

**UNIVERZA V LJUBLJANI**

Fakulteta za strojništvo

## **Razvoj sodobnega ročnega montažnega mesta**

Zaključna naloga Razvojno raziskovalnega programa I. stopnje Strojništvo

**Tim Rozman**

Ljubljana, julij 2018



**UNIVERZA V LJUBLJANI**

Fakulteta za strojništvo

## **Razvoj sodobnega ročnega montažnega mesta**

Zaključna naloga Razvojno raziskovalnega programa I. stopnje Strojništvo

**Tim Rozman**

Mentor: prof. dr. Niko Herakovič, univ. dipl. inž.

Ljubljana, julij 2018

VLOGA ZA PREVZEM TEME ZAKLJUČNE NALOGE

Univerzitetni študijski program I. stopnje STROJNIŠTVO – Razvojno raziskovalni program

Št. zaključne naloge (izpolni študentski referat): UNI/996

Datum prejema vloge v ŠR: 18.6.2018

Podatki o študentu:

Ime in priimek: TIM ROZMAN Vpisna št. 23140191

Datum, kraj rojstva: 15.12.1995, LJUBLJANA

Podatki o zaključni nalogi:

Naslov zaključne naloge (slovenski):

RAZVOJ SODOBNEGA ROČNEGA MONTAŽNEGA MESTA

Naslov zaključne naloge (angleški):

DESIGN OF MODERN MANUAL ASSEMBLY WORKSTATION

Mentor na FS: prof. Dr. NIKO HERAKOVIČ

Somentor na FS: \_\_\_\_\_

Veljavnost naslova teme je 6 mesecev od oddaje Vloge za prevzem.

Podpis študenta: Tim Rozman

Podpis mentorja: Aldin

# ZAHVALA

---

Zahvaljujem se prof. dr. Niku Herakoviču za ponujeno priložnost za izdelavo zaključne naloge pod njegovim mentorstvom. Iskreno se zahvaljujem tudi delovni mentorici Maji Turk za pomoč, napotke, popravke in usmeritve pri pisanju zaključne naloge. Zahvaljujem se še celotni družini Rozman in dekletu za celovito podporo, ki sem je bil deležen skozi vsa študijska leta. Hvala.

# Izjava

---

Spodaj podpisani/-a Tim Rozman študent/-ka Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani, z vpisno številko 23140191, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Razvoj sodobnega ročnega montažnega mesta,

## IZJAVLJAM,

1.  a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
  - b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
5. da soglašam z uporabo elektronske oblike pisnega zaključnega dela študija za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija;
8. da dovoljujem uporabo mojega rojstnega datuma v zapisu COBISS.

V Ljubljani, 25. 6. 2018

Podpis avtorja/-ice: Tim Rozman

\* Obkrožite varianto a) ali b).

## Razvoj sodobnega ročnega montažnega mesta

Tim Rozman

Ključne besede:       sodobno ročno montažno mesto  
                              funkcijska struktura procesa montaže  
                              oblikovanje za delavca  
                              ergonomija  
                              morfološka matrika

V nalogi smo razvijali različne koncepte sodobnih ročnih montažnih mest na osnovi klasičnih ročnih montažnih mest različnih proizvajalcev. Za sodobno ročno montažno mesto smo določili zahtevane in željene specifikacije ter izdelali funkcijsko strukturo procesa ročne montaže z vsemi pripadajočimi podsistemi ročnega montažnega mesta, ki so vizualizacija, dvizni sistem, osvetlitev, zalogovniki ter konstrukcija delovnega mesta z delovno mizo. Za vsak podsistem smo izdelali morfološko matriko ter izbrali tri sprejemljive koncepte. Koncepte smo vrednotili glede na željene karakteristike, pri katerih smo se osredotočali na oblikovanje za delavca po principih ergonomije. Glede na rezultate vrednotenja smo izbrali najprimernejši koncept, ki je ustrezen za uporabo v industriji. Izbrani koncept delavcu omogoča izvajanje ročnih montažnih operacij po principih ergonomije, nudi hitro prilagajanje novim izdelkom in posledično poveča učinkovitost delovnega mesta.

# Abstract

---

UDC 658.515:005(043.2)

No.: UN I/996

## Design of a modern manual assembly workstation

Tim Rozman

Key words:            modern manual assembly workstation  
                             functional structure of the assembly process  
                             design for worker  
                             ergonomics  
                             morphological matrix

In our thesis we developed various concepts of modern workstations. For the basis of our research we took traditional workstations produced by different manufacturers. Firstly, we defined required and desired specifications for modern workstations according to market demands. After that the functional structure of assembly process was designed. It includes all the associated subsystems of the workstation, which are visualization, lifting systems, lighting, grab containers and the construction of a work place with a working desk. For each of subsystems we created a morphological matrix; based on that, we selected the three most acceptable concepts. They were evaluated according to the ergonomic principles, which are focused on a design that is the most acceptable for the worker. After that we chose the most appropriate concept, which is also suitable for industrial applications. Selected concept enables to work on a modern workstation based on principles of ergonomics, it offers quick adaptation to new products and consequently increases the efficiency of the workplace.



# Kazalo

---

Kazalo slik .....	x
Kazalo preglednic .....	xi
Seznam uporabljenih simbolov .....	xii
Seznam uporabljenih okrajšav .....	xiii
<b>1 Uvod.....</b>	<b>14</b>
1.1 Ozadje problema .....	14
1.2 Cilji.....	15
<b>2 Teoretične osnove .....</b>	<b>16</b>
2.1 Vizualizacija .....	17
2.2 Dvižni sistemi .....	18
2.3 Osvetlitev .....	18
2.4 Zalogovniki.....	19
2.5 Konstrukcija in delovna podlaga .....	20
<b>3 Metodologija raziskave.....</b>	<b>22</b>
3.1 Specifikacije RMM.....	22
3.2 Blokovni diagram procesa montaže.....	24
3.3 Funkcijska struktura procesa ročne montaže .....	25
<b>4 Rezultati in diskusija .....</b>	<b>26</b>
4.1 Morfološka matrika.....	26
4.2 Koncepti.....	30
4.3 Vrednotenje konceptov in njihova izbira .....	31
<b>5 Zaključek.....</b>	<b>33</b>
<b>6 Literatura.....</b>	<b>34</b>

## Kazalo slik

---

Slika 2.1: Podsistemi na RMM [6].....	17
Slika 2.2: Lokacije zalogovnikov in delovna območja [9].....	20
Slika 3.1: Blokovni diagram procesa montaže.....	24
Slika 3.2: Funkcijska struktura procesa montaže.....	25
Slika 4.1: Potek pridobitve delovnega principa.....	26

## Kazalo preglednic

---

Preglednica 3.1: Specifikacija RMM .....	22
Preglednica 4.1: Prikaz zgradbe morfološke matrike.....	26
Preglednica 4.2: 1. del morfološke matrike .....	27
Preglednica 4.3: 2. del morfološke matrike .....	28
Preglednica 4.4: 3. del morfološke matrike .....	29
Preglednica 4.5: Vrednotenje konceptov RMM.....	32

