

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Primož GERČAR

**VEČKRITERIJSKO OPTIMIRANJE STREGE PRI
MONTAŽI Z EVOLUCIJSKIM PRISTOPOM**

Magistrsko delo
študijskega programa 2. stopnje
Strojništvo

Maribor, april 2014



Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo

Magistrsko delo

VEČKRITERIJSKO OPTIMIRANJE STREGE PRI MONTAŽI Z EVOLUCIJSKIM PRISTOPOM

Študent:	Primož GERČAR
Študijski program 2. stopnje:	Strojništvo
Smer:	Proizvodne tehnologije in sistemi
Mentor:	red. prof. dr. Miran Brezočnik

Maribor, april 2014



Univerza v Mariboru

FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO
Smetanova ulica 17
2000 Maribor, Slovenija
www.fs.um.si

Številka: S-BM0017

Datum: 09.04.2013

Na osnovi 330. člena Statuta Univerze v Mariboru (Uradni list RS, št. 46/2012 – UPB10) izdajam:

SKLEP O MAGISTRSKEM DELU

PRIMOŽU GERČARJU, študentu študijskega programa 2. stopnje **Strojništvo**, se dovoljuje izdelati magistrsko delo.

Tema magistrskega dela je pretežno s področja **Katedre za proizvodno strojništvo**.

Mentor: **red. prof. dr. Miran Brezočnik**

Datum veljavnosti teme: 10.04.2013

Tema podaljšana: **10.04.2014**

Naslov magistrskega dela: **Večkriterijsko optimiranje strege pri montaži z evolucijskim pristopom**

Naslov magistrskega dela v angleškem jeziku: **Multi-criteria optimization of handling in assembly by evolutionary approach**

Magistrsko delo je potrebno izdelati skladno z »Navodili za izdelavo magistrskega dela« in ga do 10.4.2014 v treh izvodih oddati v pristojni referat za študentske zadeve.

V skladu z Navodili o pripravi in oddaji e-diplom je potrebno magistrsko delo oddati v Digitalno knjižnico Univerze v Mariboru.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na senat članice v roku 15 dni.



Dekan:

red. prof. dr. *Niko Samec*

Obvestiti:

- kandidata
- mentorja
- odložiti v arhiv

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju red. prof. dr. Miranu Brezočniku za pomoč in vodenje pri opravljanju magistrskega dela. Zahvaljujem se tudi moji dragi Alenki za moralno podporo, hčerama Niki in Gaji za potrpežljivost ter mojima staršema za razumevanje in spodbudo.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	INTELIGENTNI PROIZVODNI SISTEMI	1
1.2	RAZLOGI ZA VPELJEVANJE UMETNE INTELIGENCE V PROIZVODNI SISTEM	3
1.3	VPELJEVANJE INTELIGENTNE AVTOMATIZACIJE ODLOČANJA V INTELIGENTNE STROJE	4
2	NAPREDNI MONTAŽNI SISTEMI	8
2.1	PROBLEMATIKA SNOVANJA, NAČRTOVANJA IN RAZVRŠČANJA PRILAGODLJIVE MONTAŽE	9
2.2	RAZDELITEV MONTAŽNIH SISTEMOV	11
2.2.1	<i>Stopnja avtomatizacije</i>	11
2.2.2	<i>Stopnja fleksibilnosti</i>	11
2.2.3	<i>Oblika organiziranosti in ureditve montažnih mest</i>	12
2.3	NAČELA AVTONOMNOSTI MONTAŽNIH SISTEMOV	12
2.3.1	<i>Avtonomija fizičnih sistemov</i>	13
2.3.2	<i>Avtonomija nadzornih sistemov</i>	14
2.3.3	<i>Avtonomni procesi v podsistemih</i>	15
2.4	METODOLOGIJA KONSTRUIRANJA ZA PROIZVODNJO IN MONTAŽO	16
2.5	PRINCIP MEŠANEGA MODELA MONTAŽE IN MODULARNE DOBAVITELJSKE VERIGE	19
3	STREGA PRI NAPREDNIH MONTAŽNIH SISTEMIH	21
3.1	PROSTORSKA POVEZANOST MONTAŽNIH MEST	23
3.2	ČASOVNA POVEZANOST MONTAŽNIH MEST	25
3.3	USMERJANJE IN TRANSPORT	26
3.4	NAČINI PRENOSA OBDELOVANCEV OZIROMA SESTAVNIH DELOV	28
3.4.1	<i>Dodajalne naprave</i>	30
3.4.2	<i>Urejevalne naprave</i>	30
4	PREGLED NEKATERIH SODOBNIH EVOLUCIJSKIH ALGORITMOV	32
4.1	GENETSKI ALGORITMI	34
4.2	GENETSKO PROGRAMIRANJE	35
4.3	EVOLUCIJSKE STRATEGIJE	35
4.4	EVOLUCIJSKO PROGRAMIRANJE	36
4.5	MEMETSKI ALGORITMI	36
4.6	DIFERENCIALNA EVOLUCIJA	37
4.7	OPTIMIZACIJA Z ROJEM DELCEV	37
4.8	OPTIMIZACIJA S KOLONIJO MRAVELJ	38
5	VEČKRITERIJSKA OPTIMIZACIJA	40
5.1	UVOD	40
5.2	PRISTOPI K VEČKRITERIJSKEM OPTIMIRANJU	40
6	UPORABA VEČ KRITERIJEV OPTIMIZACIJE PRI STREGI	44
6.1	OPREDELITEV PROBLEMA VEČKRITERIJSKEGA OPTIMIRANJA PRI STREGI	44

6.2	SISTEM ZA VEČKRITERIJSKO OPTIMIZACIJO RAZMESTITVE IN STREGE SERIJ IZDELKOV PRI MONTAŽI	45
6.3	DOLOČITEV TLOORISA S POSTAVITVIJO MONTAŽNIH CELIC IN PRIPRAVA PODATKOV PRED IZVEDBO OPTIMIZACIJE	47
6.4	OPIS SISTEMA ZA VEČKRITERIJSKO OPTIMIRANJE	50
6.5	VNOS VHODNIH PODATKOV	51
6.6	IZBIRANJE MONTAŽNIH STROJEV.....	53
6.7	OPTIMIZACIJA PO ČASOVNEM KRITERIJU	53
6.8	OPTIMIZACIJA PO STROŠKOVNEM KRITERIJU	55
6.9	STOPENJSKO IZVAJANJE OPTIMIZACIJE – HIBRIDNA OPTIMIZACIJA	57
6.10	OPTIMIZACIJA STREGE MONTAŽNEGA PROCESA	57
6.11	IZPIS REZULTATOV	59
6.12	REZULTATI IN DISKUSIJA.....	60
6.12.1	<i>Rezultati optimizacije strege po časovnem kriteriju</i>	<i>61</i>
6.12.2	<i>Rezultati optimizacije strege po stroškovnem kriteriju.....</i>	<i>62</i>
6.12.3	<i>Izbor zelenega optimizacijskega postopka.....</i>	<i>64</i>
6.12.4	<i>Prehodi med optimizacijskimi scenariji.....</i>	<i>65</i>
6.12.5	<i>Optimizacija poti strege.....</i>	<i>69</i>
6.12.6	<i>Stroškovno ovrednotenje strege.....</i>	<i>75</i>
6.12.7	<i>Rekapitulacija stroškov in časa optimiranega montažnega procesa.....</i>	<i>76</i>
7	ZAKLJUČEK.....	77
8	PRILOGE	80
	PRILOGA 1: PROGRAMSKA JEZIKA AUTOLISP IN VISUAL LISP	80
9	LITERATURA	83

KAZALO SLIK

	Stran
Slika 1.1: <i>Ročno krmiljenje (človek je v verigi proizvodnje)</i>	2
Slika 1.2: <i>Avtomatično krmiljenje (človek ob proizvodni verigi)</i>	3
Slika 1.3: <i>Računalniško krmiljenje (človek se nahaja izven verige proizvodnje)</i>	3
Slika 1.4: <i>Shematski prikaz inteligentnega strojnega orodja</i>	5
Slika 2.1: <i>Načrtovanje in razvrščanje proizvodnje v PMS</i>	10
Slika 2.2: <i>Stopnje avtomatizacije v procesu proizvodnje</i>	11
Slika 2.3: <i>Avtomatizirano vodeno vozilo AVG</i>	13
Slika 2.4: <i>Avtonomni roboti sposobni zaznavanja svojega okolja</i>	13
Slika 2.5: <i>Razmerje med agentnim sistemom in holističnim sistemom</i>	14
Slika 2.6: <i>Referenčna struktura za holističen proizvodni sistem</i>	14
Slika 2.7: <i>Hibridni montažni sistem je kombinacija ročne in avtomatske montažne delovne postaje</i>	15
Slika 2.8: <i>Kooperativno delovno mesto z lociranimi nadzornimi kamerami</i>	16
Slika 2.9: <i>Skrajšanje časov in znižanje stroškov proizvodnega procesa z uporabo metodologije DFMA</i>	17
Slika 2.10: <i>Vpliv števila sestavin izdelka na obseg montažnega sistema</i>	17
Slika 2.11: <i>Optimalna cena in funkcija izdelka</i>	18
Slika 2.12: <i>Nemodularna in modularna dobaviteljska veriga v montaži</i>	19
Slika 2.13: <i>Kombinacija principa mešanega modela montaže in modularne dobaviteljske verige</i>	20
Slika 3.1: <i>Razvrstitev strege v proizvodnem procesu</i>	22
Slika 3.2: <i>Prilagodljiv montažni sistem z enojnimi postajami in enojnimi hranilniki</i>	23
Slika 3.3: <i>Prilagodljiv montažni sistem z vzporednimi postajami in enojnimi hranilniki</i>	24
Slika 3.4: <i>Prilagodljiv montažni sistem z vzporednimi postajami in večkratnimi hranilniki</i>	24
Slika 3.5: <i>Prostorska povezanost delovnih mest</i>	24
Slika 3.6: <i>Časovna povezanost delovnih mest</i>	25
Slika 3.7: <i>Sistem z visokohitrotnim sortirnim tirničnim vozičkom in z identifikacijskim bralnikom</i>	26
Slika 3.8: <i>Avtomatizirano vodeno vozilo</i>	27
Slika 3.9: <i>Avtonomni decentralizirani in samo organizacijski modularni sistem</i>	28
Slika 4.1: <i>Iskanje rešitve z evolucijskim pristopom</i>	32

	Stran
Slika 4.2: <i>Shematski prikaz evolucijskega algoritma z osnovnim psevdokodi zapisom</i>	33
Slika 4.3: <i>Shematska zgradba populacij genetskega algoritma</i>	34
Slika 5.1: <i>Prednostni in idealni pristop reševanja nalog večkriterijske optimizacije</i>	41
Slika 5.2: <i>Primer kriterijskega prostora, kjer minimiziramo f_1 in f_2: Pareto fronta (a) ter množice nedominiranih rešitev (b), (c) in (d)</i>	43
Slika 6.1: <i>Grafični vmesnik AutoCAD z vrisanim tlorisom montažne hale in s tabelo razpoložljivih montažnih strojev s karakterističnimi podatki</i>	45
Slika 6.2: <i>Uporabniški vmesnik za programiranje v računalniškem jeziku AutoLISP in Visual LISP</i>	46
Slika 6.3: <i>Računalniški program MS Excel za obdelavo dobljenih podatkov</i>	46
Slika 6.4: <i>Tloris montažne hale</i>	47
Slika 6.5: <i>a) Primer narisane montažne celice kot blok s podatkovnimi atributi b) Okno za spreminjanje atributov</i>	48
Slika 6.6: <i>Blok shema postavljenega sistema</i>	50
Slika 6.7: <i>Prikaz vpisovanja kriterijev za izdelke preko uporabniškega vmesnika</i>	52
Slika 6.8: <i>Prikaz vpisovanja parametrov genetskega algoritma za optimizacijo poti strege</i>	52
Slika 6.9: <i>Razvrstitev izdelkov med stroje z optimizacijo po časovnem kriteriju</i>	53
Slika 6.10: <i>Množica optimalnih rešitev optimizacije po časovnem kriteriju in faktorji optimizacije</i>	54
Slika 6.11: <i>Razvrstitev izdelkov med stroje z optimizacijo po stroškovnem kriteriju</i>	55
Slika 6.12: <i>Množica optimalnih rešitev optimizacije po stroškovnem kriteriju in faktorji optimizacije</i>	56
Slika 6.13: <i>Kodiranje organizma</i>	57
Slika 6.14: <i>Kodiranje organizma pri reprodukciji</i>	58
Slika 6.15: <i>Kodiranje organizma pri permutaciji</i>	58
Slika 6.16: <i>Izris optimalnih poti strege ter izpis poti do datoteke s končnimi rezultati</i>	59
Slika 6.17: <i>Prikaz izpisa končnih rezultatov optimizacije po časovnem oz. stroškovnem kriteriju v tekstovni datoteki</i>	60
Slika 6.18: <i>Prikaz izpisa končnih rezultatov optimizacije strege z genetskimi algoritmi v tekstovni datoteki</i>	60
Slika 6.19: <i>Množica optimalnih rešitev optimizacije po časovnem kriteriju in njihovo razmerje med stroškom in časom montažnega procesa s faktorji optimizacije</i>	62
Slika 6.20: <i>Množica optimalnih rešitev optimizacije po stroškovnem kriteriju in njihovo razmerje med stroškom in časom montažnega procesa s faktorji optimizacije</i>	63

	Stran
Slika 6.21: <i>Razporeditev izdelkov med izbrane stroje po stroškovnem kriteriju in faktorju optimizacije 0,2</i>	64
Slika 6.22: <i>Razvrstitev stroškov montaže izbranih strojev glede na razporeditev izdelkov po stroškovnem kriteriju in faktorju optimizacije 0,2</i>	65
Slika 6.23: <i>Razvrstitev časov montaže izbranih strojev glede na razporeditev izdelkov po stroškovnem kriteriju in faktorju optimizacije 0,2</i>	65
Slika 6.24: <i>Ostanek razvrstitve izdelkov po prekinitvi med izbranimi stroji po stroškovnem kriteriju in faktorju optimizacije 0,2</i>	66
Slika 6.25: <i>Nova razvrstitev čakajočih izdelkov med izbrane stroje po časovnem optimizacijskem kriteriju in faktorju optimizacije 0</i>	67
Slika 6.26: <i>Razmerje stroškov med prvotnim proizvodnim scenarijem po stroškovnem optimizacijskem kriteriju, če bi ga pripeljali do konca in med novim proizvodnim scenarijem po časovnem optimizacijskem kriteriju zaradi pohitritve procesa v teku</i>	68
Slika 6.27: <i>Razmerje časov med prvotnim proizvodnim scenarijem po stroškovnem optimizacijskem kriteriju, če bi ga pripeljali do konca in med novim proizvodnim scenarijem po časovnem optimizacijskem kriteriju zaradi pohitritve procesa v teku</i>	68
Slika 6.28: <i>Primerjava izrisane poti najboljšega organizma v najslabši in v najboljši evoluciji za izdelek št. 1</i>	70
Slika 6.29: <i>Primerjava izrisane poti najboljšega organizma v najslabši in v najboljši evoluciji za izdelek št. 2</i>	71
Slika 6.30: <i>Primerjava izrisane poti najboljšega organizma v najslabši in v najboljši evoluciji za izdelek št. 3</i>	72
Slika 6.31: <i>Primerjava izrisane poti najboljšega organizma v najslabši in v najboljši evoluciji za izdelek št. 4</i>	73
Slika 6.32: <i>Primerjava izrisane poti najboljšega organizma v najslabši in v najboljši evoluciji za izdelek št. 5</i>	74
Slika 8.1: <i>Sintaksa AutoLISP-ovih funkcij</i>	81
Slika 8.2: <i>Uporabniški vmesnik Visual LISP</i>	82

KAZALO PREGLEDNIC

	Stran
Preglednica 6.1: <i>Seznam postavljenih strojev oziroma montažnih celic</i>	49
Preglednica 6.2: <i>Karakteristični podatki o montažnih zahtevah izdelkov</i>	61
Preglednica 6.3: <i>Rezultati razvrščanja izdelkov optimizacije po časovnem kriteriju</i>	62
Preglednica 6.4: <i>Rezultati razvrščanja izdelkov optimizacije po stroškovnem kriteriju</i>	63
Preglednica 6.5: <i>Primerjava najslabše in najboljše evolucije za izdelek št. 1</i>	70
Preglednica 6.6: <i>Primerjava najslabše in najboljše evolucije za izdelek št. 2</i>	71
Preglednica 6.7: <i>Primerjava najslabše in najboljše evolucije za izdelek št. 3</i>	72
Preglednica 6.8: <i>Primerjava najslabše in najboljše evolucije za izdelek št. 4</i>	73
Preglednica 6.9: <i>Primerjava najslabše in najboljše evolucije za izdelek št. 5</i>	74
Preglednica 6.10: <i>Nosilnost avtomatsko vodenega vozila AGV</i>	75
Preglednica 6.11: <i>Ovrednotenje stroškov poti strege z avtomatsko vodenimi vozili AGV</i>	76

VEČKRITERIJSKO OPTIMIRANJE STREGE PRI MONTAŽI Z EVOLUCIJSKIM PRISTOPOM

Ključne besede: prilagodljivi obdelovalni sistemi, prilagodljivi montažni sistemi, optimiranje strege, razmeščanje naprav, večkriterijska optimizacija, evolucijsko računanje, genetski algoritmi

UDK klasifikacija: 004.896:658.515-048.34(043.)

