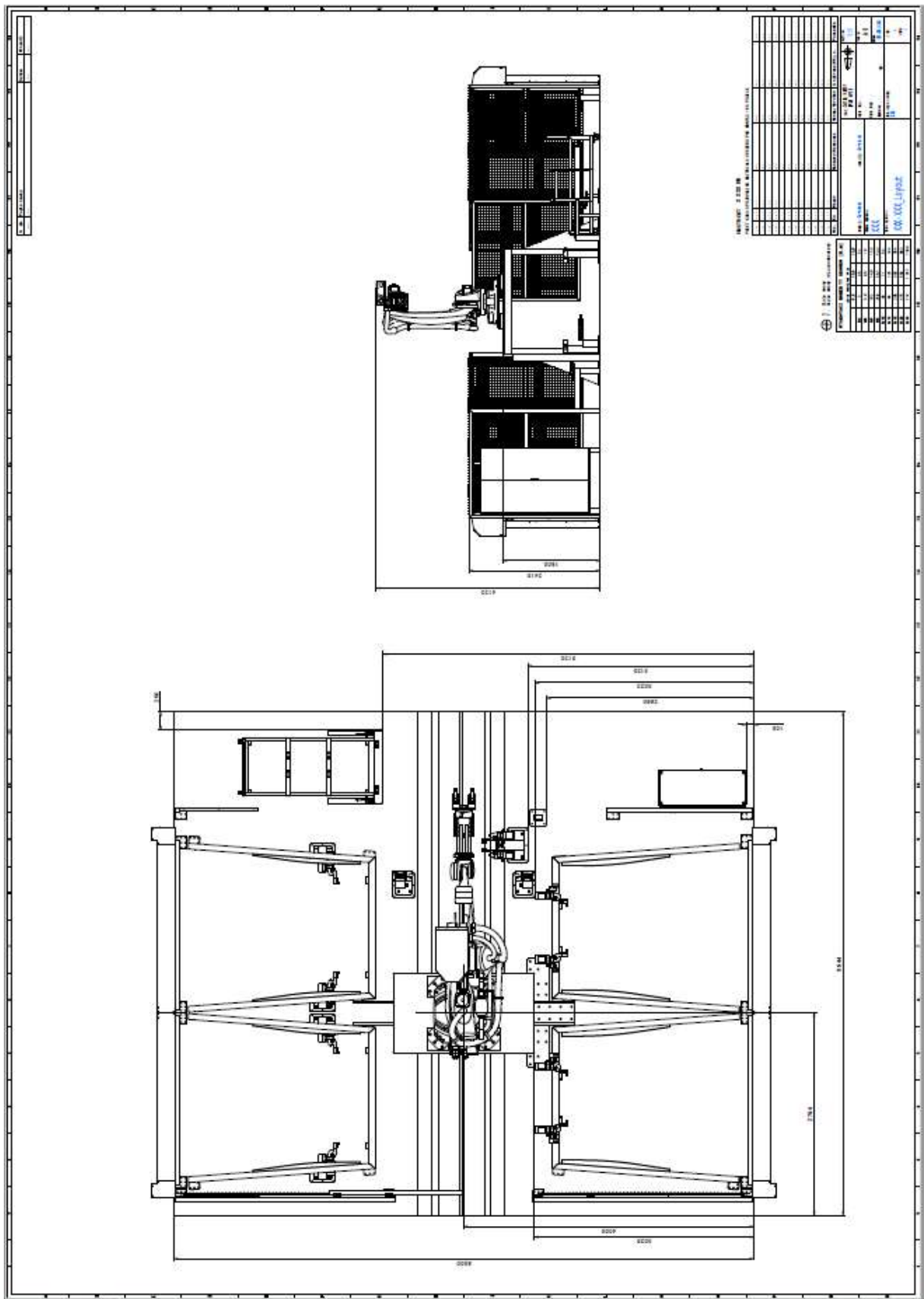


Details provided about the properties and usability of the products are purely for information purposes and do not constitute a guarantee of these characteristics. The extent of goods delivered and services performed is determined by the subject matter of the specific contract. No liability accepted for errors or omissions.  
0000-188-669 / V31.1 / 05.02.2021 / en  
KUKA Deutschland GmbH Zugspitzstrasse 140, 86165 Augsburg, Germany. Tel: +49 821 797-4000, www.kuka-robotics.com