## Seznam uporabljenih simbolov

---

Oznaka	Enota	Pomen
<i>l</i>	/	Funkcija 1
<i>2</i>	/	Funkcija 2
<i>3</i>	/	Funkcija 3
<i>4</i>	/	Funkcija 4
<i>5</i>	/	Funkcija 5
<i>k</i>	/	Poljubna končna funkcija
<i>n</i>	/	Poljubni končni delovni princip

---

### Indeksi

---

<i>a</i> <sub>1</sub> , <i>a</i> <sub>2</sub> , <i>a</i> <sub>3</sub> , <i>a</i> <sub>4</sub>	izbran DP
<i>b</i> <sub>1</sub> , <i>b</i> <sub>2</sub> , <i>b</i> <sub>3</sub> , <i>b</i> <sub>4</sub>	izbran DP
<i>c</i> <sub>2</sub> , <i>c</i> <sub>2</sub> , <i>c</i> <sub>3</sub>	izbran DP
<i>x</i>	poljubni DP
<i>y</i>	poljubni DP
<i>z</i>	poljubni DP
<i>k</i>	končna funkcija v morfološki matriki

## Seznam uporabljenih okrajšav

---

Okrajšava	Pomen
ALU	aluminijasti, aluminijasto, aluminij
AR	obogatena resničnost (ang. <i>Augmented Reality</i> )
DP	delovni princip v morfološki matriki
KN	katalog napak
ND	navodila za delo
NKS	nastavna kartica stroja
POP	plan obvladovanja proizvodnje
RMM	ročno montažno mesto

# 1 Uvod

## 1.1 Ozadje problema

Montaža je proces, v katerem se osnovni material, sestavni deli in komponente združijo v končni izdelek. Zaradi dviga variantnosti izdelkov, ki je posledica menjave strategije iz masovne proizvodnje na masovno prilagajanje, mora biti montažni sistem oblikovan tako, da lahko sledi visoki raznolikosti izdelkov in montažnih operacij [1].

Montaža je eden ključnih procesov v proizvodnji in predstavlja med 40 % in 60 % potrebnega izdelovalnega časa ter povzroča okrog 50 % proizvodnih stroškov. V industriji prevladuje predvsem ročna montaža; tako je med 30 % in 50 % ljudi v strojni in elektroindustriji zaposlenih pri montažnih procesih. Proces montaže je v industriji potreben zato, ker so izdelki sestavljeni iz več sestavnih delov, kar nam omogoča [2]:

1. možnost gibanja, da se doseže željena funkcija,
2. različne funkcije izdelka,
3. različne materiale v končnem izdelku,
4. razstavljanje in zamenjavo posameznih delov,
5. varovanje v legi,
6. možnost demontaže za recikliranje komponent.

Ročna montažna mesta so bila v preteklosti oblikovana predvsem za proces montaže z željo, da bodo posamezne operacije hitre, montaža prilagodljiva oz. vitka in da se preprečujejo morebitne napake. V ta namen se je uveljavila metodologija oblikovanja za montažo DFA (ang. *Design for Assembly*), ki upošteva tudi stroške (znižanje lastne cene izdelka), material in izbiro montažnega procesa [3].

Pri oblikovanju ročnih montažnih mest se je namenilo premalo pozornosti ključnim elementom ergonomije, zato so se pri delavcih razvile bolezni in poškodbe povezane z delom. Do bolezni je prišlo predvsem zaradi ponavljajočih gibov in ravnanja z bremenom, hitrega ritma in visokih delovnih norm montažnih operacij, stresa, hrupa, vibracij itd. Najpogostejše obolenje, s katerim se srečujemo v Evropi, je kostno-mišično obolenje, pri katerem prihaja do poškodb mišic, sklepov, kit, vezi, živcev, kosti in perifernega krvnega obtoka. Poškodbe običajno izhajajo iz predela trupa (hrbtenica, vrat, rame), rok in nog, običajno pa povzročijo slabši delovni učinek.

Podjetja so tako začela postopoma skrbeti za zdravje svojih zaposlenih, saj zdravi delavci za podjetje posledično pomenijo dvig učinkovitosti, zmanjšanje odsotnosti od dela zaradi poškodb, ki so posledica nezbranosti, posledično pa manj zaustavitev v proizvodnem in montažnem procesu. Z ozirom na človeka so se začela razvijati tudi ročna montažna mesta. V ospredje je stopil delavec in ergonomska priporočila, razvijala se je nova metodologija, ki je upoštevala potrebe, znanje, varnost, zdravje, zadovoljstvo in omejitve delavcev (DFHS, ang. *Design for human safety*). Postopoma so se začela razvijati pametna ročna montažna mesta, ki so sledila trendom ergonomije in še danes omogočajo hitro, učinkovito in vitko proizvodnjo[4, 5].

## 1.2 Cilji

V nalogi se obravnava razvoj sodobnega ročnega montažnega mesta (v nadaljevanju RMM). Delo oz. naloga se osredotoča na izdelavo različnih konceptov novega, sodobnega in samokonfiguracijskega ročnega montažnega mesta, ki bi bilo primerno za proizvodnjo v pametnih tovarnah. Za razvoj konceptov se bo uporabila morfološka matrika, ki bo zajela vse zahteve in želje sodobnega ročnega montažnega mesta.

Opravili bomo pregled literature obstoječih RMM različnih proizvajalcev in analizo posamičnih segmentov oz. podsistemov na samem RMM. Ti segmenti so: vizualizacija, dvižni sistemi, osvetlitev, zalogovniki in njihova postavitve, konstrukcija in materiali RMM in delovna miza z ustreznim sediščem/stojiščem. Izhodišče koncipiranja so obstoječa RMM s pripadajočimi pripomočki ter tehnologijami, ki omogočajo nadaljnji razvoj sodobnega ter ergonomsko oblikovanega RMM, ki bo primeren za vključitev v tovarne prihodnosti.

Zaradi hitro spreminjajoče se proizvodnje in prihajajočega trenda Industrije 4.0 se pojavlja možnost, da bi kljub naši močni naklonjenosti k razvoju sodobnega, samokonfiguracijskega in vitkega RMM-ja, bil sistem pretog oz. premalo vitek v primerjavi z izredno zahtevnimi željami po hitrih spremembah v proizvodni industriji.

Cilj je, da koncepte RMM, dobljene s pomočjo morfološke matrike, vrednotimo in izberemo najprimernejšega glede na zastavljene kriterije.

## 2 Teoretične osnove

Pri pregledu literature področja sodobnih RMM na tržišču smo ugotovili, da obstaja veliko ponudnikov različnih ročnih montažnih mest. Ponudniki so: LISTA, item, BOSCH – Rexroth, OPL, RAU in TRESTON in drugi.

Pri raziskovanju smo se osredotočili predvsem na sodobno opremljena RMM, ki so v različnem obsegu konfigurabilna, ergonomsko oblikovana, varna in ekonomična.