POVZETEK

Magistrsko delo obravnava večkriterijsko optimizacijo strege v prilagodljivem montažnem sistemu z evolucijskim pristopom.

Prvi del magistrskega dela vsebuje splošen pregled inteligentnih proizvodnih sistemov, naprednih montažnih sistemov, strege v prilagodljivih montažnih sistemih ter pregled nekaterih pomembnih sodobnih evolucijskih algoritmov. Sledijo opisi večkriterijske optimizacije in različni pristopi za njeno izvedbo. Drugi del naloge zajema praktičen primer optimiranja strege, zasnovo in izdelavo lastnega sistema za večkriterijsko optimiranje razmestitve in strege ter ovrednotenje dobljenih rezultatov v obliki preglednic in diagramov. Optimizacija montažnega procesa je bila izvedena z lastnim sistemom s poljubno določenim tlorisom montažne hale, poljubno umestitvijo montažnih strojev v prostor ter določitvijo karakteristik montažnih strojev in izdelkov za montažo. Sledila je optimizacija po stroškovnem kriteriju z izborom strojev, razvrstitvijo izdelkov med stroje ter optimizacijo strege. Med izvajanjem montažnega procesa po stroškovnem optimizacijskem kriteriju se je zaradi potrebe po pohitritvi procesa izvršil prehod na nov montažni scenarij po časovnem optimizacijskem kriteriju. Dosežena je bila pohitritev montažnega procesa z nekaj višjimi obdelovalnimi stroški in sposobnost prilagajanja optimizacijskega sistema različnim zahtevam.

Raziskava je pokazala, da je v nalogi razvit sistem praktično uporaben in sicer za optimizacijo v prilagodljivih proizvodnih sistemih kot so montažni sistemi, obdelovalni sistemi, skladiščni sistemi ali sistemi s serijsko proizvodnjo. Uporabimo ga lahko tudi pri snovanju novega prilagodljivega proizvodnega sistema ali pri razporejanju novih strojev v obdelovalni proces.

MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF HANDLING IN ASSEMBLY BY EVOLUTIONARY APPROACH

Key words: flexible manufacturing systems, flexible assembly systems, optimization of handling, devices classification, multi-criteria optimization, evolutionary calculation, genetic algorithms

UDK classification: 004.896:658.515-048.34(043.)

ABSTRACT

Master's thesis deals with a multi-criteria optimization problem of classification and handling in a flexible assembly system by evolutionary approach.

The first part of the master thesis includes a state-of-the-art about intelligent manufacturing systems, advanced assembly systems, handling in flexible assembly systems, and a review of some important up-to-date evolutionary algorithms. In addition, the descriptions of multi-criteria optimization are given as well as different approaches for its implementation. The second part of thesis describes the practical example of handling optimization. Herein, a new system for multi-criteria optimization is planned and developed for classification and handling in assembly. Finally, the gained results are evaluated and presented in the form of tables and diagrams. The assembly optimization is implemented by newly-developed system, where the layout of assembly hall, the placement of assembly machines in space, and the characteristics of assembly machines and products for assembly are optionally defined. Afterwards, the optimization according to cost criterion is followed by the selection of machines, the classification of products between machines and handling optimization. During the realization of assembly process regarding to the cost optimization criterion, the need of speed-up the process is appeared; therefore, the transition to the new assembly scenario is accomplished according to the time optimization criterion. The assembly process became faster with a bit higher operational costs. Also, the ability of the optimization system to adjust of different requirements is achieved.

Research has shown that newly-developed system can be practically applicable for the optimization in flexible manufacturing systems such as assembly systems, manufacturing

systems, storage systems or systems with serial production. It can also be used for the designing of new flexible production system or arrangement of new machines in the treatment procedure.

UPORABLJENI SIMBOLI

a_x	-	zaporedna številka trenutnega izbranega stroja
d_i	-	dolžine med stroji
d_p	-	povprečna dolžina poti
f_d	-	cena transporta na enoto dolžine
f_t	-	funkcija, ki upošteva skupno dolžino med napravami (namenska funkcija, fenotip)
fun	-	oznaka za ime funkcije v programski sintaksi
G_i	-	nosilnost avtomatsko vodenega vozila AGV
i	-	števec organizmov, indeks evolucij, število naprav
n	-	število predmetov, strojev, evolucij, izdelkov
o_t	-	organizem t (genotip)
$P(t)$	-	populacija rešitev
S_n	-	število izbranih strojev
S_x	-	št. izdelkov na posameznem stroju
Stp	-	skupen strošek poti strege
Stp_i	-	strošek poti strege za posamezen izdelek
St_x	-	skupen strošek posameznega stroja
st_x	-	strošek obdelave enega izdelka na posameznem stroju
t	-	čas
t_x	-	čas obdelave enega izdelka posameznega stroja
$t_{x\ max}$	-	skupen čas, ki ga je stroj porabil za obdelavo ($t_{x\ max} = \sum t_x$)
T	-	čas v trenutku, ko je z obdelavo zaključil zadnji stroj ($T = t_{x\ max}$)
Z	-	velikost serije, število kosov v seriji

UPORABLJENE KRATICE

AutoCAD	-	grafični programski vmesnik
ACO	-	optimizacija s kolonijo mravelj (ang. Ant Colony Optimization)
AGV	-	avtomatsko vodeno vozilo (ang. Automated Guided Vehicle)
CAD	-	računalniško podprto modeliranje in konstruiranje
CNC	-	numerično krmiljeni stroji
DE	-	diferencialna evolucija (ang. Diferencial Evolution)
DFMA	-	konstruiranje za proizvodnjo in montažo (ang. Design For Manufacturing and Assembly)
DNC	-	direktno numerično krmiljenje
DP	-	delovna postaja
EP	-	evolucijsko programiranje (ang. Evolutionary Programming)
ES	-	evolucijske strategije (ang. Evolutionary Strategies)
GA	-	genetski algoritem (ang. Genetic Algorithm)
GP	-	genetsko programiranje (ang. Genetic Programming)
H	-	enojni ali večkratni hranilniki
LISP	-	LISt Processing – vrsta programskega jezika (AutoLISP, Visual LISP, ...)
MA	-	memetski algoritem (ang. Memetic Algorithms)
OAC	-	odprtokodni krmilnik (ang. Open Architecture Controller)
PC	-	osebni računalnik
PMS	-	prilagodljiv montažni sistem
PSO	-	optimizacija z rojem delcev (ang. Particle Swarm Optimization)

1 UVOD

Zaradi vse večje globalizacije in zahtev potrošnikov po raznolikosti izdelkov, konvencionalni pristopi v proizvodnih in montažnih sistemih večinoma niso več dovolj zmogljivi in zadovoljivi v spopadanju s spremembami, nepredvidljivimi dogodki ter motnjami, ki so redni spremljevalec današnjih proizvodnih sistemov [13]. Za doseganje konkurenčnosti na trgu so proizvajalci primorani v nenehna posodabljanja in vključevanja najnovejših tehnologij v tehnološke postopke [6]. Proizvodni in montažni sistemi dosegajo visoko stopnjo avtomatizacije, hkrati pa se povečuje tudi smotrnost individualizacije tržišča v smeri maloserijske proizvodnje. Trendi izdelovalnih postopkov se v zadnjem obdobju nagibajo k rešitvam, ki po eni strani večajo fleksibilnost, točnost in kvaliteto, po drugi strani pa skrajšujejo življenjsko dobo izdelkov.

1.1 Inteligentni proizvodni sistemi

Svetovna konkurenca in hitro spreminjajoče se zahteve kupcev zahtevajo vse večje spremembe v proizvodnih okoljih [19]. Podjetja morajo nenehno preoblikovati svoje proizvode in posledično neprekinjeno preoblikovati svoje proizvodne sisteme. Tradicionalni pristopi proizvodnih sistemov v današnjih časih ne zmorejo v celoti izpolniti vseh zahtev kupcev in dobavnih rokov za različne serije izdelkov.

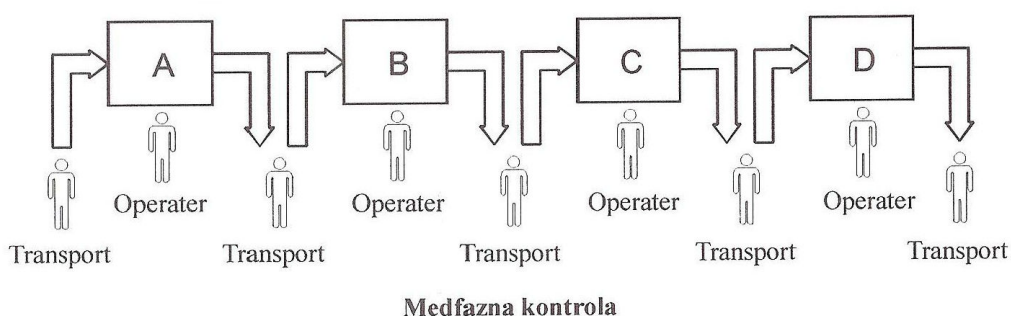
Zaradi naraščajoče kompleksnosti industrijske proizvodnje, potrebe po večji učinkovitosti, večji prožnosti, boljši kakovosti izdelkov in nižjih stroških se je podoba proizvodne prakse zelo spremenila. Od zgodnjih 50-ih let, ko je bila vzpostavljena teorija klasičnega nadzora, so inženirji oblikovali številne postopke za analiziranje in upravljanje sistemov. Te postopke lahko povzamemo kot [19]:

- modeliranje postopkov, ki so sestavljeni iz diferencialnih enačb,
- vedenjski postopki sistemov, kot so vodljivost ter stabilnost in
- nadzorni postopki.

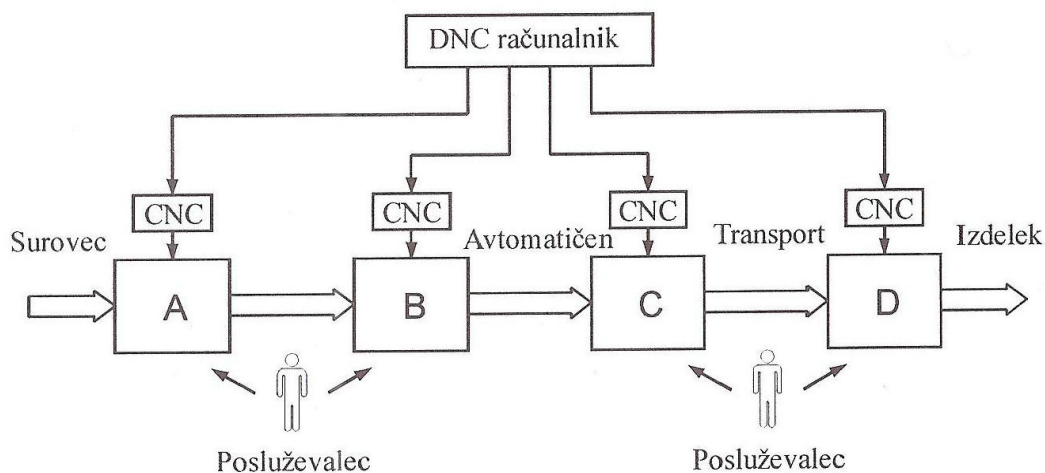
Vzporedno z razvojem tehnologije in računalniških procesov se razvijajo tudi vse boljši inteligentni proizvodni sistemi, kjer umetna inteligenca prinaša dodano vrednost prilagodljivosti in učinkovitosti proizvodnega sistema.

V sodobni proizvodnji se vse bolj postavljajo zahteve po zmanjševanju stroškov [9]. Enega od stroškov, na katerega lahko vplivamo v samem proizvodnem procesu, predstavljajo izdelki slabe kvalitete. Njihov delež lahko znatno zmanjšamo s sistemi za vodenje proizvodnih procesov.

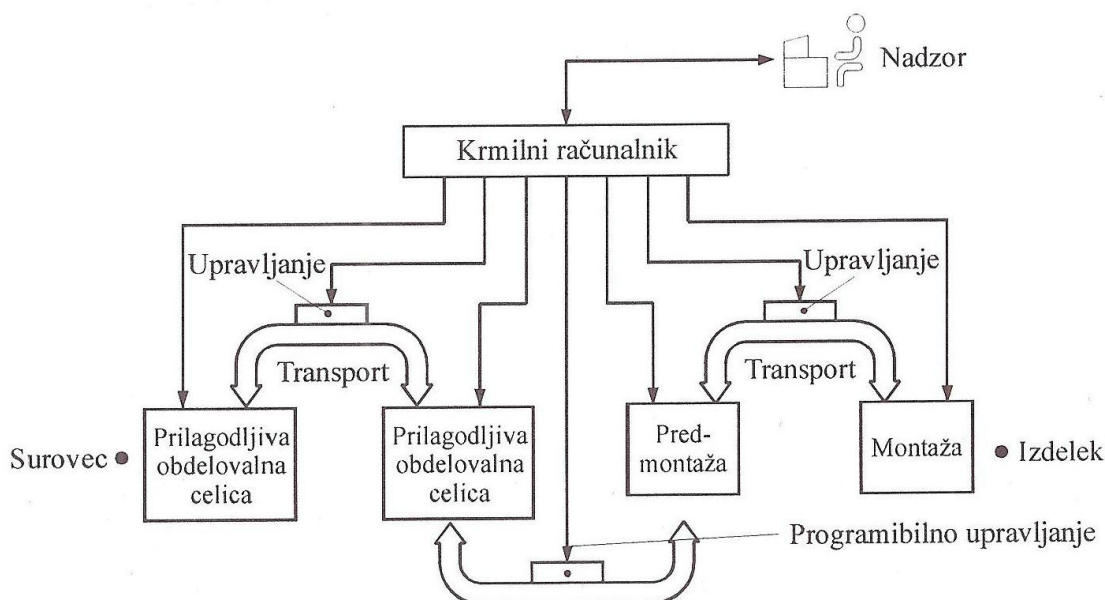
Avtomatizacija ima velik vpliv na človeka in njegovo vlogo v proizvodnem procesu [3]. Pri ročnem krmiljenju na sliki 1.1 je človek vključen v verigo proizvodnje, je operater, krmili proizvodnjo in transport. Pri avtomatskem krmiljenju na sliki 1.2 se nahaja človek poleg verige proizvodnje, kjer so stroji transportno povezani in krmiljeni z napravami za računalniško numerično krmiljenje. Temu je nadrejeno direktno numerično krmiljenje. Človek v tem primeru streže večjemu številu strojev. Pri računalniškem krmiljenju proizvodnje kot je prikazano na sliki 1.3 se nahaja človek izven verige proizvodnje in nadzoruje proces z računalnikom. Torej so obdelava, transport, predmontaža in montaža popolnoma avtomatizirani in krmiljeni z računalnikom.



Slika 1.1: Ročno krmiljenje (človek je v verigi proizvodnje)



Slika 1.2: Avtomatično krmiljenje (človek ob proizvodni verigi)



Slika 1.3: Računalniško krmiljenje (človek se nahaja izven verige proizvodnje)

1.2 Razlogi za vpeljevanje umetne inteligence v proizvodni sistem

Cilj inteligentnega proizvodnega sistema je soroden vsakemu normalnemu proizvodnemu sistemu po zadovoljevanju potreb kupcev na najbolj učinkoviti ravni po najnižji možni ceni [17]. Prisotnost računalnikov v računalniško integrirani proizvodnji je že več kot 20 let, kar pa še ne pomeni, da prisotnost računalnika v proizvodnji avtomatsko vodi do inteligentnega proizvodnega sistema. To postane šele z uvedbo sposobnosti sistema, da lahko sprejema človeku podobne odločitve in s tem postane proizvodni sistem res inteligenten.

V proizvodni praksi se je od začetkov uporabe umetne inteligence v petdesetih letih prejšnjega stoletja pojavilo nekaj bolj ali manj uporabnih aplikacij umetne inteligence.