Zdroj: KUKA robotics

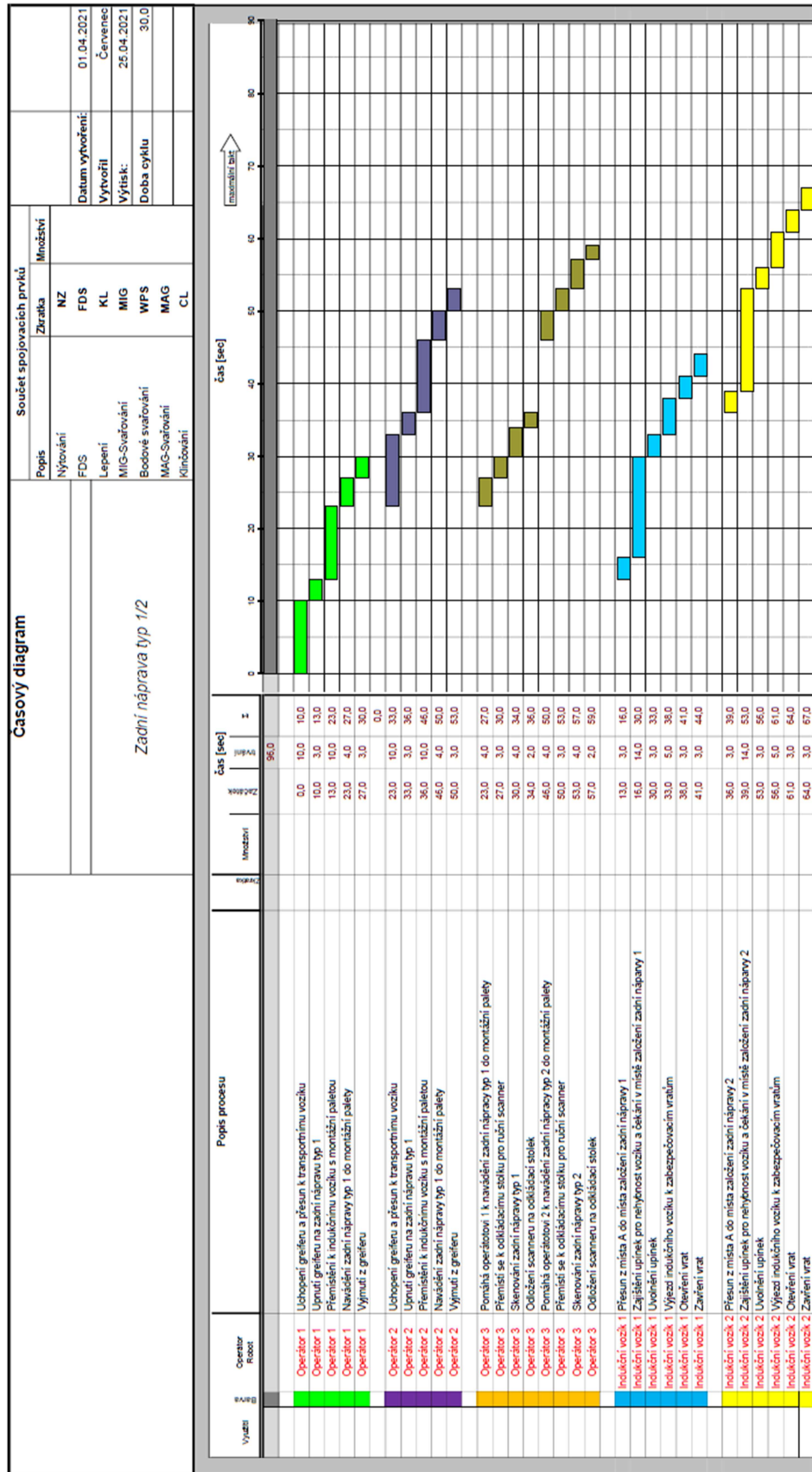


Příloha XI Layout robotické montážní linky



Zdroj: Autor

Příloha XII Časový diagram ruční montážní linky



Zdroj: Autor