Ugotovili smo, da se RMM med seboj močno razlikujejo po namembnostih ter delavnih, konstrukcijskih in ergonomičnih lastnostih. Med seboj se razlikujejo že po samih materialih, ki so uporabljeni za osnovno konstrukcijo. To so običajno ALU profili različnih prerezov, odvisno od potrebne nosilnosti samega mesta, obstajajo pa tudi kvadratni jekleni profili, običajno za močnejše konstrukcije. Tako ugotovimo, da sama konstrukcija močno vpliva oz. pogojuje namembnost delovnega mesta. Na različne namembnosti kaže tudi velikost delovne podlage, število zalogovnikov za posamične sestavne dele ter število in naklon polic nad delovno podlago. Logično je, da se z večanjem števila sestavnih delov in zapletenosti montaže povečuje tudi zahtevnost izvedbe posamične operacije. V sodobnih RMM delavcu tako velikokrat pomagajo prikazovalniki oz. ekrani, na katerih se nahajajo navodila za delo, katalogi napak, dokumenti za proces obvladovanja proizvodnega procesa in podobno. Na nekaterih RMM-jih pa se to pojavlja tudi v fizični obliki. Razvoj vizualizacije pa poteka tudi v smeri AR očal.

Ročna montažna mesta se med seboj močno razlikujejo tudi po osvetljenosti posamičnih segmentov, kot so delovna podlaga, zalogovniki, sedišča itd. Odvisno od namembnosti so mesta opremljena tudi z različno opremo, npr. priključki za zrak, električne vtičnice, USB-vhodi, držala za ročno orodje, prevodnimi ali neprevodnimi segmenti ... Nekateri proizvajalci ponujajo tudi omarico za osebne predmete delavca in držala za pijačo.

V Industriji 4.0 je zelo pomembna rekonfiguracijska sposobnost samega delovnega mesta, ker je za hitro menjavanje posamičnih operacij ali celotnega sklopa delovnih operacij potrebna velika vitkost proizvodnje. Za delavca pa je izredno pomembna ergonomija, torej optimalna višina delovne mize, zalogovniki posamičnih delov na doseg roke, primerna osvetlitev, urejeno ergonomsko oblikovano sedišče in podobno.

Ročno montažno mesto je delovno mesto, ki vsebuje delovna sredstva in delavca za izvajanje montažnega procesa. Pod sredstva spadajo montažni sistemi, montažni stroji, montažna orodja, razni pripomočki, prostor, transportne naprave itd. Delavec pa je v primeru RMM izvajalec montaže, ki vodi orodje, krmili, nadzoruje svoje gibe in vlaga energijo. Slika 2.1 prikazuje 5 podsistemov na RMM.





- 1) Vizualizacija
- 2) Dvižni sistemi
- 3) Osvetlitev
- 4) Zalogovniki
- 5) Konstrukcija in delovna miza

Slika 2.1: Podsystemi na RMM [6]

## 2.1 Vizualizacija

Vizualizacijo na RMM smo v našem primeru razdelili na dva dela.

Prvi se nanaša na prikazovanje zaporedja montažnih operacij, prikaza kataloga napak, sheme tlorisa proizvodnje z vrisanimi delovnimi mesti in opozorili, ki so pomembna za delavca in pripomorejo k zmanjšanju napak med samim procesom, poleg tega pa lahko bistveno vplivajo na hitrost in kvaliteto procesov in končnih sestavov/izdelkov.

V uporabi za proizvodnjo in v raziskovalne namene so že različni tablični računalniki, ekranski prikazovalniki, ki so nameščeni na različnih mestih RMM-ja (ob strani, na konstrukciji pred delavcem, na delovni plošči ...). Lahko so posamični ali pa jih je več. Nekoliko v upadu je uporaba tabel in dokumentov v fizični obliki, nameščenih na vodila, ki so v dosegu delavca in njegovega vidnega polja. V uporabo pa vstopajo AR očala, ki jih delavec nosi kot običajna očala, na stekelcih pa se mu prikazujejo zgoraj omenjena pomagala.

Drugi del se nanaša na označevanje oz. osvetljevanje posamičnih zalogovnikov ali sestavnih delov glede na zaporedje sestavnih operacij (ang. »Pick by light«), kar bi bistveno pripomoglo k zmanjšanju možnosti za pojav napak med samim procesom montaže in z vodenjem pomagalo delavcu pri poteku dela. V uporabi in razvoju so različni LED-indikatorji, ki svetijo v različnih barvah in tako delavcu sporočajo, iz katerega izmed zalogovnikov mora vzeti naslednji sestavni del ali pa prikazujejo stopnjo vsebnosti sestavnih delov v zalogovnikih. Podobne lastnosti imajo tudi LCD-prikazovalniki, ki poleg osvetlitve v različnih barvah izpisujejo tudi besedilo, znake in simbole.

## 2.2 Dvižni sistemi

Pri oblikovanju delovnega mesta moramo upoštevati telesno konstitucijo vsakega posameznika in biomehaniko dela tako, da mesto ustreza ergonomskim, sociološkim in antropometričnim načelom. Pri različnih montažnih operacijah se delavec različno drži, giblje, priklanja, nagiba, napenja itd. Položaj delavca na RMM je tako lahko sedeč, stoječ ali kombiniran, odvisno od narave dela, vedno pa mora biti delovna višina v višina srca ( $\pm 100$  mm), da se zagotavlja optimalen krvni pretok in s tem preprečuje utrujenost, mravljinčenje itd. Pravilno je tudi, da se miza prilagaja glede na zahtevnost in maso izdelkov, višino delavca, vidnim poljem delavca itd.

Na večino zgoraj naštetih zahtev in želja najlažje in najučinkoviteje ugodimo z ustrezno višino delovnega mesta, ki pa jo lahko prilagajamo na različne načine. Prilagajamo jo lahko s pomočjo linearnih aktuatorjev na nogah delovne mize, z vreteni, z zatiči, z zobniškimi letvami, nameščenimi na nogah mize, poznamo pa tudi namenske hidravlične valje za dvigovanje in spuščanje delovne mize. Nekateri od zgoraj naštetih so lahko gnani ali z elektriko ali ročno, definitivno pa je za razvoj pametnega ročnega delovnega mesta primernejša uporaba električnega dvigovanja/spuščanja delovne mize. Vsak tip dvižnega sistema ima tudi določena zaznavala, ki nadzorujejo in merijo višino/pomik delovne podlage.

Možne izvedbe nadzora pomika delovne podlage:

- LVDT zaznavala,
- končna stikala,
- štetje korakov z uporabo koračnega motorja,
- uporaba laserskega zaznavala,
- merilna letev itd.

## 2.3 Osvetlitev

Osvetlitev se deli na generalno, lokalizirano in lokalno osvetlitev. Generalna osvetlitev predstavlja osvetlitev celotnega delovnega območja in ni odvisna od lokacije dela. Lokalizirana osvetlitev predstavlja osvetlitev posameznih lokacij delovnih mest, lokalna osvetlitev pa predstavlja kombinacijo osvetlitve iz ozadja in dodatnih elementov osvetlitve, ki so usmerjeni v točno določeno območje delovnega mesta.

Potrebno je, da zagotovimo primerno osvetlitev vseh treh segmentov, saj s tem bistveno pripomoremo k dobremu počutju delavcev, primarno preprečujemo draženje in vnetje oči, srbečico, zamegljen vid, glavobole, vrtoglavico itd. Sekundarno preprečujemo nesreče, ki so posledica slabe osvetljenosti in zmanjšamo možnost pojava napak. Neprimerna osvetlitev velikokrat privede do tega, da se delavec s telesom in glavo pomika bližje objektu, kar posledično privede do neprimerne drže in težav, povezanih z držo. Zelo priporočljiva je prisotnost naravne svetlobe, dokler ta ne povzroči odsevanja in bleščanja – v takem primeru moramo delavcu zagotoviti primerno zasenčevanje delovnega mesta ali priskrbeti površine in prikazovalnike, ki se ne bleščijo.