Prvotno je bila to baza znanj, danes pa se več pozornosti posveča rešitvam s pomočjo nevronske mreže, mehke logike in evolucijskega računanja. Karwowski in Evans sta leta 1986 opredelila tri najpomembnejše razloge za vpeljavo umetne inteligence v proizvodnjo [19]:

1. Netočnost in nejasnost sta neločljivo povezana z modelom razmišljanja človeka kot tvorca pravil.
2. Informacije, ki so potrebne za oblikovanje proizvodnega modela so nejasne ali jih ni mogoče natančno izmeriti.
3. Nenatančnosti in nejasnosti zaradi posledice človeške osebne pristranskosti in njegovega subjektivnega mnenja se lahko dodatno zmanjšata kakovost in količina razpoložljivih informacij.

Inteligentni proizvodni sistem predstavlja sistem z vdolano sposobnostjo prilagajanja nepričakovanih sprememb kot so spremembe asortimenta, zahteve trga, tehnološke spremembe, itd [8]. Vendar inteligenca teh sistemov se pogosto razume kot nadzor programske opreme izdelka in ne kot izvajanje najsodobnejših tehnologij strojne umetne inteligence v procesu. Inteligentni proizvodni sistemi vsebujejo več podsistemov, ki jih delimo na avtomatske proizvodne sisteme (tehnološki sistemi, nadzorni sistemi, transport, manipuliranje). Pod sistemi morajo biti opremljeni s pripomočki, ki dajejo podsistemom posebno stopnjo inteligence.

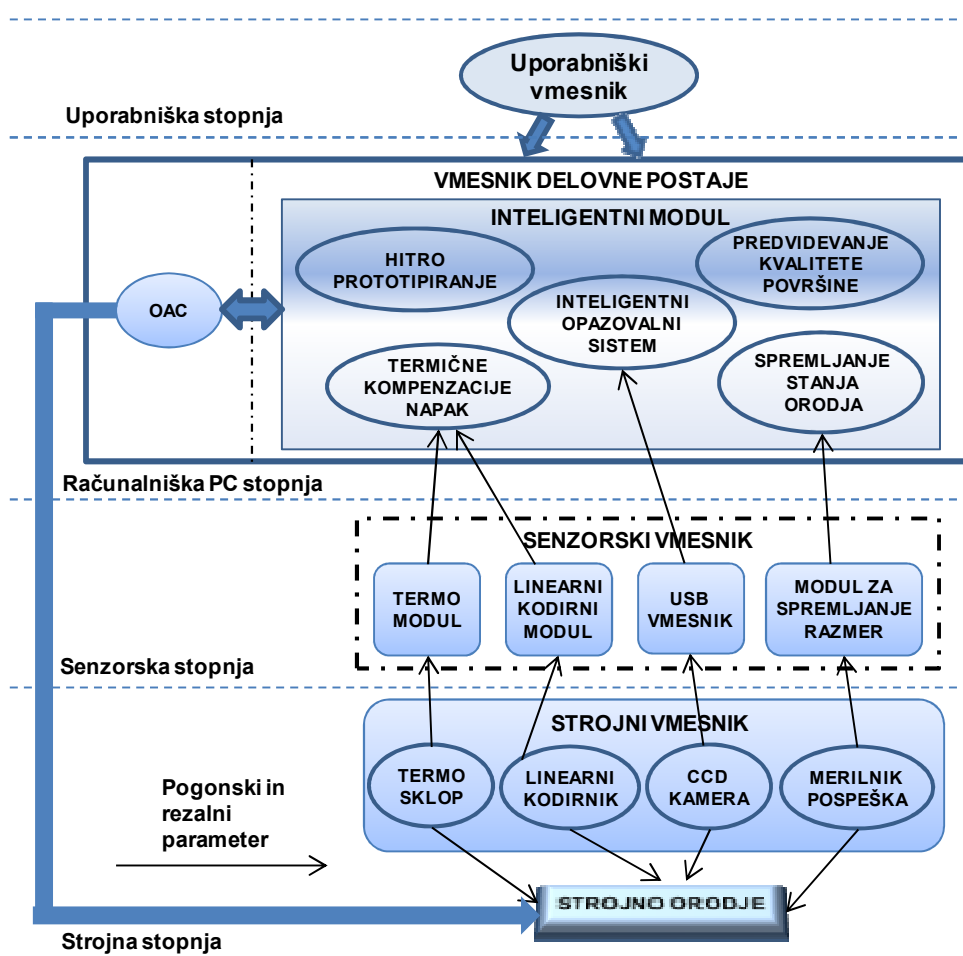
1.3 Vpeljevanje inteligentne avtomatizacije odločanja v inteligentne stroje

Zmogljiva računalniška oprema omogoča učinkovito modeliranje, simuliranje in optimiranje številnih opravil od zasnove izdelka, izdelave in montaže do prodaje in vzdrževanja [5]. Napredna tehnologija nam omogoča tudi proučevanje številnih proizvodnih scenarijev v zelo kratkem času in je krepko skrajšala čas od zasnove do plasiranja izdelka na trg. V povprečju se današnjim izdelkom povečujeta tako zapletenost (v smislu števila sestavin) kot kompleksnost (zahtevnost povezav med sestavinami) kar vodi k njihovi čedalje boljši funkcijski opremljenosti. Vendar pa kljub temu izdelki zastarevajo hitreje kot kdajkoli prej. Življenjski cikli izdelkov se skrajšujejo, nove družine izdelkov pa nadomestijo starejše veliko prej kot to določa življenjska doba.

Prilagodljivost tržnim razmeram zahteva posodabljanje proizvodnih sistemov v smeri, da imajo sposobnost učinkovitega odziva na nihanja pri povpraševanju in drugih negotovosti, kot so okvare strojev ter naključni časi obdelav [22]. Prednosti, ki jih ponuja prilagodljivost

proizvodnih obratov so nižje zahteve dela, boljša izkoriščenost stroja, okrepljeno operativno vodenje in zmanjševanje dela v zaostanku.

Da lahko proizvodni procesi sledijo konkurenci se načrtovalci inteligentnih sistemov trudijo izboljšati inteligentne stroje v smeri čim bolj avtonomnega delovanja [25]. Pri razvoju inteligentnega strojnega orodja sposobnega delovati v popolnoma avtomatiziranem okolju morajo biti nekatere pomembne naloge kot so spremljanje stanja orodja, predvidevanje kvalitete površine, termične kompenzacije napak, itd., integrirane v inteligentni obdelovalni stroj. Takšen koncept inteligentnega strojnega orodja je prikazan na sliki 1.4.



Slika 1.4: Shematski prikaz inteligentnega strojnega orodja

Da bi lahko definirali inteligentno strojno orodje, je potrebno njegovo sestavo razumeti kot večstopenjsko platformo [25]. Na sliki 1.4 je prikazan štiristopenjski pristop, ki ima možnost ločevanja različnih funkcij CNC stroja z namenom po boljši prilagodljivosti. Na spodnji ravni strojno orodje obsega osnovno strukturo in sistem z motornim pogonom. Poleg tega je lahko

stroj opremljen z več senzorji in napravami za zbiranje podatkov, ki so osnovni gradnik za pridobivanje podatkov dogajanja na strojnem orodju. Najbolj pogoste zahtevane funkcionalnosti za povečanje učinkovitosti stroja so sposobnost nadzora temperature, sposobnost merjenja vibracij, sposobnost spremljanja površine, sposobnost spremljanja in kontrole natančnosti merjenja. Vse to skupaj predstavlja strojno stopnjo. Naslednja stopnja vključuje vmesnik modulov, ki služijo za zbiranje podatkov o stroju, jih pretvarjajo v ustrezne signale in jih pošiljajo procesorju. To predstavlja stopnjo vmesnika oz. senzorsko stopnjo.

Da se lahko operira s takimi vrstami zahtev je zelo pomembno, da se uporablja odprtokodni krmilnik OAC (Open Architecture Controller), saj je večina funkcionalnosti specifična za obdelovalni stroj glede na obdelovalne okoliščine. Na tej tretji stopnji so prisotni tudi tako imenovani individualni obveščevalni moduli za obdelavo zbranih podatkov, pridobljenih na podlagi ustreznih odločb za ustrezno komunikacijo s kontrolorjem gibanja. Ker računska aktivnost za takšne inteligentne module deluje na bazi visoko nivojskega programskega jezika, to pomeni, da so konvencionalni sistemi nezmožni opravljanja takšnih nalog. Konvencionalni sistem sicer dopušča osnovno programiranje in nastavljanje delovnih parametrov, vendar nudi končnemu uporabniku zelo ozko področje pri komunikaciji s posebnimi zahtevami. Ta del predstavlja računalniško PC stopnjo. Na vrhu stopenjske opredelitve je stopnja uporabnika, kjer delavec ali upravljavec daje stroju zelene vhodne zahteve, katere morajo biti ustrezno naslovljene strojnemu orodju. Bistvo za delovanje takšnega sistema je odprtokodni krmilnik, ki je sposoben hkratne obdelave računskih nalog za odločanje in obdelave povratnih informacij dogajanja na strojni stopnji v realnem času. Tak sistem nudi veliko fleksibilnost in moč za končnega uporabnika pri načrtovanju in izvajanju ključnih strategij za inteligentno avtomatizacijo nalog strojnega orodja, kjer se sicer potrebuje človekovo posredovanje.

Kljub velikemu napredku na področju CNC strojev, obstaja še veliko možnosti za razvoj in integracijo umetne inteligence z avtomatskim odločitvenim pristopom, da lahko izvajajo in nadzira kritične naloge brez posredovanja človeka.

Zaradi konstantno spreminjajočih se izdelkov, se v proizvodnih in montažnih procesih ne glede na to, kolikokrat je že bil proizvodni proces optimiran in posodobljen, vseskozi pojavljajo vprašanja kot so:

- Kako vplivati na čas in strošek obdelave oz. montaže?
- Kateri stroji so sposobni obdelati serijo novih izdelkov?
- Kako razporejati izdelke med izbrane stroje?

- Kako optimirati strego?
- Kako procese, ki so v teku časovno in stroškovno prilagoditi na nove zahteve?
- Kako procesom v fazi izvajanja zmanjšati stroške ali skrajšati čas montaže?
- Kako prilagoditi strošek in čas montaže glede na stanje naročil in dobavnih rokov?
- Kako zasnovati novo montažno proizvodnjo od postavitve strojev in dimenzioniranja montažne hale do delujočega montažnega procesa

Navedena vprašanja so bila osnovno izhodišče za izdelavo moje naloge večkriterijske optimizacije razvrščanja in strege v montažnem procesu. Moje magistrsko delo je sestavljeno iz devetih poglavij. V uvodnem poglavju so opisani inteligentni proizvodni sistemi in njihov vpliv na vlogo človeka v proizvodnji. Navedeni so razlogi za vpeljavo umetne inteligence v proizvodne sisteme in njihovo avtonomno delovanje v smeri nadzora in izvajanja kritičnih nalog brez posredovanja človeka. V drugem poglavju so povzeti napredni montažni sistemi ter njihova problematika snovanja, načrtovanja in razvrščanja v prilagodljivi montaži. Opisana so načela avtonomnosti fizičnih in nadzornih sistemov ter cilji metodologije konstruiranja za proizvodnjo in montažo. V tretjem poglavju je podan opis strege pri naprednih montažnih sistemih ter odvisnost strege na prostorsko in časovno povezanost montažnih mest, njeno usmerjanje, transport in način prenosa sestavnih delov. V četrtem poglavju je opisano iskanje rešitev optimizacije z evolucijskim pristopom, podana je njihova splošna zgradba in psevdokodi zapis ter pregled nekaterih sodobnih in najbolj razširjenih evolucijskih algoritmov kot so genetski algoritmi, genetsko programiranje, evolucijske strategije, evolucijsko programiranje, memetski algoritmi, diferencialna evolucija, optimizacija z rojem delcev in optimizacija s kolonijo mravelj. V petem poglavju naloga prehaja v praktični del, kjer je opisana večkriterijska optimizacija in njeni pristopi k večkriterijskem optimiranju. V šestem poglavju je uvodoma podana opredelitev problema, ki ji sledi predstavitev in opis delovanja lastnega razvitega sistema za večkriterijsko optimiranje razmestitve in poti strege serij izdelkov pri montaži ter navedba dobljenih rezultatov z diskusijo. V sedmem – zaključnem poglavju je povzeta uvodna problematika, kratko opisan izbran pristop k reševanju zastavljene problematike in navedba sklepnih ugotovitev dobljenih rezultatov. Osmo poglavje vsebuje priloge, deveto pa navaja uporabljene vire.

2 NAPREDNI MONTAŽNI SISTEMI

Današnja množična proizvodnja po meri ponuja individualizirane izdelke po skoraj enakih cenah, kot jih omogoča klasična množična proizvodnja [13]. Rezultat omenjene spremembe paradigme je drastično povečanje števila variant različnih izdelkov, ki jih ponujajo proizvajalci, kar ima za posledico nenehno potrebo po hitri spremembi in prilagoditvi planov ter urnikov proizvodnih procesov skladno s pestro raznolikostjo izdelkov in hitro spreminjajočim se tržnim povpraševanjem. Takšno povečanje dinamike trga v zadnjih letih je postavilo proizvodna podjetja pred nove izzive, ki se še posebej odražajo na področjih planiranja, optimizacije ter krmiljenja strege in montaže.

Montaža je ena izmed najpomembnejših dejavnosti v sodobni proizvodnji [5]. Njen pomen je še posebno velik v podjetjih, ki se ukvarjajo z izdelavo končnih izdelkov v velikih serijah, npr. v avtomobilski industriji ali v industriji bele tehnike, navzoča pa je domala v vseh proizvodnih sistemih. Stopnja uspešnosti zasnove in izvedbe montažnih sistemov ima velik vpliv na višino proizvodnih stroškov. Ugotovljeno je, da lahko slaba zasnova izdelka v fazi konstruiranja povzroči visoke montažne stroške, tudi do dve tretjini vseh proizvodnih stroškov.

Eden izmed načinov za uspešno planiranje strežnih in montažnih sistemov ter procesov prihodnosti je vsekakor nenehno sledenje in poznavanje specifičnih trendov v avtomatizaciji strege in montaže kakor tudi splošnih tehnoloških trendov prihodnosti [13].

Avtomatiziran montažni sistem izvaja zaporedje avtomatiziranih operacij, združevanje več komponent v eno celoto, ki je lahko končni izdelek ali pred montaža. Za vpeljevanje avtomatizirane montažne tehnologije pa je dobro imeti izpolnjene naslednje pogoje [1]:

- visoko povpraševanje po izdelkih,
- dovršeno zasnovo izdelkov,
- sestava izdelkov naj bo iz omejenega števila komponent in
- izdelek zasnovan za avtomatizirano montažo.

2.1 Problematika snovanja, načrtovanja in razvrščanja prilagodljive montaže

Montaža je izvajanje postopkov, ki omogočajo sestavljanje posameznih delov in sestavin v izdelke, pri tem pa se pogosto prepletajo funkcije sestavljanja s funkcijami strege, merjenja in preskušanja [16]. Montažni postopki so razviti za posamezen izdelek ali za skupino izdelkov in se zaradi velikega števila sestavnih delov zahteva koordiniran tok materiala ter informacij. Da pa se lahko izvaja koordinacija, je potrebno, da so sestavni deli v pravem času na montažnih mestih, v ustrezni količini, kvaliteti in da so stroški montaže minimalni.

Načrtovanje montaže sledi montažni funkciji ter njeni povezavi v montažnem procesu in jo obravnavamo v povezavi z drugimi dejavnostmi podjetja, kot so terminski plani prodaje in izdelave ter načrtovanje poteka montaže izdelka [5].

Prilagodljiv montažni sistem (PMS) je izredno kompleksen in obsežen, sestavljen iz mnogih prepletajočih se komponent strojne in programske opreme [29]. Za upravljanje teh sistemov je potreben velik obseg podatkov, da bi pa zmanjšali kompleksnost sistema se lahko tak sistem transformira v več različnih lokalnih ciljev osnovanih na hierarhični razgradnji sistema. Različna problematika v PMS snovanju, načrtovanju, razvrščanju in upravljanju se lahko obravnava znotraj hierarhične strukture (slika 2.1) sestavljene iz treh medsebojno povezanih ravneh odločanja.