V primeru RMM-ja moramo dati poudarek predvsem na lokalno osvetlitev. Stopnja in način (postavitev in število svetilnih elementov) osvetlitve je odvisen od števila pomembnih detajlov v procesu montaže, starosti delavca, hitrosti dela, individualnih želja delavca, stopnje nevarnosti in tveganja v fazi montaže itd. O optimalni stopnji osvetlitve tako v splošnem težko govorimo [7].

Na trgu in v industrijski rabi se pojavlja veliko različnih svetilnih elementov. V primeru RMM je pogosta raba nosilcev nad samim delovnim mestom, na katera so nameščene luči, stranske luči v obliki palice in specializirane svetilke, ki svetijo na tarčno mesto.

Svetilni elementi v industrijski rabi:

- klasične žarnice različnih oblik, svetilnosti, življenjske dobe, porabe el. energije ...,
- LED žarnice,
- neonska svetila.

Svetilni elementi so lahko obdani z ogledali, ki usmerjajo svetlobo na določeno mesto, ali pa razpršilnimi elementi, ki razpršijo svetlobne žarke in tako povečajo osvetljeno območje. Pri fini montaži se uporabljajo tudi osvetljena povečevalna stekla.

## 2.4 Zalogovniki

Zalogovniki za delavca predstavljajo vir sestavnih delov, potrebnih za montažo. Vrsta zalogovnikov je odvisna od oblike sestavnega dela, njegove mase in velikosti ter od lokacije glede na RMM. Izbira mesta postavitve zalogovnika je izredno pomembna, saj mora vsak delavec proces montaže opravljati s čim manj premiki in gibi, z željo po kratkem času procesa montaže. Manjši sestavni deli morajo biti tako predhodno pripravljene in vedno na razpolago delavcu, večji pa razporejeni v zabojnikih ob delovnem mestu z montiranimi pripomočki za dvigovanje in prenašanje kosov [8].

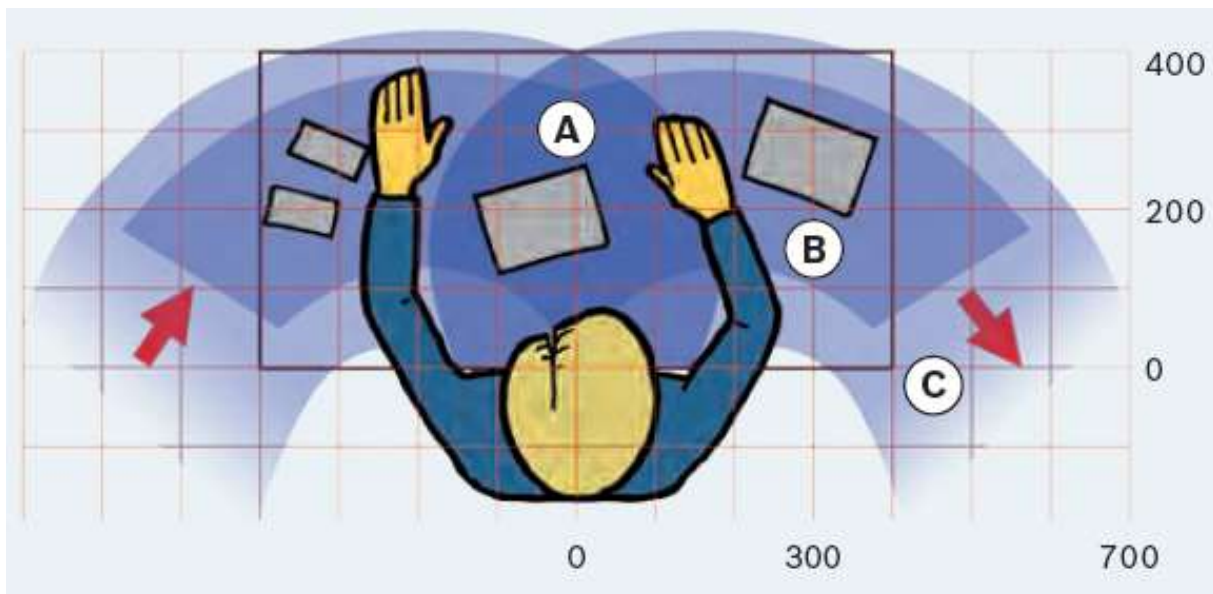
Pri postavitvi zalogovnikov moramo upoštevati:

- lokacija zalogovnikov mora biti v področju A in B, kot je prikazano na sliki 2.2,
- zalogovniki s sestavnimi deli, ki jih potrebujemo pogosteje, se morajo nahajati bližje delavcu,
- težji sestavni deli naj se nahajajo v nizkih zalogovnikih, znotraj dosega rok,
- zalogovniki naj se ne nahajajo nižje od 800 mm, ker želimo preprečiti nepotrebno sklanjanje delavca,
- urejen mora biti transport med RMM (valčki, vibracijske linije, tekoči trakovi itd.),
- zalogovniki morajo imeti urejen dostop za polnjenje s sestavnimi deli in možnostjo opravljanja konfiguracije na RMM (zamenjava zalogovnikov, povečanje števila zalogovnikov itd.).

V industriji se uporablja več vrst zalogovnikov, kot so:

- rotacijski zalogovniki,
- drče (lahko so v obliki U-profila, po katerih se spušča po en sestavni del naenkrat, lahko pa dovajajo raztresen material),
- gravitacijski zalogovniki (najpogosteje uporabljeni zaradi svoje preprostosti dovajanja sestavnih delov in preproste zgradbe, proti koncu zalogovnika se lahko nahaja polodprt del za lažje jemanje kosov).

Pri izbiri in postavitvi zalogovnikov moramo paziti na ustrezno konstrukcijo nosilcev in izbiro materiala zalogovnika glede na naravo sestavnih delov. Zalogovnike lahko kombiniramo v več nadstropjih.



Slika 2.2: Lokacije zalogovnikov in delovna območja [9]

Za izredno učinkovito preprečevanje napak je v industriji zelo razširjena uporaba metode Poka-yoke, ki v večini primerih služi za preprečevanje napak z oblikovnimi modeli oz. preprekami.

Pri sodobnih ročnih montažnih mestih v industrijo vstopa uporaba zalogovnikov, opremljenih s »pick by light« in »pick by voice« metodama, za katere velja, da delavcu z različnimi signali signalizirata, iz katerega zalogovnika mora vzeti naslednji sestavni del za uspešno opravljeno operacijo montaže.

## 2.5 Konstrukcija in delovna podlaga

Glavno načelo zasnove in izdelave konstrukcije delovne mize je ergonomija. Delovno mesto mora biti primerno za dinamično aktivnost procesa trenutne montaže, tako da je prilagodljivo v več pogledih.

V praksi se največkrat pojavlja konstrukcija, izdelana iz aluminijastih profilov, ki nudi izjemno hitro sestavljanje RMM. Aluminijasta konstrukcija je običajno sestavljena s pomočjo vijčenja, tako omogoča tudi morebitno demontažo ali predelavo. Za RMM, kjer se pojavljajo velike obremenilne sile, se uporablja jeklene kvadrataste in pravokotne profile različnih dimenzij. Za delavca je zelo dobrodošlo, da je konstrukcija zasnovana tako, da omogoča nastavljanje in spreminjanje višine tako delovne podlage, kot tudi podloge za noge. Podloga za noge se uporablja pretežno pri sedeči montaži, kjer je s strani ergonomije dobrodošlo, da lahko delavec noge nasloni in tako razbremeni napetosti v hrbtenici.

Stik delovnega mesta in tal običajno predstavljajo gumirane nogice, ki preprečujejo drsenje ali gumirana kolesca, ki omogočajo prestavljanje delovnega mesta. Kolesca morajo biti opremljena z zavoro, da med procesom montaže ne pride do premikanja.

Podlage za delovno površino so v praksi zelo različne, glavno pa je, da morajo biti ustrezne velikosti glede na montažo, ki se opravlja na RMM. V uporabi so različni materiali:

- vezana plošča ali masivni les,
- vezana plošča, prekrita z umetno maso, ki nudi izjemno odpornost proti praskam,
- pločevinasta podlaga,
- gumirane podlage, ki preprečujejo drsenje,
- keramika.

Zaželeno je, da je RMM opremljeno z vsemi dodatki, ki jih delavec potrebuje ali pa se z njimi izboljša zadovoljstvo delavca, tako je smiselno priskrbeti za držalo za pijačo, omarico za osebne predmete, držala za ročno orodje, vtičnice itd.

Del RMM predstavlja tudi ustrezno sedišče, ki mora biti prilagojeno glede na vrsto montaže. Obstajata dva glavna tipa sedala. Prvi tip predstavlja sedalo, ki je oblikovano predvsem za sedeča dela z višino sedišča 430–590 mm. Drugi tip predstavlja sedalo za kombinacijo sedenja in stanja, z višino sedišča 580–830 mm. Priporočljivo je, da sedalo zagotavlja oporo trem ključnim segmentom: rokam, stopalom in hrbtenici [10].

# 3 Metodologija raziskave

## 3.1 Specifikacije RMM

V tem delu bomo s pomočjo preglednice 3.1 specifikirali zahteve in želje vsakega podsistema ročnega montažnega mesta. Raven specifikacije bomo razdelili v dve stopnji, zahtevo in željo. Če je določena specifikacija označena kot zahtevana, pomeni, da mora RMM nujno izpolnjevati to specifikacijo. Če pa je specifikacija označena kot željena, pomeni, da bi bilo dobro, da jo RMM izpolnjuje, ne predstavlja pa pogoja za učinkovito RMM.

Pri specifikaciji posamezne zahteve in želje smo se osredotočali predvsem na funkcionalnost in ergonomske lastnosti končnega sistema z osredotočenostjo na delavca. Glavna funkcija sistema je opravljanje ročnih montažnih operacij na RMM.

Preglednica 3.1: Specifikacija RMM

	zahteva	želja
<b>Ročno montažno mesto – splošno</b>		
Dvofazni priključek za elektriko	X	
Trofazni priključek za elektriko		X
Razdelilec za el. vtičnico na RMM	X	
Možnost sodelovanja s kolaborativnim robotom		X
Vključitev strojnega vida za sledenje delavcu	X	
Primerno za vse delavce različnih konstitucijskih lastnosti	X	
<b>Ročno montažno mesto – vizualizacija</b>		
Nosilci za ND, KN, POP, NKS, sprostitev delovnega procesa, ... v fizični obliki		X
LCD ali LED ekran, ki prikazuje ND	X	
2 LCD ali LED ekrana, ki prikazujeta ND, KN in shemo proizvodne hale		X
AR očala za delavca		X
Zalogovniki z napisi	X	
Zalogovniki označeni z napisi s pomočjo LCD zaslonov		X
Ekran na dotik za potrjevanje opravljenih montažnih operacij	X	
LED trak označuje konec delovne podlage		X
<b>Ročno montažno mesto – dvižni sistemi</b>		
Hitra prilagodljivost sistemov po željah delavca -> prilagoditev višine po antropometričnih lastnostih delavca, vrsti montaže in geometrijskih lastnostih izdelka	X	
Delovna podlaga je el. nastavljiva po višini	X	
Delovna podlaga se samodejno prilagaja po višini glede na višino delavca		X
Nosilec podloge za noge je nastavljiv po višini (v primeru sedečega RMM)	X	
Nosilec glavne luči je nastavljiv po višini	X	

<b>Ročno montažno mesto – osvetlitev</b>		
Lokalizirana osvetlitev – nad delovno podlago	X	
Lokalna osvetlitev – osvetlitev montažnega gnezda	X	
Lokalna osvetlitev – osvetlitev zalogovnikov		X
Osvetlitev z naravno svetlobo		X
Uporaba standardnih in že obstoječih svetilnih elementov in njihovih nosilcev	X	
Varčnost svetilnih elementov		X
<b>Ročno montažno mesto – zalogovniki</b>		
Sestavni deli so urejeni po zalogovnikih	X	
Postavitev zalogovnikov upošteva ergonomska pravila	X	
Zalogovniki postavljeni nad višino 800 mm		X
Zalogovniki imajo urejen dostop za polnjenje	X	
Zalogovniki imajo urejen dostop za polnjenje med potekom procesa montaže		X
Zalogovniki se razlikujejo po barvah		X
Zalogovniki so označeni z napisi	X	
Uporaba standardnih in že obstoječih zalogovnikov	X	
Vključitev sledenja sestavnim delom s tehnologijo RFID	X	
Vključitev metod za preprečevanje človeških napak: POKA YOKE		X
Vključitev tehnologije izbiranja s svetlobnim učinkom (pick-by-light)		X
Zalogovniki označeni z napisi s pomočjo LCD-zaslonov		X
<b>Ročno montažno mesto – konstrukcija in delovna podlaga</b>		
Modularna zgradba	X	
Konstrukcija RMM uspešno premaguje obremenitve v območju trajne dinamične trdnosti	X	
Dimenzije delovne podlage so primerne za sestavljanje predvidenih sestavnih delov	X	
Konstrukcijo RMM se lahko demontira in prilagodi za drug izdelek	X	
Omogoča spuščanje/dviganje delovne podlage	X	
RMM je mogoče premikati po prostoru	X	
Delovna podlaga je odporna na rjavenje		X
Konstrukcija ima elektrostaticno zaščito		X
Konstrukcija ima držalo za pijačo		X
Konstrukcija ima omarico za osebne predmete		X
Enostavnost	X	
Uporaba standardnih in že obstoječih elementov/profilov		X
Ergonomično oblikovano sedišče nastavljivo po višini (v primeru sedečega RMM)	X	
<b>Ročno montažno mesto – izgled</b>		
Oblika RMM je modernega videza	X	
Barva RMM mora biti očem prijazna	X	

## 3.2 Blokovni diagram procesa montaže

Vsak tehnični proces ima vhodne količine, iz katerih se odvije tehnični proces, nato pa nastanejo izhodne količine oz. izdelek. Vmesni del, v katerem se odvija proces montaže, si lahko predstavljamo kot črno skrinjico, ki jo želimo v nadaljevanju podrobneje definirati. Slika 3.1 predstavlja blokovni diagram procesa montaže z vsemi vhodnimi in izhodnimi količinami.