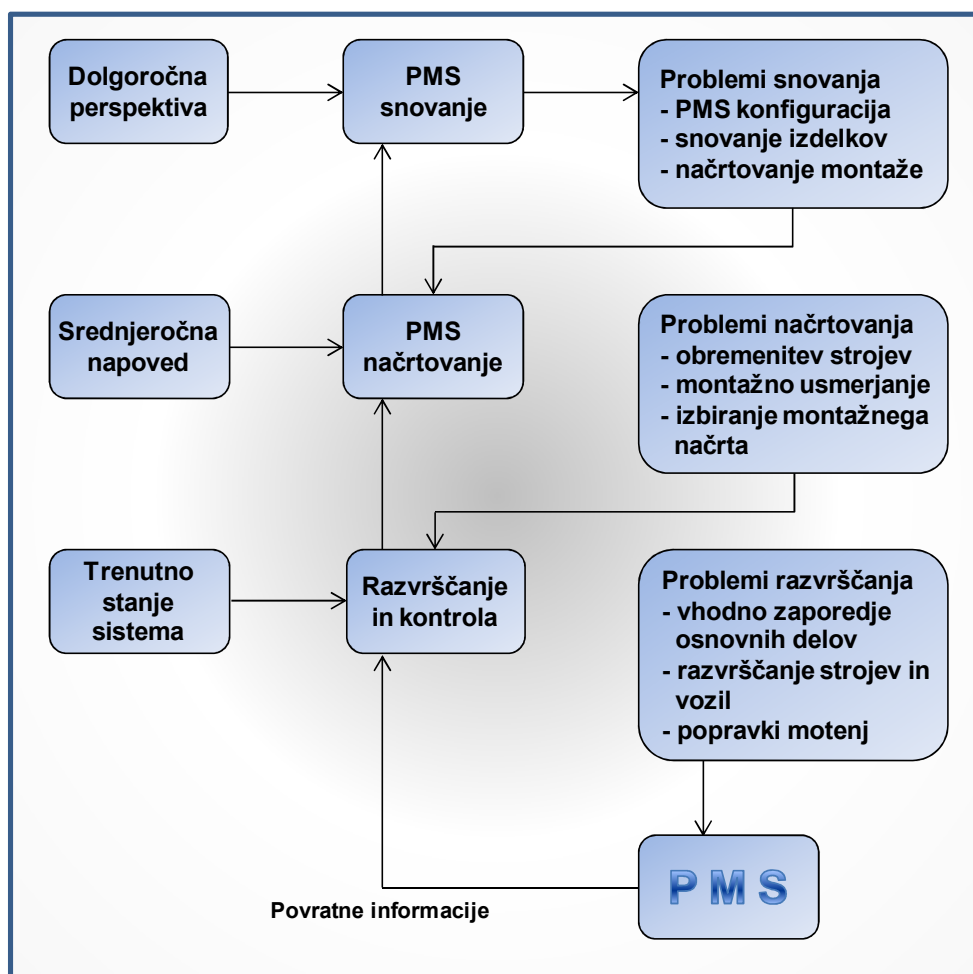
Snovanje (dolgoročni termin): problematika vključuje izbiro in postavitev prilagodljivih montažnih strojev, sistema rokovanja z materialom ter snovanja avtomatizirane montaže glede na izdelek. Te odločitve imajo običajno dolgoročne posledice in se zato izvajajo samo periodično.

Načrtovanje (srednjeročni termin): problematika se nanaša na dodeljevanje sredstev in vključuje zalaganje stroja in montažno usmerjanje. Montažni načrti za proizvode se lahko istočasno izbirajo.

Razporejanje in upravljanje (kratkoročni termin): problematika se nanaša na izvedbo proizvodnih naročil v kratkoročnem terminu in vključuje osnovno zaporedje vnosov,

razporejanje strojev in vozil, učinek sistema za nadzorovanje in sprejemanje potrebnih izboljševalnih ukrepov.

Upravljanje hierarhije na sliki 2.1 je možno obravnavati kot hierarhijo snovanja prilagodljivega montažnega sistema PMS z dvema operativnima stopnjama - načrtovanja in vodenja proizvodnje.



Slika 2.1: Načrtovanje in razvrščanje proizvodnje v PMS

Odločitve na ravni snovanja so vodene s strani strateških odločitev, ki vključujejo vprašanja, kot so utemeljitve prilagodljivih montažnih sistemov in dolgoročno konkurenčno prednost. Nastala zasnova pa bo vplivala na odločitve načrtovanja in razporejanja.

















2.2 Razdelitev montažnih sistemov

Splošno stanje oz. trend, je hiter napredek avtomatizacije, instrumentacije in električnih komponent ter sistemov [13]. Te komponente in sistemi nenehno in hitro napredujejo predvsem na področjih, kot so razmerje med ceno in zmogljivostjo ter velikostjo in zanesljivostjo delovanja. Ti napredki so predvsem očitni v primerjavi z napredki elektromehanskih komponent in človeške delovne sile. Montažne sisteme lahko razdelimo po stopnji avtomatizacije, stopnji fleksibilnosti, obliki organiziranosti in ureditve montažnih mest [5].

2.2.1 Stopnja avtomatizacije

Stopnja avtomatizacije pomeni delež avtomatiziranih operacij v montažnem sistemu in glede na to razlikujemo (slika 2.2):

- ročno,
- mehanizirano in
- avtomatizirano montažo.

Stopnja avtomatizacije montažnih sistemov				
naloge	ročno	mehani- zirano	avtomatizirano togo fleksib.	
izvor energije	 človek	 pogon	 pogon	 pogon
vodenje orodij	 človek	 človek	 stroj	 stroj
krmilje- nje proc.	 človek	 človek	 krmilje	 krmilje
nadzor in optimira- nje	 človek	 človek	 človek	 senzorji

Slika 2.2: Stopnje avtomatizacije v procesu proizvodnje [16]

2.2.2 Stopnja fleksibilnosti

S stopnjo fleksibilnosti definiramo sposobnost prilagajanja montažnega sistema spremenljivim zahtevam [5]. Te so lahko povezane s spremembo izdelka, montažnih funkcij in poteka montaže. Montažni avtomati omogočajo malo sprememb, so pa zaradi velikih

hitrosti zelo produktivni. Ročna montažna mesta so zelo prilagodljiva, vendar z majhno zmogljivostjo. Z uvedbo industrijskih robotov pa so visoko avtomatizirani sistemi postali tudi prilagodljivi.

2.2.3 Oblika organiziranosti in ureditve montažnih mest

Montažne sisteme lahko razdelimo na krajevno koncentrirano montažo ali na montažo, ki je porazdeljena na več montažnih mest oziroma postaj [5]. Montaža na objektu pomeni končno montažo velikih in težkih postrojov, ki jih je težko premikati po delavnici in v večini primerov pomeni montažo, ki se vrši na mestu kasnejše uporabe montiranega izdelka. Montaža na enem mestu prav tako ne predvideva premikanja objekta montaže in se izvaja na visoko specializiranih delovnih mestih. Vsi sestavni deli in orodja se dodajajo na montažno mesto. Danes so to predvsem montažne celice.

Če je montaža porazdeljena na več postaj moramo montažni objekt premikati med montažnimi postajami. Pretok materiala med posameznimi postajami je lahko časovno odvisen ali neodvisen. Pri časovno odvisni povezavi je lahko transport nepretrgan ali prekinjen. Pri montažnih progah pa se izdelek ustavlja na posameznih postajah, čas ustavitve pri togih progah je pogojen z najdaljšo montažno operacijo, pri elastičnih progah pa se neenakomernost montažnih časov izravnava z vmesnimi zalogami.

2.3 Načela avtonomnosti montažnih sistemov

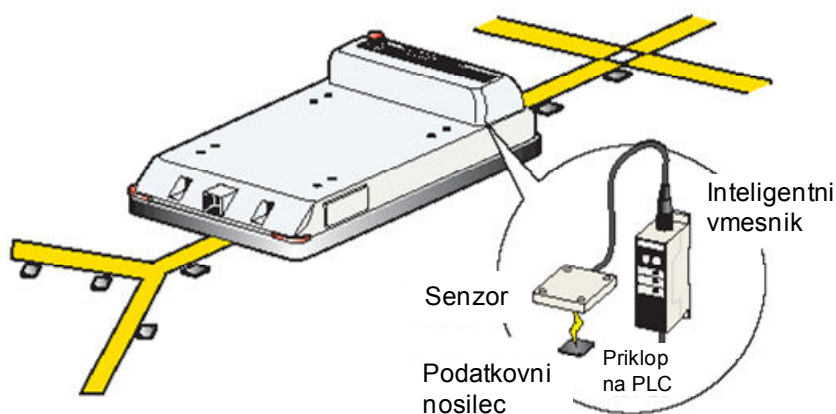
Avtonomija v splošnem pomeni neodvisnost sistema pri svojem odločanju in izvajanju ukrepov brez navodil ali pomoči od zunaj [31]. Primeri avtonomnih ali delno avtonomnih sistemov so avtonomne proizvodne celice, avtomatsko vodena vozila, mobilni avtonomni roboti, mobilne montažne postaje ali spretni roboti z inteligentnimi senzorji.

Avtonomija sistema pomeni dve osnovni značilnosti:

- Prva značilnost je neodvisnost od sosednjih sistemov in jo je mogoče doseči s povezovanjem montažnih oddelkov v podsisteme in module s standardiziranimi vmesniki.
- Druga značilnost je sposobnost samonadzora in zahteva decentralizacijo nadzornega sistema glede na razdrobljenost podsistemov in modulov.

2.3.1 Avtonomija fizičnih sistemov

Potreba po razvrščanju montažnih oddelkov v podsisteme in module je prišla v začetku leta 1990 [31]. Zaradi nihajočega povpraševanja, izdelkov po meri ni bilo več mogoče obdelati s tedanjim prilagodljivim obdelovalnim sistemom. Rekonfiguracija je bila realizirana z oblikovanjem avtonomnih montažnih celic povezanih v fleksibilni prometni sistem avtomatizirano vodenih vozil. Primer avtomatsko vodenega vozila (AGV) je prikazan na sliki 2.3. Takšen avtomatiziran montažni sistem se lahko hitro prilagodi na spreminjajoč se obseg proizvodnje in prodajnega programa.



Slika 2.3: Avtomatizirano vodenno vozilo AGV [11]

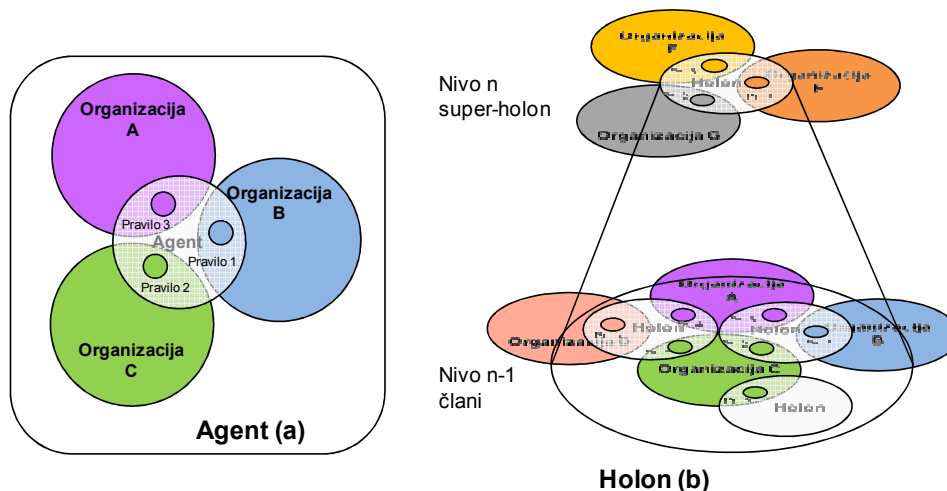
Poleg tega so bili razviti avtonomni roboti, ki so sposobni zaznavanja svojega okolja s pomočjo senzorjev in so sposobni uskladiti svoje delo z drugimi roboti in montažno opremo ter prilagoditi proces sestavljanja prihajajočim novim izdelkom (slika 2.4). Takšna stopnja avtonomije zahteva tudi senzorsko opremljena prijemala in manipulatorje, ki so sposobni delovati kot človeška roka.



Slika 2.4: Avtonomni roboti sposobni zaznavanja svojega okolja [21]

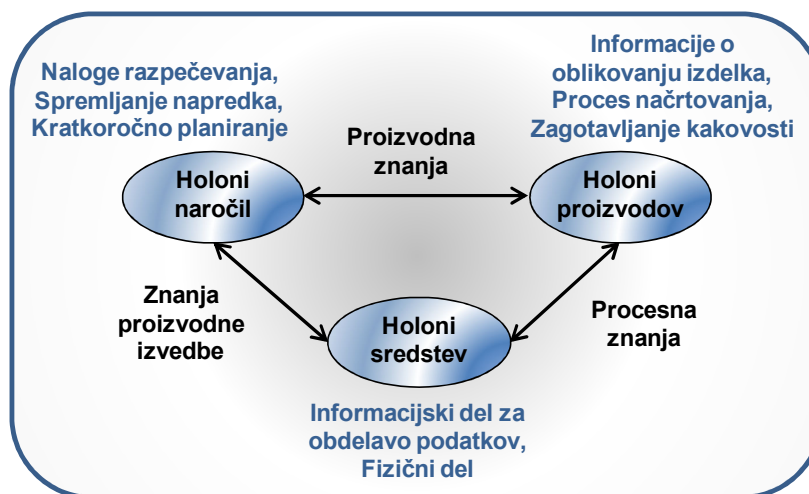
2.3.2 Avtonomija nadzornih sistemov

S prihajajočo potrebo po preoblikovanju proizvodnih sistemov ter s povezovanjem montažnih oddelkov v podsisteme in module so prišli v ospredje decentralizirani pristopi nadzora in nehierarhična (neurejena) struktura [31]. Za prisvojitve avtonomnega nadzornega sistema je zato postala nujna vpeljava inteligentnih nadzornih strategij. Večina raziskovalcev je uporabljala agentne ali večagentne strategije oz. holone, bodisi kot snovalne metafore, bodisi kot programske tehnologije ali kot simulacijske modele. Takšen pristop je bil spodbujen iz področja inteligentnega proizvodnega sistema in holističnega oz. celovitega proizvodnega sistema. Slika 2.5 prikazuje posplošeno razmerje med agentnim in holističnim sistemom.



Slika 2.5: Razmerje med agentnim sistemom in holističnim sistemom [14]

Holističen oz. celovit proizvodni sistem sestavljajo avtonomni in povezovalni agenti oziroma holoni in se opredeljujejo kot holoni sredstev, holoni proizvodov ter holoni naročil (slika 2.6).



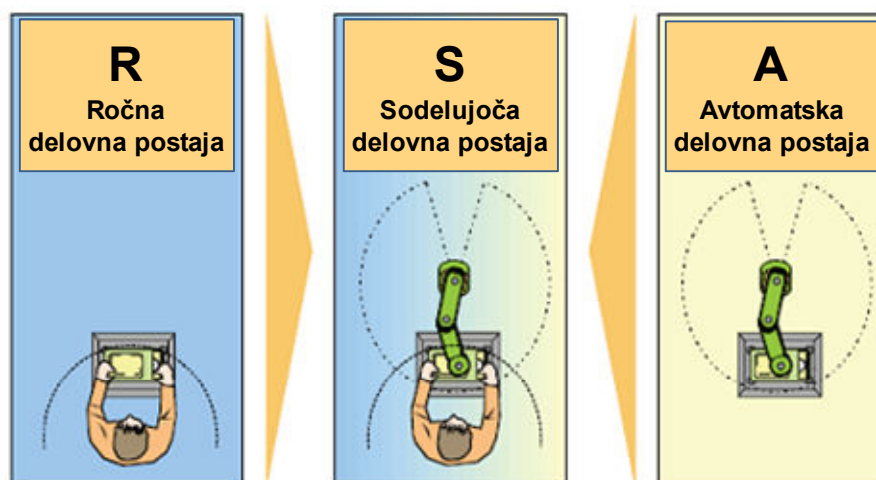
Slika 2.6: Referenčna struktura za holističen proizvodni sistem

Večagentni koncepti, ki se uporabljajo za decentraliziran montažni nadzor vključujejo zmogljiva sredstva z zmožnostjo načrtovanja in optimizacije ter preprosta sredstva z nekaj osnovnimi pravili. Inteligentna sredstva uporabljajo načrtovanje in heuristiko poznano iz centralnih kontrolnih sistemov kot so genetski algoritmi, nevronske mreže, mehka logika, itd. Avtonomni montažni sistem je zasnovan kot dinamični proces, ki se giblje po smernicah zahtev trga. Predpogoj za takšno dinamično prilagajanje montažne strukture in montažnega procesa so realno časovne povratne informacije fizičnega sistema. Za sledenju trenutnega stanja v montažnem sistemu se uporabljajo senzorji in njihova avtonomna sredstva za posredovanje aktualnih podatkov krmilnikom.