Slika 3.1: Blokovni diagram procesa montaže

V primeru ročne montaže na delovnem mestu imamo naslednje vhodne količine:

- material
  - Predstavljajo ga sestavni deli, potrebni za montažo in izdelavo izdelka in vsi pripomočki ter orodja za izdelavo.
- energija
  - Predstavlja jo predvsem potrebna električna energija za osvetljevanje, delovanje dvižnih sistemov, vizualizacijo, pogone ročnih orodji in pripomočkov ...
- informacije
  - Delavec, kot glavni del pri RMM informacije prejema preko vizualizacije. Poleg delavca informacije prejemajo tudi sistemi za vizualizacijo, svetilni elementi, dvižni sistemi in zalogovniki.

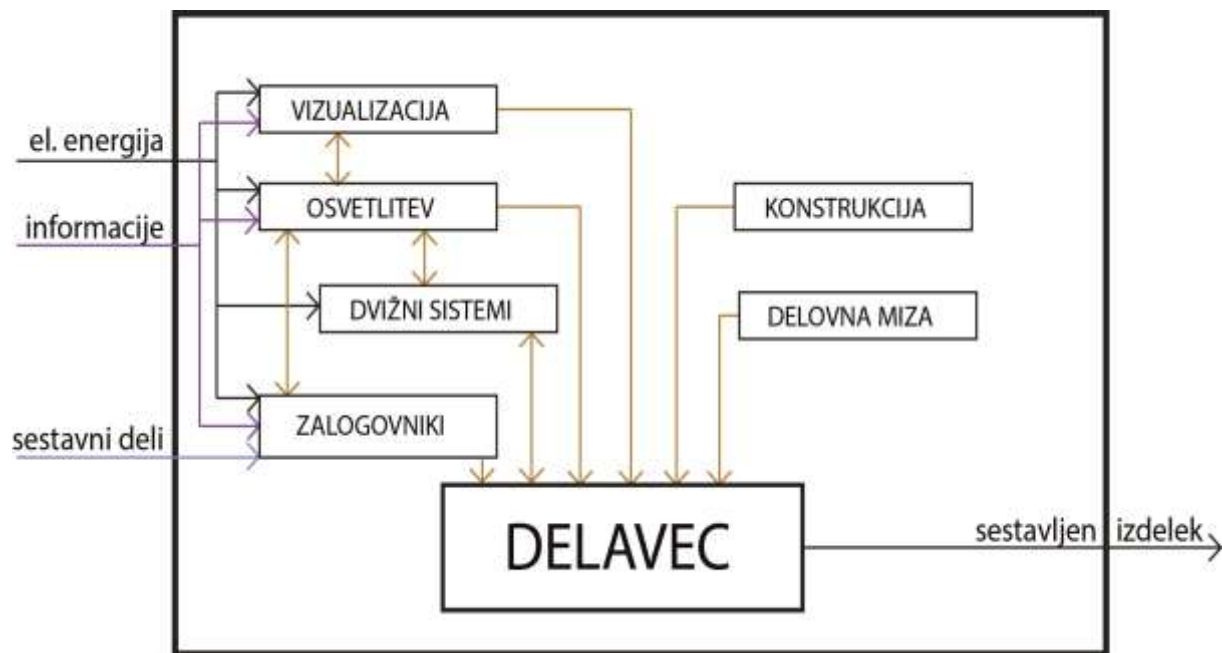
Izhodne količine predstavljajo sestavljeni izdelki, ki so produkt vseh vhodnih količin in tehničnega procesa.



### 3.3 Funkcijska struktura procesa ročne montaže

V tem delu je potrebno razčleniti proces montaže, pri katerem iz vhodnih parametrov in z opravljanjem montažnih operacij dobimo končni sestavljen izdelek ali polizdelek za nadaljnjo vgradnjo. Pomembno vlogo pri procesu montaže predstavlja delavec, tako smo ga v funkcijski strukturi, ki je prikazana na sliki 3.2, predstavili kot glavni člen.

V nadaljevanju bomo s pomočjo morfološke matrice vsakemu členu funkcijske strukture dodelili delovni princip, s katerim bomo zadovoljili določeno funkcijo.

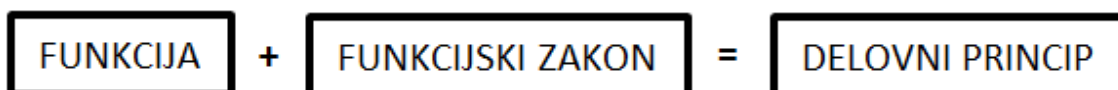


Slika 3.2: Funkcijska struktura procesa montaže

# 4 Rezultati in diskusija

## 4.1 Morfološka matrika

Morfološka matrika je tabela funkcij iz funkcijske strukture in alternativnih delovnih principov. Delovni princip je odvisen od funkcije, ki jo moramo izpolniti, in funkcijskega zakona, ki ustreza izbrani funkciji, kot je prikazano na sliki 4.1 [11].

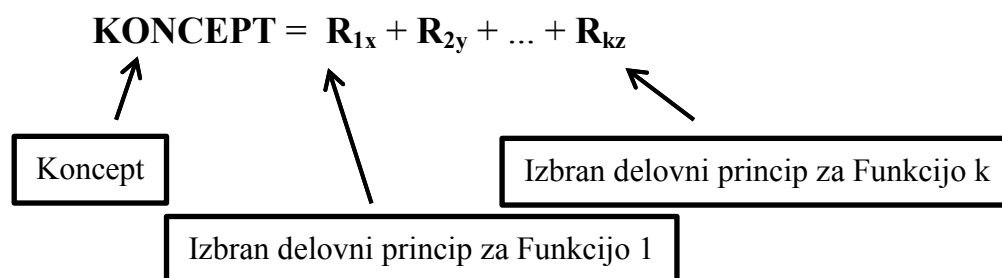


Slika 4.1: Potek pridobitve delovnega principa

V nadaljevanju s pomočjo zgrajene morfološke matrike izbiramo med ustreznimi delovnimi principi za posamezno funkcijo (vizualizacija, osvetlitev delovnega mesta ...) iz funkcijske strukture in tako naredimo različne koncepte rešitev, ki jih lahko v nadaljevanju razvijamo ali zavrzemo. Zgradba morfološke matrike je prikazana v preglednici 4.1.

Preglednica 4.1: Prikaz zgradbe morfološke matrike

ZAHTEVE IN ŽELJE	DELOVNI PRINCIPI		
FUNKCIJA 1	DELOVNI PRINCIP 11	DELOVNI PRINCIP 21	DELOVNI PRINCIP 1n
FUNKCIJA 2	DELOVNI PRINCIP 12	DELOVNI PRINCIP 22	DELOVNI PRINCIP 2n
...	...	...	...
FUNKCIJA k	DELOVNI PRINCIP k1	DELOVNI PRINCIP k2	DELOVNI PRINCIP kn



Leva stran enačbe predstavlja koncept, desna pa rešitev matrike. Glavna funkcija oz. funkcijski sklop se lahko razdeli na podsklope oz. podfunkcije.