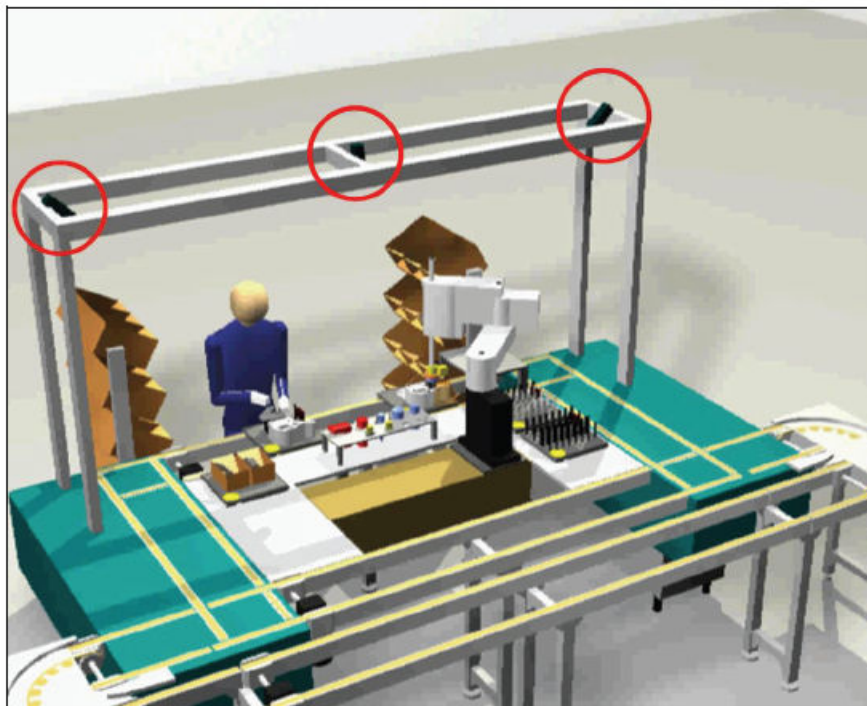
2.3.3 Avtonomni procesi v podsistemih

Montažne celice lahko v splošnem razvrščamo na ročne, avtomatske in hibridne celice [31]. Največja prožnost in prilagodljivost se lahko dosega z ročnimi montažnimi postajami, ki še vedno prevladujejo na mnogih področjih. Tipičen primer uporabe ročnih montažnih celic je končno sestavljanje avtomobilov v avtomobilski industriji. Učinkovitost ročnih montažnih postaj se lahko poveča z decentraliziranim pristopom oziroma z uvedbo samoorganizacije in samooptimizacije znotraj skupine.

Kombinacije avtomatiziranih in ročnih delovnih ciklov vodijo do tako imenovanih hibridnih montažnih sistemov (slika 2.7). Delavec prevzema zapletene montažne naloge, medtem ko se pretok materiala in ostale ustrezne naloge avtomatsko prenesejo na ločene celice. Hibridne ali sodelujoče celice združujejo natančnost in hitrost robotov s fleksibilnostjo in zanesljivostjo človeških delavcev (slika 2.8).



Slika 2.7: Hibridni montažni sistem je kombinacija ročne in avtomatske montažne delovne postaje

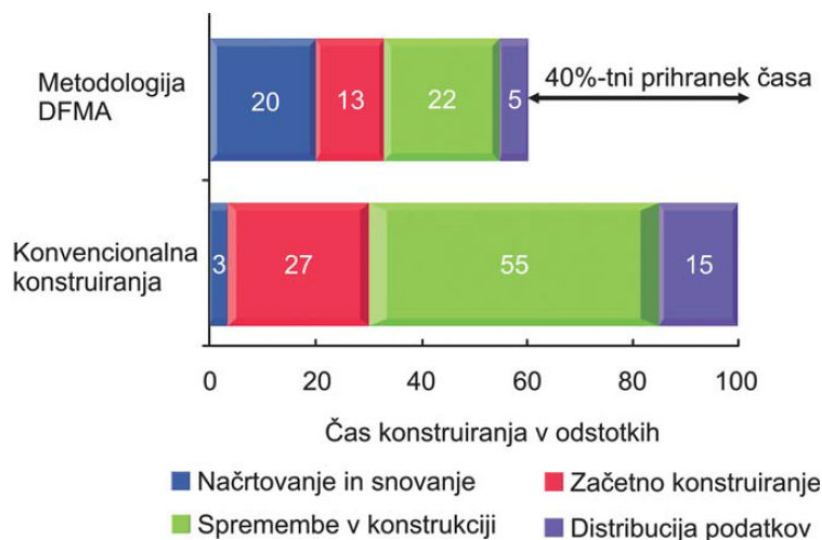


Slika 2.8: Kooperativno delovno mesto z lociranimi nadzornimi kamerami

2.4 Metodologija konstruiranja za proizvodnjo in montažo

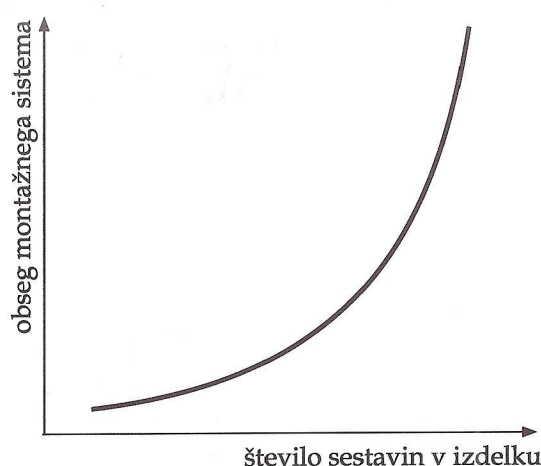
Konstruiranje za proizvodnjo in montažo "Design For Manufacturing and Assembly (DFMA)" je ena od metodologij in orodje, ki bo v prihodnosti zagotovo omogočalo "vitke" izdelke in procese od samega začetka z zniževanjem kratkoročnih stroškov in izboljšavo dolgoročne profitabilnosti [13]. Cilj uporabe DFMA je optimalna montaža, kar je doseženo z uporabo sofisticirane programske opreme že v zgodnji fazi načrtovanja in konstruiranja izdelka s ciljem zmanjšati število sestavnih delov in poenostaviti montažni proces ter vzdrževanje in obenem izboljšati kakovost izdelkov.

Na sliki 2.9 je prikazan primer, ki ponazarja časovni potek oz. trajanje posameznih faz v odstotkih, in sicer v primeru konvencionalnega procesa, ter pri uporabi metodologije DFMA, po kateri prihranimo do 40 % proizvodnega časa, vendar pa je zato več časa posvečenega načrtovanju in snovanju izdelka kot v primeru konvencionalnega proizvodnega procesa.



Slika 2.9: Skrajšanje časov in znižanje stroškov proizvodnega procesa z uporabo metodologije DFMA

Velik del stroškov pri izdelavi izdelkov nastane v fazi montaže in če je izdelek neprimerno zasnovan za fazo montaže (ima preveč sestavin, veliko perifernih naprav za strego in montažo), bi stroški montaže in strege lahko presegli celo 70% vseh izdelovalnih stroškov, obseg montažnega sistema pa bi bil zelo velik kot je razvidno iz slike 2.10 [5]. Prav zaradi tega se veliko pozornosti posveča k usmeritvi konstruiranje za montažo.



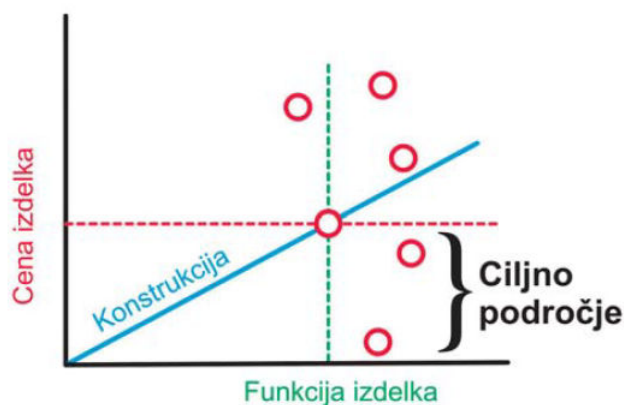
Slika 2.10: Vpliv števila sestavin izdelka na obseg montažnega sistema [5]

Zelo pomemben osnovni del proizvodnega sistema je skupina smernic oziroma pravil, ki so sestavljene za pomoč načrtovalcem po zmanjševanju stroškov in odpravljanju težav v proizvodnji in montaži izdelkov [7].

Deset pravil za pomoč načrtovalcem proizvodnim in montažnih sistemov:

- zmanjševanje skupnega števila sestavnih delov,
- razvoj modularnih konstrukcij,
- uporaba standardnih komponent,
- konstruiranje več funkcionalnih sestavnih delov,
- snovanje delov za večkratno uporabo,
- zasnova za enostavno izdelavo,
- izogibanje ločenim pritrdilnim elementom,
- zmanjševanje montažnih navodil,
- maksimiranje sporazumov med proizvodnim in montažnim sistemom in
- minimiziranje rokovanja z izdelkom med proizvodnjo in montažo.

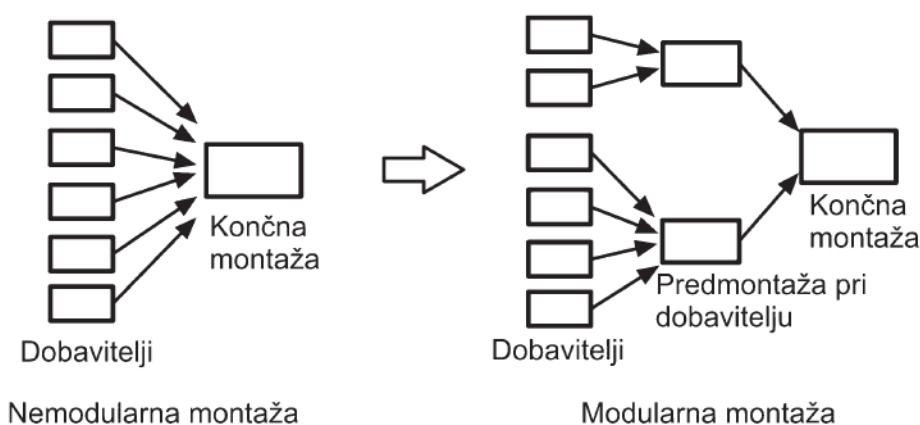
Eden najpomembnejših parametrov metodologije DFMA je cena končnega izdelka ali sestavnega dela, kar velja tudi v primeru individualiziranih izdelkov [13]. Pri tem je pomembno razmerje med stroški in funkcijo izdelka oz. sestavnega dela. Načrtovalci in konstruktorji izdelka morajo doseči optimalno točko, ko se srečata ciljni črti funkcije izdelka in stroški njegove izdelave (slika 2.11). Vsaka konstrukcija izdelka, ki seže preko teh dveh meja, je slaba. Optimalna konstrukcija sestavnih delov ali izdelkov zahteva doseganje meje funkcionalnosti brez dodatnih stroškov v proizvodnem procesu.



Slika 2.11: Optimalna cena in funkcija izdelka

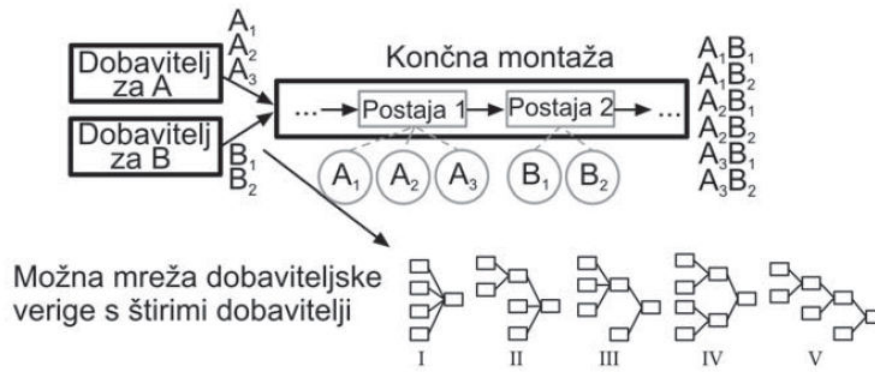
2.5 Princip mešanega modela montaže in modularne dobaviteljske verige

Metodologija mešanega modela omogoča znižanje investicijskih stroškov montažne linije z izvajanjem več različic izdelkov na isti montažni liniji kot tudi izravnavanje nihanja naročil posameznih različic izdelkov [13]. Pri visoki stopnji različic izdelka so zelo pomembni koncepti verige dobaviteljev sestavnih delov ali podsklopov. Na sliki 2.12 sta prikazana koncepta modularne in nemodularne dobaviteljske verige.



Slika 2.12: Nemodularna in modularna dobaviteljska veriga v montaži

V načinu modularne konfiguracije montaže se določeni podsklopi izdelkov montirajo že v predmontaži pri dobavitelju [13]. Tako pride do izvajalca končne montaže manjše število sestavnih delov, ker so dobavljeni že predmontirani podsklopi za končno montažo. Vse to zmanjša zapletenost procesa končne montaže, hkrati pa se del odgovornosti in rizika prenese na dobavitelja. Slika 2.13 prikazuje primer kombinacije montažne linije po načinu mešanega modela in montaže z modularno dobaviteljsko verigo ter petimi možnimi kombinacijami mrežne konfiguracije dobaviteljske verige s štirimi dobavitelji. Izdelek ima dve komponenti A in B, vsaka od njiju pa ima več različic. Izdelek A ima različice od A_1 do A_3 in izdelek B ima različici B_1 ter B_2 . Rezultat končne montaže so izdelki po meri, ki so nastali s kombinacijo variant vsake komponente, pri tem pa so možne različne kombinacije mreže dobaviteljskih verig.



Slika 2.13: Kombinacija principa mešanega modela montaže in modularne dobaviteljske verige

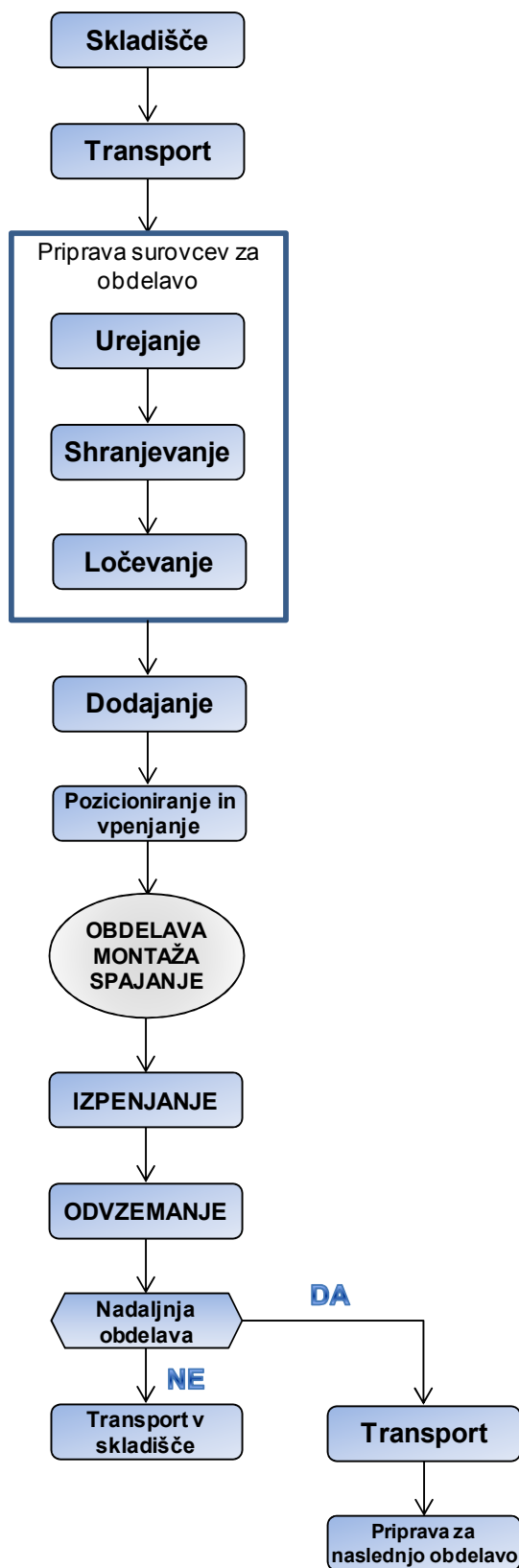
3 STREGA PRI NAPREDNIH MONTAŽNIH SISTEMIH

V današnji industriji je konkurenca zelo zahtevna, izdelki postajajo vse bolj prilagodljivi, da pritegnejo kupce, obenem pa se zahtevajo krajši obdelovalni časi, nižji proizvodni stroški in vedno boljša kakovost izdelkov [32]. Povečanje potreb kupcev po raznolikosti izdelkov močno vpliva na sistem dobave materiala in montažnih sistemov, ker prihaja do povečanja števila komponent. Zaradi številnih različic izdelkov se je tudi povečala kompleksnost materialnega toka, kar na postajah zahteva več delovnega prostora in potrebo po različnih montažnih orodjih.