Preglednica 4.2: 1. del morfološke matrike

GLAVNA FUNKCIJA OZ. FUNKCIJSKI SKLOP	PODSKLOP OZ. PODFUNKCIJA	DELOVNI PRINCIP				
<b>VIZUALIZACIJA</b>  <b>1</b>	dokumentacija na RMM (ND, NKS, KN, POP,..)  a)	aluminijasti nosilci nad delovno podlago za namen fizične oblike dokumentacije  1	aluminijasti nosilci na stranskem nosilcu za namen fizične oblike dokumentacije  2	2 LCD ali LED ekrana  3	aluminijasti nosilci na strani + LCD ali LED zaslon pred delavcem  4	uporaba AR očal za delavca + 1 ekran za prikaz ND  5
	označevanje/ signalizacija zalogovnikov  b)	mehanske tablice z napisi o sestavnih delih  1		LCD ali LED ekrani z napisi o sestavnih delih  2		LCD ali LED ekrani z napisi o sestavnih delih + prikazovalnik, ki se obarva zeleno, če je v njem potreben SD  3
	potrjevanje opravljene operacije  c)	LCD ali LED ekran občutljiv na dotik na delovni podlagi  1	LCD ali LED ekran občutljiv na dotik na robu delovne podlage  2	potrjevanje s pritiskom na gumb ob delovni podlagi  3		

Preglednica 4.3: 2. del morfološke matrike

GLAVNA FUNKCIJA OZ. FUNKCIJSKI SKLOP	PODSKLOP OZ. PODFUNKCIJA	DELOVNI PRINCIP				
DVIŽNI SISTEMI 2	sistem dviganja / spušcanja a)	električni linearni aktuatorji 1	hidravlični valji 2	električno gnana zobniška letev 3	pnevmatični linearni aktuatorji 4	
	sistem nadzora oz. zaznavala b)	LVDT zaznavalo 1	fazna stikala na določenih višinah 2	štetje korakov s koračnim motorjem 3	laserska zaznavala 4	merilna letev 5
OSVETLITEV 3	lokalizirana osvetlitev a)	neonska luč nad delovno podlago 1		LED luči nad delovno podlago (večdelne) 2	klasične žarnice v vrsti (večdelne) 3	
	lokalna osvetlitev b)	luč nad delovno podlago je večdelna, možno usmerjanje 1	dodatna namenska luč, ki sveti na delovno podlago (nad DM) 2	LED luči na straneh konstrukcije usmejene na delovno podlago in zalogovnike 3	svetlobni panelo okoli gnezda na podlagi in zalogovnikov 4	

Preglednica 4.4: 3. del morfološke matrike

GLAVNA FUNKCIJA OZ. FUNKCIJSKI SKLOP	PODSKLOP OZ. PODFUNKCIJA	DELOVNI PRINCIP				
<b>ZALOGOVNIKI</b>  <b>4</b>	polnjenje zalogovnikov a)	pred RMM  1			za RMM  2	
	vrste zalogovnikov nad delovno mizo b)	večnadstropni gravitacijski  1	navadni gravitacijski  2	drče  3	rotacijski zalogovniki  4	urejeni predali  5
	vrsta zalogovnikov poleg delovne mize c)	horiz ontalni rotacijski zalogovnik  1		gravitacijski zalogovnik  2	drče  3	
<b>KONSTRUKCIJA IN DELOVNA PODLAGA</b>  <b>5</b>	tip konstrukcije a)	varjena jeklena konstrukcija iz pravokotnih profilov  1			aluminijasti profili, vijačena konstrukcija  2	
	podlaga za mizo b)	pločevinasta  1	masivni les  2	vezana plošča + um etna masa  3	gumirana  4	
	stik s tlemi c)	gumirane noge  1			koleščki z zavoro  2	

## 4.2 Koncepti

S pomočjo morfološke matrike (preglednice 4.2, 4.3 in 4.4) smo prišli do treh glavnih konceptov izvedbe pametnega RMM. Razviti koncepti deloma ali v celoti izpolnjujejo zastavljene zahteve in v določenih segmentih tudi želje. V nadaljevanju so predstavljeni koncepti in kratki opisi ter njihovo vrednotenje.

$$\text{KONCEPT 1} = 1_{a4, b2, c1} + 2_{a1, b4} + 3_{a1, b2} + 4_{a2, b1, c1} + 5_{a2, b3, c2}$$

Koncept rešitve 1 predstavlja ročno montažno mesto, ki ima tako komponente klasičnega RMM, kot tudi modernega in ergonomskega. Potrebna tehnična dokumentacije se prikazuje na ekranih, prisotna pa je tudi v fizični obliki, ki jo lahko, npr. izmenovodja vzame in pregleda, ne da bi motil montažni proces. Zalogovniki so moderno opremljeni, potrjevanje montažnih operacij poteka z dotikom določenega dela na delovni podlagi, poleg glavnega montažnega gnezda. Višina delovne podlage se prilagaja elektronsko, kar predstavlja jasno naklonjenost k ergonomiji. Osvetlitev delovnega mesta je pretežno klasična, ki se jo pogosto že uporablja v industriji. RMM pa vsebuje dodatno namensko luč, ki osvetljuje delovno podlago. Polnjenje zalogovnikov poteka za RMM brez povzročanja prekinitvev montažnega procesa. Zalogovniki so standardni, večnadstropni, gravitacijski in horizontalni. Konstrukcija se nagiba k že uporabljeni tehnologiji.

$$\text{KONCEPT 2} = 1_{a1, b2, c3} + 2_{a1, b1} + 3_{a1, b2} + 4_{a2, b2, c1} + 5_{a2, b3, c1}$$

Koncept rešitve 2 predstavlja ročno montažno mesto, ki ima v večinskem delu komponente klasičnega, že obstoječega RMM. Dokumentacija se nahaja v fizični obliki na nosilcih, zalogovniki so označeni enako kot pri konceptu 1. Potrjevanje delovne operacije poteka s pritiskom na gumb, ki se nahaja nad delavčevo glavo. RMM je opremljeno s sistemom dviganja in spuščanja delovne podlage, nadzor poteka s pomočjo LVDT zaznaval. Osvetlitev je pretežno klasična, nad delovno podlago se nahaja neonska luč, delovno podlago pa dodatno osvetljuje namenska luč. RMM vsebuje navadne, ločene, gravitacijske zalogovnike nad delovno podlago in horizontalnega rotacijskega zalogovnika ob delovni mizi. Polnjenje zalogovnikov poteka za RMM. Konstrukcija je sestavljena iz aluminijastih profilov, podlaga je narejena iz vezane plošče na kateri je umetna masa, stik s tlemi pa predstavljajo gumirane nogice, kar preprečuje gibanje RMM.

$$\text{KONCEPT 3} = 1_{a3, b3, c1} + 2_{a1, b3} + 3_{a2, b3} + 4_{a2, b5, c1} + 5_{a2, b3, c2}$$

Koncept rešitve 3 predstavlja novodobno ergonomsko oblikovano RMM z možnostjo modernega videza. Vsa potrebna dokumentacija se prikazuje na dveh ločenih LCD- ali LED-zaslonih, kar omogoča enostaven pregled dokumentacije (NKS, ND, POP, KN ...) tako delavcu kot izmenovodji in, npr. zunanjim obiskovalcem. Zalogovniki so označeni z LCD- ali LED-ekrani, vsebujejo pa tudi dodatne LCD- ali LED-prikazovalnike, ki se obarvajo zeleno, če je v njem potreben sestavni del. Potrjevanje montažnih operacij poteka preko LCD- ali LED-ekrana občutljivega na dotik, nameščenega blizu delavca, na delovni podlagi. Dvižni sistem delovne podlage nudi visoko stopnjo prilagodljivosti in ergonomije. Gnan je s pomočjo koračnega motorja in električnim linearnim aktuatorjem. Lokalizirano osvetlitev nudijo večdelne LED-lučni nad delovno podlago, lokalno osvetlitev pa LED-lučni na straneh konstrukcije usmerjene v določena polja. Zalogovniki imajo možnost polnjenja za RMM, predstavljajo pa jih urejeni predali, ki nudijo dobro sledenje porabi sestavnih delov. Poleg delovne podlage se nahaja še horizontalni rotacijski zalogovnik za večje sestavne dele. Konstrukcija je vijadena iz aluminijastih profilov, delovna podlaga nudi dobro odpornost proti praskam in obrabi, stik s tlemi pa predstavljajo kolesčki z montirano zavoro. RMM je tako možno enostavno premakniti po proizvodni hali.