Cilj avtomatizacije montaže in strege je na eni strani izdelati več, bolje in ceneje, ter na drugi strani humanizirati delo [16]. Vedno več naporov je vloženih v oblikovanje delovnih postopkov in naprav, ki razbremenjujejo človeku težka in zdravju škodljiva dela. Humanizacija dela omogoča tudi varnejše delo, zmanjšuje število nezgod in poklicnih obolenj. Izboljšanje delovnih razmer je mogoče doseči že z manjšimi vloženimi sredstvi v razvoj strežnih in montažnih naprav.

Področje strege in montaže je v zadnjih letih predmet široke inovacijske dejavnosti v neposredni proizvodnji. Poudarek je tako na posodabljanju obstoječih delovnih naprav kot na razvoju novih sodobno grajenih avtomatiziranih naprav. Tu gre predvsem za mehanizacijo in avtomatizacijo posameznih strežnih in montažnih funkcij.

S pojmom strega označujemo vrsto opravil vezanih na transport, pripravo in menjavo obdelovancev v procesu obdelave, montaže, varjenja, itd [16]. Primer razvrstitve strege v obdelovalnem procesu je prikazano na sliki 3.1.



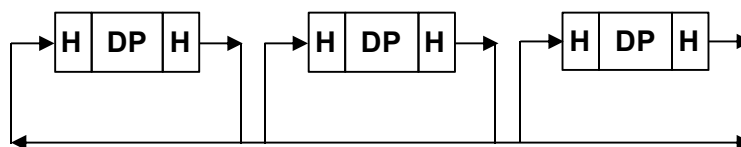
Slika 3.1: Razvrstitev strege v proizvodnem procesu

Strežni sistem je lahko pri avtomatizirani montaži izveden zelo raznovrstno, pri čemer je izvedba odvisna predvsem od [5]:

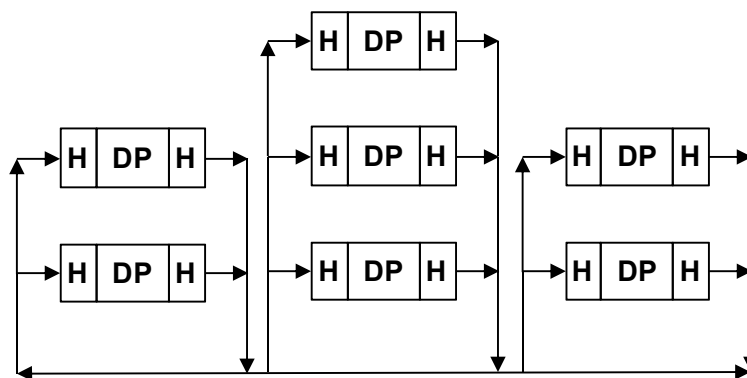
- izdelkov (dimenzija, različica, masa, kompleksnost),
- postopka izdelave (montaža, obdelava, preoblikovanje, varjenje),
- proizvodnje (število kosov, velikost serij, izdelovalni čas),
- prostorskih zmožnosti (tloris montažnih prostorov, možnost pretoka materiala),
- gospodarskega vidika (stopnja fleksibilnosti, stroški naložbe),
- humanizacije in varnosti dela.

3.1 Prostorska povezanost montažnih mest

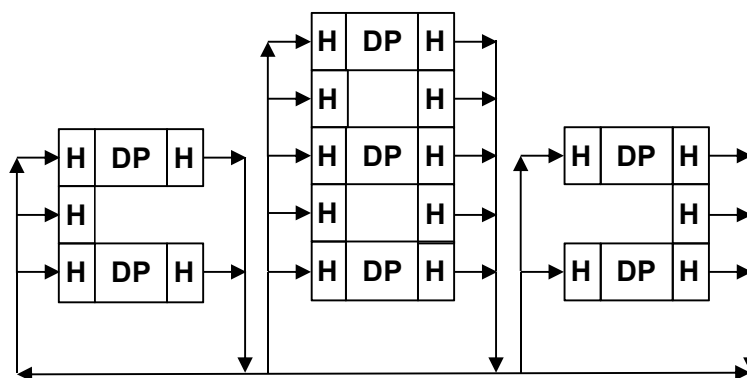
Prilagodljiv montažni sistem je mreža montažnih faz, kjer je vsaka faza sestavljena iz ene ali več vzporednih identičnih postaj, med seboj povezanih s transportnim sistemom (slika 3.2) [30]. Vsaka postaja ima omejen delovni prostor za podajanje sestavnih komponent in hranilnike za začasno skladiščenje izdelkov, ki čakajo na predelavo ali za prenos med postajami. Omejene zmogljivosti vmesnih hranilnikov pripomorejo k omejitvi povprečnega dela v procesu, kar je tipično merilo uspešnosti prilagodljivega montažnega procesa. Vendar v primeru, ko se pri montaži proizvoda izhodni hranilnik delovne postaje napolni, postane delovna postaja blokirana, četudi je vhodni hranilnik prazen. S tem se zmanjša propustnost delovnega sistema, kar je posledica različnih časov obdelave različnih vrst izdelkov na različnih montažnih postajah. V izogib temu se pogosto zunanji hranilniki med montažnimi postajami združijo in se v nekaterih primerih takšna rešitev lahko smatra kot neskončni izhodni hranilnik. Na slikah 3.2, 3.3 in 3.4 so prikazani različni primeri konfiguracij prilagodljivih montažnih sistemov s samostojnimi ali vzporednimi delovnimi postajami DP ter z enojnimi ali večkratnimi hranilniki H.



Slika 3.2: Prilagodljiv montažni sistem z enojnimi postajami in enojnimi hranilniki



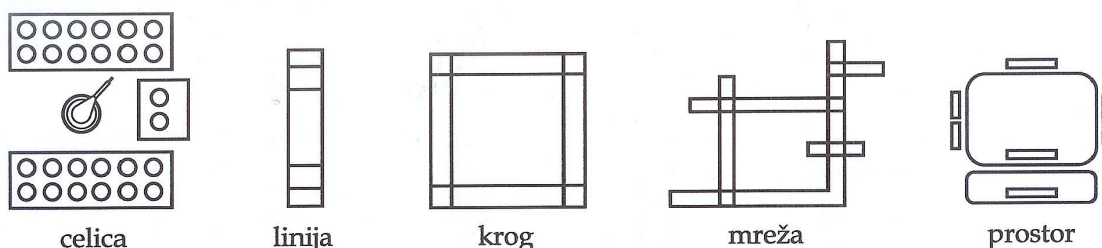
Slika 3.3: Prilagodljiv montažni sistem z vzporednimi postajami in enojnimi hranilniki



Slika 3.4: Prilagodljiv montažni sistem z vzporednimi postajami in večkratnimi hranilniki

Osnovne prostorske povezanosti montažnih mest so v obliki celice, linije, kroga, mreže in prostora kot je razvidno iz slike 3.5.

Pri celičnih obdelovalnih sistemih so montažne operacije na enem stroju ali skupini strojev s centralno strežno napravo [5, 16]. Delovni postopki so zapleteni zaradi omejenosti z delovnim prostorom, orodji, delovnimi enotami in možnostjo zamenjave obdelovancev. Pri velikoserijski in masovni proizvodnji se največkrat uporabljata linijska in krožna postavitve delovnih mest. Zanju je značilno togo zaporedje. Mrežna in prostorska postavitve sta najbolj prilagodljivi in omogočata postavitve prilagodljivih montažnih sistemov.



Slika 3.5: Prostorska povezanost delovnih mest

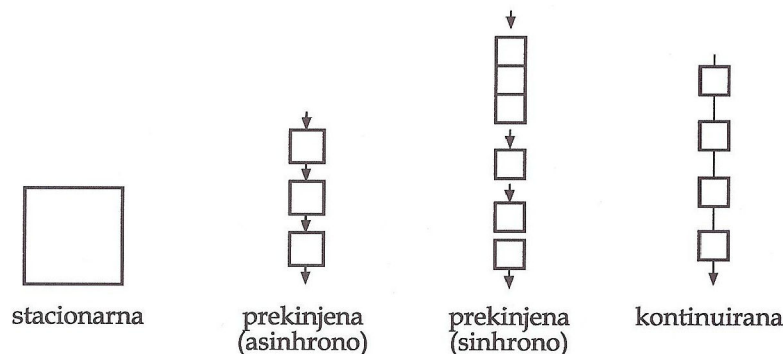
V linijskih in krožnih izdelovalnih sistemih so delovna mesta urejena po opravilih, ki se izvajajo na posameznih delovnih mestih in so postavljena ob strežnem sistemu. Zanju je značilno togo zaporedje. Obseg dela na delovnih postajah je časovno usklajen in se najpogosteje uporablja pri velikoserijski ter masovni proizvodnji. Najbolj pogosto se izdelujejo stroji s kombiniranim linijskim in krožnim prenosom.

Mrežna in prostorska postavitve sta najbolj prilagodljivi različici in omogočata prosto izbiro vrstnega reda montažnih operacij oz. procesov, kakor tudi povezanost v računalniško voden proces. Montažne celice, povezane s transportnim sistemom v smiselno celoto, so osnova prostorske strukture.

3.2 Časovna povezanost montažnih mest

Časovna povezanost delovnih mest je lahko nepretrgana ali prekinjena (slika 3.6) [5].

Pri celični povezavi se lahko produktivnost montaže zmanjšuje zaradi dolgih dodatnih časov ki naj bodo za zamenjavo orodij in obdelovancev čim krajši.



Slika 3.6: Časovna povezanost delovnih mest

V linijskih sistemih je montažni čas pogojen z najdaljšim časom delovnih postaj in časom potrebnim za premik obdelovancev med delovnimi mesti. Pri prekinjenih linijskih prenosih se obdelovanci med delovnimi mesti premikajo sinhrono ali asinhrono.

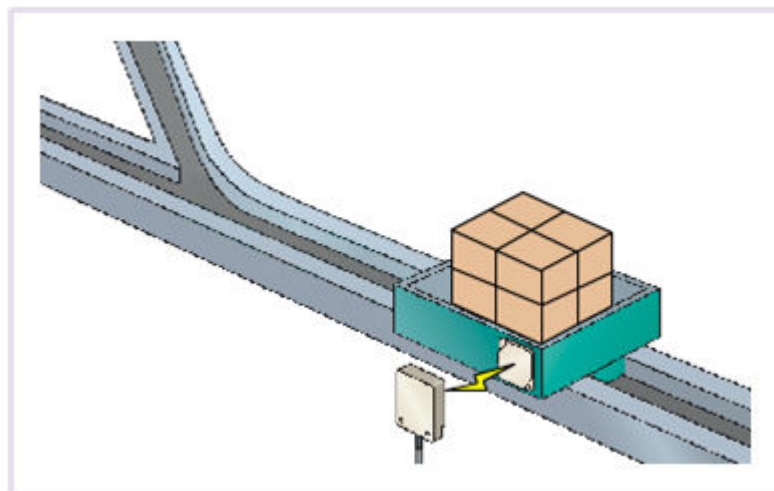
Pri sinhronskih linijskih in krožnih prenosih je značilnost toge povezave delovnih mest, kjer se obdelovanci premikajo istočasno. Istočasen je tudi začetek delovnih operacij, pri napaki na enem delovnem mestu se ustavi celotna linija oziroma stroj. Pri asinhronskih prenosih pa posamezna delovna mesta niso povezana, delovne operacije se na posameznih mestih ne izvajajo istočasno, obdelovanci pa med postajami lahko čakajo. Zelo velika prednost takšnega

sistema je, da pri motnji na eni izmed delovnih postaj ni nujna ustavitev celotnega sistema zato jih imenujemo tudi elastične izdelovalne linije.

3.3 Usmerjanje in transport

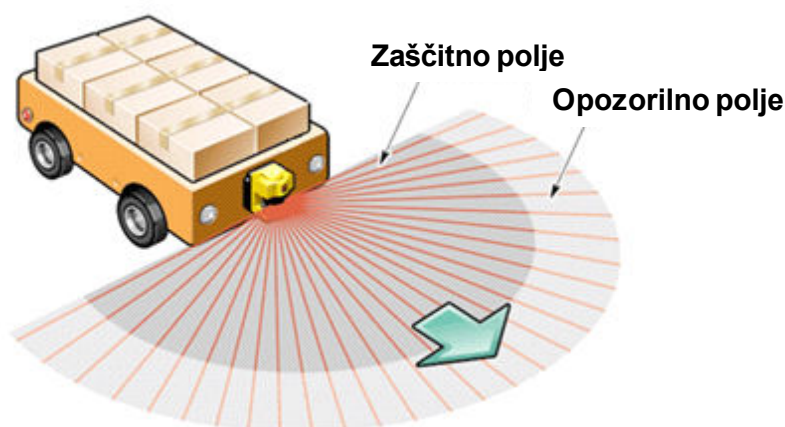
V preteklosti sta si stopnja avtomatizacije in fleksibilnost nasprotovali, z uvajanjem programabilnih krmilnih sistemov, numerično krmiljenimi stroji in razvojem robotike pa so se tudi sistemi z visoko stopnjo avtomatizacije sposobni prilagajati spremembam [16]. Osnova fleksibilnih sistemov so fleksibilne obdelovalne celice povezane z ustreznim transportnim sistemom. Pretok materiala skozi montažni sistem je mogoče razvrstiti na transport (delno sestavljenih) izdelkov od postaje do postaje ali od celice do celice in na transport delov in orodij na postaje ali celice [31]. Materialni pretoki v montažnih sistemih vključujejo tudi notranji transport znotraj celic in podajanje sestavnih delov.

Avtomatski transportni vozički imajo polno kontroliran sistem vodenja, razporejanja, usmerjanja in izogibanju drugim vozičkom pred trki [31]. Pomikajo se po mrežno postavljenih tračnicah ali vodilih sestavljenih iz množice pogonskih enot. Vozički so povsem pasivni in so vodeni pod nadzorom pogonskih enot. Za usmerjanje se uporablja algoritem, ki ne zahteva globalnega zemljevida prometnega omrežja. Tračnično in komunikacijsko omrežje sta združeni v zvezo kombinacij stopenjskega sistema in nadzora vozila za doseg na eni strani visoke hitrosti vozil s kratkimi odzivnimi časi in po drugi strani samonastavljiv, razširljiv in popolno nadzorovan sistem. Na sliki 3.7 je prikazan sistem z visokohitrobnim sortirnim tirničnim vozičkom in z identifikacijskim bralnikom.



Slika 3.7: Sistem z visokohitrobnim sortirnim tirničnim vozičkom in z identifikacijskim bralnikom [20]

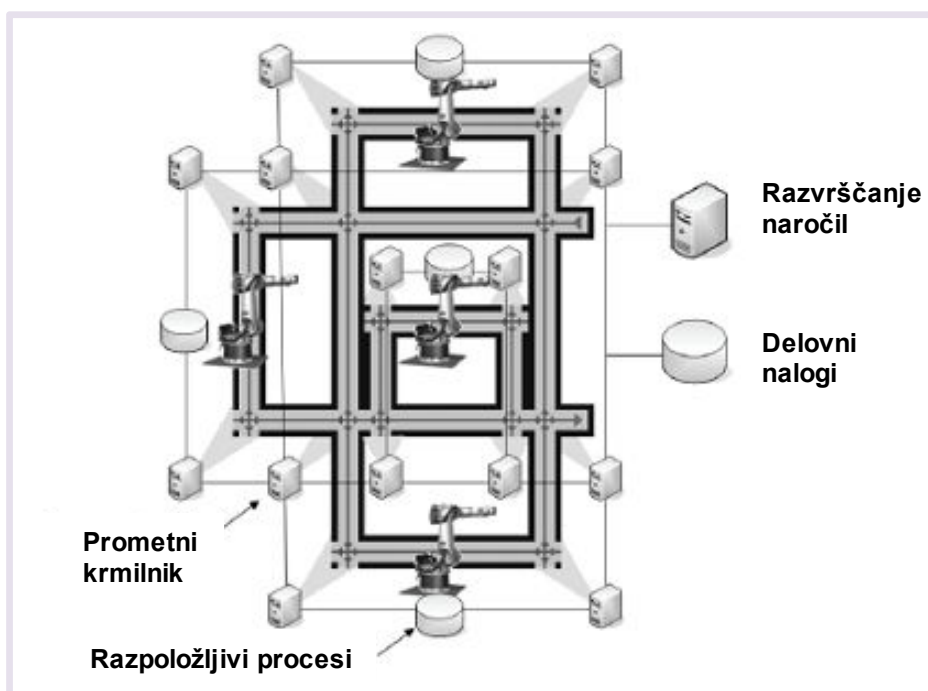
Avtomatsko vodena vozila (ang. kratica AGV za Automated Guided Vehicles) imajo sistem s porazdeljenim in decentraliziranim nadzorom. Avtomatsko vodena vozila se samostojno odločajo o svojih poteh za dostavo sestavnih delov montažnim postajam ali celicam [31]. Vozila imajo laserske skenerje za določanje svojega položaja v delovnem okolju in infra rdeče senzorje za prepoznavanje ovir na poti. Vsak AGV ima svoj nadzorni sistem, ki ne upravlja le s funkcijo usmerjanja in nadzora nad vozilom, ampak sprejema odločitve in koordinacijske naloge za obdelavo transportnih naročil, da se izogne trčenju z drugimi avtomatsko vodenimi vozili (slika 3.8). Za razporejanje potnih nalogov se uporabljajo povezovalna sredstva, ki realno – časovno komunicirajo med avtomatsko vodenimi vozili in montažnimi postajami ter razporejajo transportna naročila tako, da so vsa avtomatsko vodena vozila enakomerno v uporabi. Takšen sistem, ki bazira na avtonomnosti avtomatsko vodenih vozil dosega visoko in konstantno izrabo vozil, tudi v zelo dinamičnem delovnem okolju in lahko avtonomno nadomesti morebitno okvaro enega izmed avtomatsko vodenih vozil.