### 4.3 Vrednotenje konceptov in njihova izbira

S pomočjo vrednotenja in ocenjevanje posamičnih segmentov RMM, bomo glede na naše zahteve in želje izbrali najprimernejši koncept za sodobno, samokonfiguracijsko RMM. Vrednotenje predstavlja bistven korak za izbiro koncepta, vsako naslednje spreminjanje idej in delov koncepta pa predstavlja bistveno povišanje stroškov in povzroči dodatne nepredvidene zaplete.

V spodnji preglednica 4.2 je na desni predstavljena maksimalna ocena za posamezen kriterij, minimalno oceno pa v vseh kriterijih predstavlja število 1.

S pomočjo spodnje preglednice smo ugotovili, da je glede na postavljene kriterije najprimernejši koncept 3 s skupnim številom točk 38 od maksimalnih 42. S postavljenimi kriteriji se ujema v 90, 5 %, medtem ko se koncepta 1 in 2 ujemata v približno 73, 8 % in 64, 3 %.

Koncept 3 se izkaže kot zelo ustrezen pri veliki večini kriterijev, pri enostavnosti RMM in cenovni dostopnosti pa ne. Pri konceptu 3 je prisotnih več pomagala za delavca, npr. označevanje zalogovnikov z LCD- ali LED-zaslona z barvo in 2 zaslona za prikazovanje dokumentacije, tako je izvedba koncepta nekoliko dražja in posledično cenovno manj dostopna. Ker smo skozi celotno nalogo razvijali koncepte za sodobno RMM z ozirom na delavca, so koncepti izredno varni.

Rezultati kažejo, da je koncept 3 tako najprimernejši za nadaljnji razvoj in izdelavo pametnega ročnega montažnega mesta z osredotočenostjo na delavca.

Preglednica 4.5 Vrednotenje konceptov za RMM

<b>KRITERIJ ZA VREDNOTENJE</b>	<b>OCENE ZA KONCEPT 1</b>	<b>OCENE ZA KONCEPT 2</b>	<b>OCENE ZA KONCEPT 3</b>	<b>MAKSIMALNA OCENA</b>
Dostopnost dokumentacije za delavca	2	1	3	3
Dostopnost dokumentacije za ostale	3	1	3	3
Pomoč pri izbiri naslednjega sestavnega dela	2	2	3	3
Robustnost senzorike dvižnih sistemov	1	2	3	3
Stopnja ergonomije pri potrjevanju operacij	3	1	3	3
Osvetlitev delovne podlage in zalogovnikov	2	2	3	3
Modularnost RMM	3	3	3	3
Vzdrževanje RMM	2	2	3	3
Prilagodljivost na nov izdelek	2	2	3	3
Enostavnost RMM	2	3	2	3
Modern dizajn	2	1	3	3
Cenovna dostopnost	2	3	1	3
Prenosnost	2	1	2	3
Varnost	3	3	3	3
<b>SKUPAJ:</b>	<b>31</b>	<b>27</b>	<b>38</b>	<b>42</b>



## 5 Zaključek

1. Naredili smo pregled literature dosedanjih ročnih montažnih mest in spoznali njihove podsisteme.
2. Izvedli smo specifikacijo RMM in predstavili zahteve in želje za sodobno RMM.
3. Upoštevali smo principe ergonomije pri zasnovi sodobnega RMM.
4. Izdelali smo blokovni diagram, ki prikazuje vhodne in izhodne elemente pri procesu montaže.
5. Na podlagi blokovnega diagrama smo izdelali funkcijsko strukturo, v kateri smo pokazali obstoječe relacije in pretoke energij, materialov in informacij med posameznimi podsistemi.
6. Razvili smo morfološko matriko.
7. Razvili smo 3 različne koncepte, jih ovrednotili in izbrali najprimernejši koncept za nadaljnji razvoj in izdelavo RMM.

Po pregledu literature dosedanjih RMM smo specificirali zahteve in želje za posamezne podsisteme, nato pa izdelali funkcijsko strukturo. Razvili smo morfološko matriko in iz nje sestavili 3 najprimernejše koncepte, jih ovrednotili in izbrali najprimernejšega. Koncept 3 tako predstavlja najprimernejše RMM po principih oblikovanja za delavca.

### **Predlogi za nadaljnje delo**

Razvit koncept 3 bi lahko v nadaljevanju še nadgradili, izdelali 3D-model in izbrali ter izdelali točne komponente in sestave za izdelavo RMM. Iz komponent bi nato sestavili RMM, ga testirali (npr. merili čase posameznih montažnih operacij) in v nadaljevanju s pomočjo različnih pomagal poskušali zmanjšati lastno ceno RMM in povečati učinkovitost pri delu na RMM ter preverili in preučili ergonomsko ustreznost.

## 6 Literatura

- [1] S.J. Hu et al.: *Assembly system design and operations for product variety*. CIRP Annals – Manufacturing Technology **60** (2011) str. 715-733.
- [2] N. Herakovič, *Montaža izdelkov: predavanje. Ljubljana 2017*.
- [3] J. Stropnik: *Priporočila avtorjem študijskih in strokovnih publikacij na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani*. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1997.
- [4] L. Sadeghi, J.Y. Dantas, A. Siadat, J. Marsot: *Design for human safety in manufacturing systems: applications of design theories, methodologies, tools and techniques*. Journal of Engineering Design **27**:12 (2016) str. 844-877.
- [5] K. Jung, O. Kwon, H. You: *Development of a digital human model generation method for ergonomic design in virtual environment*. Int. J. of Industrial Ergonomics **39** (2009) str. 744-748.
- [6] Item: *The Item work bench systems*. Item, Solingen, 2017.
- [7] N.N.: *Lighting at Work*. Health and Safety Executive, Norwich, 1997.
- [8] A. Leškova: *Principles of lean production to designing manual assembly workstations*. International Journal of Engineering Tome **11**:2 (2013) str. 31-36.
- [9] Bosch Rexroth: *Ergonomics Guidebook for manual production systems*. Bosch Rexroth, Stuttgart, 2015.
- [10] Item: *The item Work Bench System*, Item, Solingen, 2017.
- [11] I. Demšar: *Modularni sestav traktorja s hidravličnim pogonom: diplomska naloga*. Ljubljana, 2002.