Slika 3.8: Avtomatizirano vodeno vozilo [23]

Avtonomni decentralizirani in samo organizacijski modularni sistem je sistem za pretok materiala, ki je zmožen delovati po načelu "vklopi in izdeluj" in deluje na principu avtonomnih modulov (slika 3.9) [31]. Vsak modul avtomatično poseduje informacije vseh drugih modulov v sistemu in način njihove vezave. Moduli, ki se dodajo ali odstranijo jih sistem prepozna avtomatično. Poleg tega so delovni nalogi in sezname obdelovalnih procesov delovnih postaj na voljo na vseh stikih sistema za pretok materiala. Z uporabo teh podatkov so pretočna križišča sposobna določiti naslednji obdelovalni korak prihajajočega sestavnega dela in poiskati naslednjo primerno delovno postajo. Za identifikacijo vsakega sestavnega dela posebej se lahko uporabijo aktivne in pasivne identifikacijske naprave. Aktivne identifikacijske naprave se uporabljajo, če želimo hraniti podatke izdelkov in obdelav na

sestavnem delu, v nasprotnem primeru, pa se pasivne identifikacijske naprave uporabljajo za posredovanje identifikacijske številke v bazo podatkov, kar pomeni, da je potrebna povezava z bazo podatkov za pridobitev ustrezne informacije. Križišča materialnih tokov aktivno nadzirajo in usmerjajo transportirajoče sestavne dele. Vsebujejo vhodne in izhodne enote in usmerjevalnik za nadzor delov od vhodnih vrat do avtomatsko izbranih izhodnih vrat. Usmerjevalnik identificira sestavne dele in prebere potrebne informacije za določitev končne delovne postaje.



Slika 3.9: Avtonomni decentralizirani in samo organizacijski modularni sistem

3.4 Načini prenosa obdelovancev oziroma sestavnih delov

Sestavni deli oziroma obdelovanci med prenosom lahko [5]:

- vpeti in pozicionirani na prenosni napravi (krožni prenos),
- vpeti oziroma pozicionirani na paletah ter
- pozicionirani na prenosni napravi (prenašanje brez palet).

Pri krožnem prenosu so sestavni deli vpeti in pozicionirani v vpenjalnih napravah na delilni mizi, vpenjanje pa je lahko ročno ali mehansko. Na delilni mizi je vsaj eno mesto predvideno za dodajanje in odzemanje sestavnih delov oziroma obdelovancev. Število postaj je odvisno

od potrebnih operacij za obdelavo ali sestavo števila kosov na časovno enoto ter prostora, ki ga delovne postaje zavzemajo ob delilni mizi in nad njo.

Palete so vpenjalni pripomočki, ki nosijo sestavne dele med posameznimi delovnimi postajami. Sestavni deli so na paletah pozicionirani, lahko tudi vpeti. Palete se skupaj z obdelovanci oziroma sestavnimi deli pozicionirajo ali vpnejo na posameznih delovnih mestih. Način pozicioniranja je odvisen od načina vodenja in prenosa palet.

V linijski proizvodnji so palete primerne predvsem za obdelovance, ki so elastični in jih je težko pozicionirati ali za sklope, ki še niso povezani med seboj. V velikoserijski proizvodnji so vpenjalni pripomočki namensko narejeni, premikanje palet pa se vrši s potiskanjem po vodilih.

Brez palet je možno prenašati obdelovance z zadovoljivo togostjo in ustrezno obliko. V glavnem so to škatlasti obdelovanci (ohišja), ojnice, ročične gredi, puše, itd. Obdelovanec naj bo oblikovan tako, da ima ustrezno togost. Pri oblikovanju izdelka za prenos brez palet je potrebno predvideti vpenjalne in pozicionirne površine za pozicioniranje obdelovanca na obdelovalnih postajah in na prenosni napravi.

Prenos obdelovancev in palet z obdelovanci je lahko:

- s potiskanjem po vodilih,
- z nošenjem,
- s prijemanjem in
- z drsenjem zaradi teže.

Pri prenosu s potiskanjem po vodilih kjer obdelovanec ali paleta z obdelovancem leži na vodilih, prenosni drog ali posebno prijemalo pa premakne vse palete istočasno za delitev naprej.

Prenos z nošenjem je primeren takrat, ko med posameznimi delovnimi mesti ni možna namestitev vodil ali pa želimo zmanjšati obrabo. Sestavni deli oz. obdelovanci med prenosom ležijo na prenosni napravi, ko jih ta dvigne iznad pozicionirnih površin. Pri takšni izvedbi je potrebno posvetiti posebno pozornost teži obdelovancev, usmerjenosti vpenjalnih sil in čiščenju pozicionirnih površin.

Pri prenosu s prijemanjem se obdelovanec prime z zgornje strani s prijemalom pritrjenem na prenosnem sistemu. Prostorsko so takšne izvedbe zelo neugodne, zato se daje prednost prejšnjim izvedbam.

Pri prenosu z drsenjem se obdelovanci oz. sestavni deli premikajo po gladki strmini ali valjih postavljenih poševno. Takšna vrsta prenosa se običajno uporablja na začetku in na koncu linije pri elastičnih linijah z elevatorji.

3.4.1 Dodajalne naprave

Dodajalne naprave se uporabljajo v montaži predvsem za prijemanje natančno pozicioniranih delov, prenašanje teh delov po natančno pozicioniranih delov, prenašanje teh delov po natančno določeni poti na vnaprej predvideno mesto [5].

Pri načrtovanju strežnih in montažnih gibov je potrebno posvetiti posebno pozornost smeri montaže in strege. Vertikalna in bočna smer sta najugodnejši, manj primerna pa sta strega in montaža v smeri tangencialno na delilno mizo, oziroma v smeri transportnega traku. Izogibamo se dodajanju od sredine delilne mize navzven. Dodajalne naprave omogočajo nastavitve dolžine giba in hitrosti pri vgraditvi ter delujejo po vnaprej določenem togem programu. Za avtomatizacijo in mehanizacijo montaže je danes na trgu veliko dodajalnih naprav (manipulatorjev), zgrajene so pa modularno in omogočajo linearne in rotacijske gibe. Funkcionalni del manipulatorjev so prijemale, ki sestavni del primejo in ga med prenašanjem varujejo.

3.4.2 Urejevalne naprave

Osnovne načine urejevalnih naprav lahko razdelimo glede na vrsto proizvodnje (masovna ali serijska) na pet skupin [5]:

- urejanje in dodajanje z avtomatskimi urejevalniki, ročno urejanje in hranjenje v šaržerjih,
- ročno urejanje in hranjenje na paletah,
- neurejeno,
- dodajanje delov na nosilnem traku.

Pri fleksibilnih montažnih sistemih se za urejanje sestavnih delov uporabljajo fleksibilne urejevalne naprave, izbira se lahko med več nivojskimi bunkerji, protismernimi tračnimi

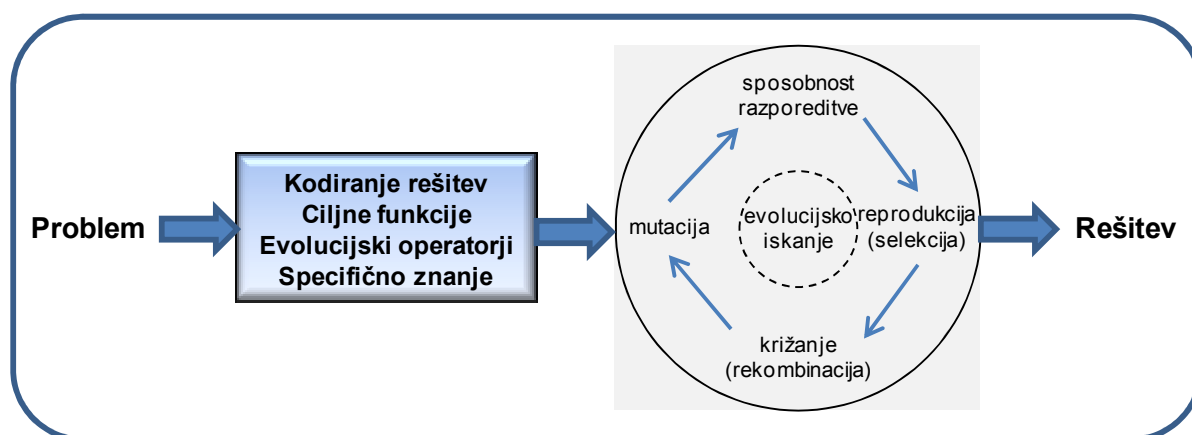
urejevalniki in optičnim urejevalnim sistemom. V računalniško vodeni proizvodnji in tam, kjer je prevoz s paletami urejen, se dodaja do montažnega mesta tudi obdelovance s paletami, kar je primerno predvsem za večje in težje dele. Za tanke in ploščate dele je primernejše hranjenje v šaržerjih, urejanje je ročno, lahko pa se jih že dobi v šaržerjih iz prejšnjega obdelovalnega mesta.

Pri avtomatizaciji urejanja in dodajanja so se uspešno uveljavili vibracijski bunkerji, ki so s svojimi specifičnimi lastnostmi primerni predvsem za urejanje pri namenskih montažnih strojih in sistemih.

Napredni urejevalni sistemi, ki so neposredno vključeni v montažni sistem so podkrepjeni s strojnimi vidom in ustrezno računalniško opremo.

4 PREGLED NEKATERIH SODOBNIH EVOLUCIJSKIH ALGORITMOV

Težave povezane pri uporabi matematičnih optimizacij na obsežnih inženirskih problemih so prispevale k razvoju alternativnih rešitev kot so uporaba evolucionjskih algoritmov pri iskanju najbolj optimalnih rešitev [10]. Evolucionjski algoritmi so stohastične metode iskanja, ki posnemajo podobo naravne biološke evolucije in / ali družbeno vedenje vrst. Na sliki 4.1 je prikazan način reševanja z evolucionjskim pristopom.



Slika 4.1: Iskanje rešitve z evolucionjskim pristopom [24]

Evolucionjski algoritmi delujejo na množico oz. populacijo možnih rešitev, ki uporabljajo načelo preživetja najmočnejšega ter proizvesti boljše in boljše približke do rešitve [24].

Slika 4.2 prikazuje splošen shematski prikaz evolucionjskega algoritma z osnovnim psevdokodi zapisom. Reševanje se prične z ustvaritvijo naključne populacije rešitev $P(t)$, kjer je spremenljivka t čas ali števec generacij [4]. Vsaka točka oziroma organizem predstavlja bolj ali manj točno rešitev problema. Sledi ovrednotenje organizmov in tistim, ki so bolj prilagojeni okolju podelimo večjo verjetnost, da sodelujejo pri operacijah selekcije in spreminjanja.

S selekcijo se zagotovi preživetje bolj uspešnih članov populacije in njihovo napredovanje v nespremenjeni obliki v naslednjo generacijo. S spreminjanjem vplivamo na enega ali več organizmov in iz njih ustvarjamo nove potomce in tako ustvarimo novo generacijo, ki se jo ponovno ovrednoti. Postopek se ponavlja tako dolgo, da se izpolni ustavitveno merilo postopka, kar je lahko predpisano število generacij ali pa zadostna kakovost rešitve.

Evolucijski algoritem

$t := 0$

ustvari začetno naključno populacijo organizmov $P(t)$

ovrednoti $P(t)$

ponavljaj

spreminjaj $P(t) \rightarrow P(t+1)$

ovrednoti $P(t+1)$

$t := t + 1$

dokler ni izpolnjeno ustavitveno merilo

konec

Slika 4.2: Shematski prikaz evolucijskega algoritma z osnovnim psevdokodi zapisom [4]

V vsaki generaciji se ustvari nov sklop približkov po postopku izbire posameznikov glede na njihovo prilagodljivost v problemskem področju in se jih vzgaja z uporabo operatorjev sposojenih iz naravne genetike [24]. Takšen proces vodi do razvoja populacij posameznikov, ki so bolj prilagojeni na svoje okolje, kakor posamezniki, ki so bili ustvarjeni in vzgajani samo po naravni poti brez uporabe genetike. Evolucijski algoritmi posnemajo naravne procese kot so reprodukcija (selekcija), križanje (rekombinacija), mutacija ter lokalne in okoliške migracije. Evolucijski algoritmi delujejo na populacijo in ne na posameznike.

Veliko optimizacijskih problemov v proizvodnih sistemih je zelo kompleksnih in zelo težko rešljivih s klasičnimi optimizacijskimi tehnikami [12]. Evolucijski algoritem pogosto presega klasične metode optimiranja, še posebej kadar se le-te uporabljajo za reševanje zelo težkih problemov. Danes je poznanih več vrst metod uporabe evolucijskih algoritmov, najpomembnejše med njim pa lahko razdelimo na:

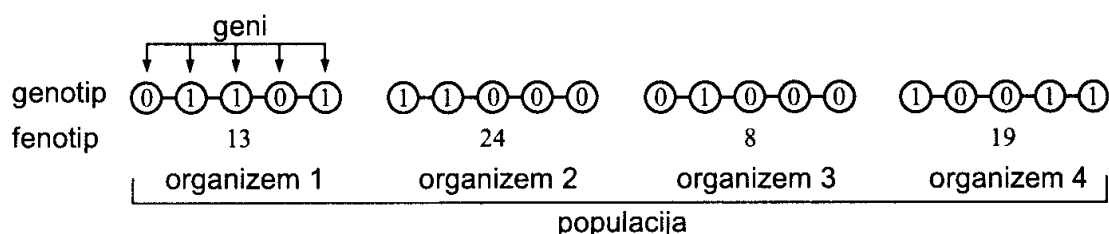
- genetske algoritme (GA),
- genetsko programiranje (GP),
- evolucijske strategije (ES),

- evolucijsko programiranje (EP),
- memetski algoritmi (MA),
- diferencialna evolucija (DE),
- optimizacijo z rojem delcev (PSO),
- optimizacijo s kolonijo mravelj (ACO).

4.1 Genetski algoritmi

Genetski algoritmi GA (ang. Genetic Algorithms) veljajo za doslej najbolj uveljavljen način evolucijskega računanja [36]. Pri optimizaciji z genetskim algoritmom gre za računalniško posnemanje izbora najboljših z naravno selekcijo, namenjen je predvsem reševanju problemov, pri katerih so objekti optimizacije predstavljeni z velikim številom spremenljivk. Zaradi podobnosti med genetskim algoritmom in naravno selekcijo, je tudi izrazoslovje, ki se uporablja, vzeto iz besednjaka genetikov.

Genetski algoritmi so poseben primer metod evolucijskega računanja, pri kateri so organizmi sestavljeni na razmeroma preprost način [4]. Populacija je sestavljena iz organizmov. Organizmi so točke v prostoru rešitev s koordinatami, ki jim pravimo tudi geni. Značilnost konvencionalnih genetskih algoritmov je, da so organizmi kodirane vrednosti spremenljivk stroškovne funkcije, najbolj razširjeno je kodiranje spremenljivk v dvojiške nize konstantne dolžine. Nizi predstavljajo strukturo, ki je podvržena adaptaciji. Dolžino organizmov določimo glede na velikost intervala, na katerem iščemo rešitev in glede na želeno ločljivost spremenljivk. Dvojiško predstavitev organizma imenujemo genotip, dejansko vrednost organizma pa fenotip. Slika 4.3 prikazuje populacijo štirih organizmov. Vsakega posameznika sestavlja pet genov. Genotip organizma 1 je 01101, fenotip pa 13.



Slika 4.3: Shematska zgradba populacij genetskega algoritma

Vsak organizem vsebuje več individualnih struktur, ki se imenujejo geni. Vsak gen določa posebno značilnost organizma [12]. Geni določajo tudi lokus (položaj genov) znotraj strukture

organizma in kakšne posebnosti naj geni predstavljajo. V posebnem lokusu lahko geni določajo nekaj ali več različnih vrednosti določenih karakteristik, ki jih predstavljajo. Različne vrednosti genov se imenujejo alele.

Genetski algoritem rešitve kreira tako, da realno rešitev binarno kodira, nato pa z operatorji mutacije in križanja spreminja posamezne bite v binarni predstavitvi [35]. Operator mutacije navadno deluje uniformno naključno nad vsakim bitom binarno kodiranega iskalnega parametra v posamezni rešitvi. Operator križanja pa združi posamezne iskalne parametre iz več posameznikov (staršev) v novega posameznika, tako da jemlje nekaj bitov iz vsakega od staršev.

4.2 Genetsko programiranje

Genetsko programiranje GP (ang. Genetic Programming) je razširitev genetskih algoritmov in je ena najsplošnejših metod evolucijskega računanja [4]. Osnovne strukture genetskega programiranja so adaptirani in hierarhično organizirani računalniški programi, ki se jim med evolucijo dinamično spreminjata velikost ter oblika. Sestavljajo jih geni, ki so lahko funkcije in terminali in imajo najrazličnejši pomen. Zato so organizmi pri genetskem programiranju informacijsko zelo bogati in nadvse različni.

Cilj genetskega programiranja je iz hiperprostora računalniških programov, ki obdelujejo proučevano problematiko, najti tisti program, ki najbolje reši postavljeno nalogo.

4.3 Evolucijske strategije

Evolucijske strategije ES (ang. Evolutionary Strategies) se uporabljajo predvsem za optimiranje realnih funkcij, zato so prevladujoče oblike rešitev vektorji realnih števil [34].

Glavna razlika v primerjavi z genetskimi algoritmi je ta, da metoda evolucijskih strategij poudarja fenotip posameznika, izpušča pa kakršnokoli dodatno kodiranje. Zaradi tega morajo metode križanja in mutacije spreminjati realne vrednosti atributov in ne abstraktno kodiranih opisov.

Takšni fenotipsko usmerjeni pristopi omogočajo nadaljnjo optimizacijo spreminjajočih operacij. Še posebej pri realno številskih atributih so bili operatorji mutacije predlagani za samodejno sprejemanje velikosti in smeri mutacij glede na lokalno topologijo iskalnega prostora. Parametri, ki določajo lastnosti mutacij se imenujejo strateški parametri, atributi

rešitev pa se imenujejo parametri odločanja. Evolucijske strategije pa lahko optimirajo tako strateške parametre, kakor parametre odločanja.

4.4 Evolucijsko programiranje

Evolucijsko programiranje EP (ang. Evolutionary Programming) se uporablja za razvoj inteligentnih sistemov (napredovanje sprememb v okolju) s pomočjo simulirane evolucije. Danes se največ uporablja kot večnamenska optimizacijska metoda [4].

Okolje predstavlja vhodno zaporedje simbolov iz abecede s končnim številom znakov, algoritem pa mora na osnovi vhodnega zaporedja napovedati nov izhodni simbol. Izhod vpliva na stroškovno funkcijo, ki meri točnost napovedi.

Pri evolucijskem programiranju, podobno kot pri evolucijskih strategijah se najprej ustvarijo potomci, nato pa se izberejo posamezniki za naslednjo generacijo. Variiranje rešitev se izvaja samo z mutacijo. Z mutiranjem populacije se dobijo potomci tako, da vsak starševski organizem prispeva po enega. Ti potomci se ovrednotijo in sledi izbor članov za naslednjo generacijo.

4.5 Memetski algoritmi

Memetski algoritmi MA (ang. Memetic Algorithms) združujejo različne metode učenja, ki se ukvarjajo s strojnim učenjem kot so metode učenja populacije, vseživljenjsko učenje in kulturno učenje [15]. Učenje populacije predstavlja razvijanje populacije skozi generacije, kjer se učenje izvaja s prenašanjem genoma uspešnih posameznikov v naslednjo generacijo. Pri vseživljenjskem učenju posamezniki pridobivajo znanje skozi življenjsko dobo z lokalnim iskanjem in lahko pridobljeno znanje predajo potomcem ali pa ne. Pri kulturnem učenju se pridobljeno znanje preda nadaljnjim generacijam.

Memetski algoritem je v osnovi podoben genetskim algoritmom, s to razliko, da elementi, ki tvorijo kromosome niso imenovani *geni*, ampak *memi* [10]. Edinstvena lastnost memetskih algoritmov je ta, da je vsem kromosomom in potomcem dovoljeno pridobivati izkušnje skozi lokalno iskanje predno so podvrženi evolucijskemu procesu.

Memetski algoritmi so od svoje predstavitve leta 1989 občutno napredovali [15]. V prvi generaciji je bil poudarek na mešanju tehnik globalnega iskanja (učenje populacije) s tehnikami lokalnega iskanja (vseživljenjsko učenje), vendar tukaj notacija *mema* ni bila preveč razvidna. V drugi generaciji je bilo dodanih več strategij za lokalneboljšave rešitev

problema. V tem primeru *mem* predstavlja strategijo učenja, ki je uporabljena za izboljšave posameznikov. Tretja generacija memetskih algoritmov se je pojavila s vključitvijo lokalnega optimizacijskega pristopa v *mem*, ki se ga preda nasledniku oz. potomcu. Izbira lokalnega optimizacijskega pristopa se v tem primeru prepusti evoluciji. S takšnim pristopom se *mem* spreminja in razvija skozi čas, kar simulira kulturno učenje. Na *mem* lahko gledamo tudi kot na mehanizme, ki s pomočjo domensko specifičnega znanja, vključenega v posebne procedure, naredijo iskanje uspešnejše. Četrto generacijo memetskih algoritmov predstavlja naslednji korak razvoja algoritma, kjer so dodani mehanizmi razpoznave, generalizacije, optimizacije in zgodovinskega znanja. Takšni memetski algoritmi so zelo splošni in predstavljajo učinkovito iskalno strategijo, ki jo opisujejo kot memetsko računanje.

4.6 Diferencialna evolucija

Diferencialna evolucija DE (ang. Differential Evolution) je novejši algoritem, ki se uspešno uporablja za globalno optimizacijo realno kodiranih numeričnih funkcij [35]. Algoritem je preprost in ima malo parametrov, vendar zaradi svoje narave prilagajanja problemu in stabilnosti iskanja zaradi uporabljenega elitističnega selekcijskega mehanizma lahko dosega tudi boljše rezultate od ostalih evolucionjskih algoritmov. Osnovni algoritem diferencialne evolucije za enokriterijsko optimizacijo sestoji iz glavne evolucionjske zanke v kateri algoritem diferencialne evolucije z evolucionjskimi operatorji mutacije, križanja in selekcije postopno in vzporedno izboljšuje približek iskane rešitve. Algoritem diferencialne evolucije ima globalno in lokalno povezano velikost diferenčnega koraka, ki se samoprilagaja skozi čas glede na položaj posameznikov populacije v iskalnem prostoru. Evolucionjski operatorji vplivajo na vsak primer v populaciji rešitev iz katerih se ustvari nova populacija za naslednjo generacijo.

4.7 Optimizacija z rojem delcev

Optimizacija z rojem delcev PSO (ang. Particle Swarm Optimization) spada med stohastične optimizacijske algoritme, katerih temelj predstavlja populacija [18]. Optimizacija z rojem delcev deluje na socialno-psiholoških principih in jih uporabljamo v različnih inženirskih aplikacijah. Optimizacija z rojem delcev je bila prvič predstavljena leta 1995, deluje pa po načelih iz živalskega sveta kot na primer gibanja roja žuželk, ptičje ali ribje jate, itd.

Ideja algoritma je, da se delec giblje po poti določeni s koordinatami, ki so v povezavi z najboljšo rešitvijo (položajem), ki jo je delec dosegel do tega trenutka. Ta položaj si

zapomnimo in ga imenujemo *pBest* (najboljši osebni položaj ali angl. personal best). Najboljšo lokacijo, ki jo je zasedel katerikoli izmed delcev, ki se nahaja v sosesčini imenujemo *lBest* (lokalni optimum oz. angl. local best), potrebujemo pa jo takrat, kadar uporabljamo lokalno verzijo algoritma. Kadar pa rešujemo optimizacijski problem z globalno verzijo algoritma, pa potrebujemo vrednost *gBest* (globalni optimum ali angl. global best), ki predstavlja najboljšo vrednost oziroma položaj delca, če gledamo celotno populacijo kot topološke sosedne delca. Princip delovanja algoritma je takšen, da v vsaki ponovitvi spremenimo hitrost vsakega delca proti *pBest* in *gBest* lokaciji. V zadnjih nekaj letih se je algoritem roja delcev izkazal kot zelo uporabna metoda na mnogih aplikacijskih področjih. Mnoge raziskave so pokazale, da daje algoritem roja delcev celo boljše rezultate na hitrejši in cenejši način kot pa druge evolucijske metode. Privlačnost algoritma se kaže tudi v razmeroma enostavni implementaciji in majhnemu številu parametrov, ki jih je potrebno nastaviti.

Algoritem je soroden zbiranju ptic v jato. Algoritem roja delcev je bil prvič narejen za simuliranje ptic, ki iščejo hrano. Predstavljajmo si, da skupina ptic (jata) išče hrano na nekem področju, na tem področju pa je le en košček hrane. Da najprej najdemo hrano uporabimo strategijo, da vse ptice sledijo tisti, ki je (prva) opazila hrano. Pri algoritmu z rojem delcev je vsaka rešitev pravzaprav "ptica" v prostoru, kjer se išče hrana, to rešitev pa imenujemo tudi delec. Vsak delec je določen s svojim položajem, s pomočjo funkcije sposobnosti (angl. fitness function) pa mu določimo tudi sposobnost (angl. fitness value). Problem je zastavljen v bistvu tako, da iščemo optimum funkcije sposobnosti. Prav tako imajo vsi delci tudi hitrost, ki usmerja gibanje delcev.

4.8 Optimizacija s kolonijo mravelj

Optimizacija s kolonijo mravelj ACO (ang. Ant Colony Optimization) prav tako kot kolonija z rojem delcev posnema obnašanje iz živalskega sveta, v tem primeru kolonijo mravelj [10]. Optimizacija s kolonijo mravelj temelji na dejstvu, da so mravlje zmožne poiskati najkrajšo pot med svojim gnezdом in virom hrane. To opravljajo tako, da puščajo feromonske sledove kjerkoli potujejo kot obliko posredne komunikacije.

Ko mravlja zapusti svoje gnezdo za iskanje vira hrane in naleti na oviro se naključno vrti okoli nje, vseskozi pa odlaga feromonske sledove. Sprva bodo feromonski sledovi okoli ovire enaki z leve in desne smeri. Ko mravlje najdejo izvor hrane, se s hrano vračajo nazaj po sledovih svojih feromonov, obenem pa še vedno odlagajo še več feromonov. Mravlja

najverjetneje izbere najkrajšo pot domov proti gnezdju in s tem, ko sproti odlaga še več feromonov je ta pot močnejše označena tako, da lahko najdejo ta izvor hrane tudi druge mravlje iz gnezda, ki bodo ubrale označeno najkrajšo pot.

5 VEČKRITERIJSKA OPTIMIZACIJA

5.1 Uvod

V delovnih procesih se velikokrat srečujemo z zahtevo po sočasnem optimiranju po različnih kriterijih [28]. Ti kriteriji so si velikokrat nasprotujoči, kar pomeni, da izboljšanje rešitve po enem kriteriju povzroči njeno poslabšanje po drugih kriterijih. V tem primeru nimamo opravka samo z eno optimalno rešitvijo, temveč z množico optimalnih rešitev, imenovano "*Pareto optimalna fronta*". V kolikor ne poznamo dodatne informacije, ki bi podala pomembnost kriterijev, bi želeli poznati vse rešitve s Pareto optimalne fronte in šele nato bi se odločili za eno izmed njih. V preteklosti so se večkriterijske naloge reševale s klasičnimi metodami tako, da so se naloge pretvorile v enokriterijsko optimizacijsko nalogo, za njeno reševanje pa so se uporabljali standardni pristopi. Šele z evolucijskimi algoritmi so se večkriterijskih nalog lotili tako, da so v enem zagonu poiskali več rešitev, ki so približno ovrednotile *Pareto optimalno fronto*.

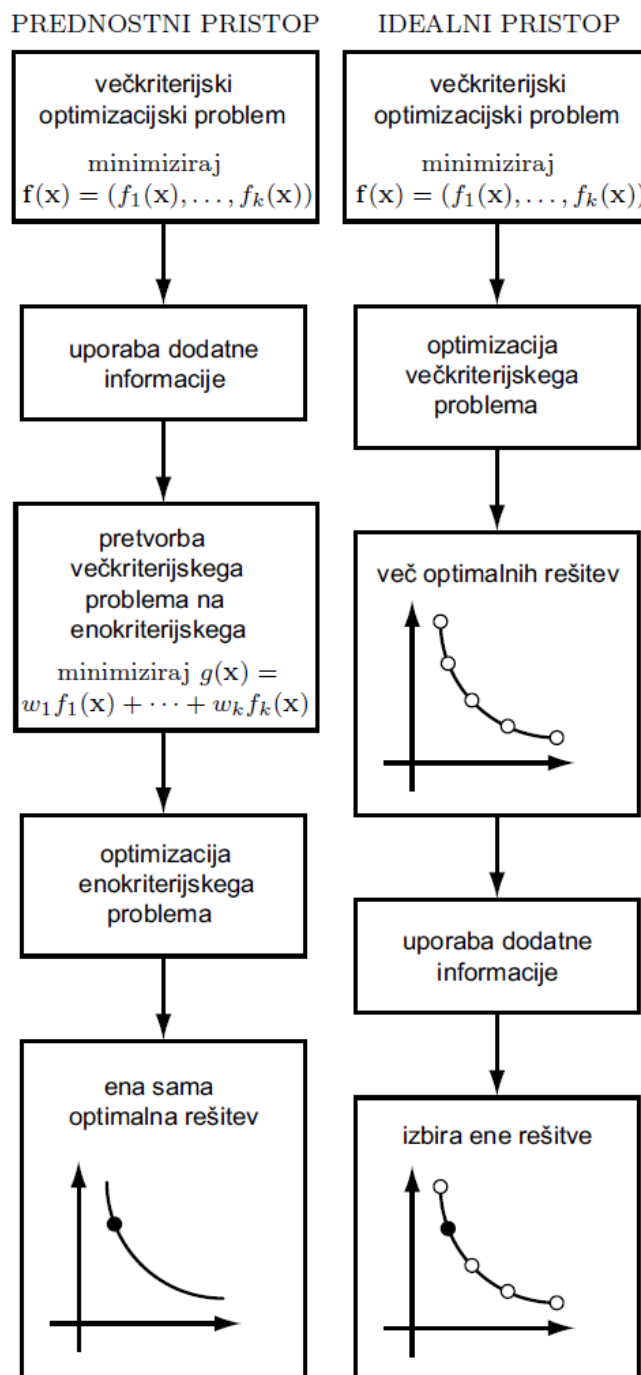
Množica nedominiranih rešitev v množici rešitev P , je množica vseh tistih rešitev, ki niso dominirane s strani rešitev iz množice P . Množica nedominiranih rešitev iz celotnega prostora dopustnih rešitev se imenuje *Pareto fronta*, njeni elementi pa *Pareto optimalne rešitve*.

5.2 Pristopi k večkriterijskem optimiranju

Kadar imamo pri večkriterijski optimizaciji opraviti s konfliktnimi kriteriji, obstaja več Pareto optimalnih rešitev [27]. Pri večkriterijski optimizaciji brez dodatne informacije o pomembnosti posameznih kriterijev ne moremo povedati katera rešitev je boljša, zato je tudi zahtevnejša od enokriterijske.

Kakor pri enokriterijski optimizaciji kjer želimo dobiti samo eno optimalno rešitev, je pri večkriterijski enako. To pa lahko dosežemo z dvema pristopoma, ki sta (slika 5.1):

- prednostni pristop in
- idealni pristop.



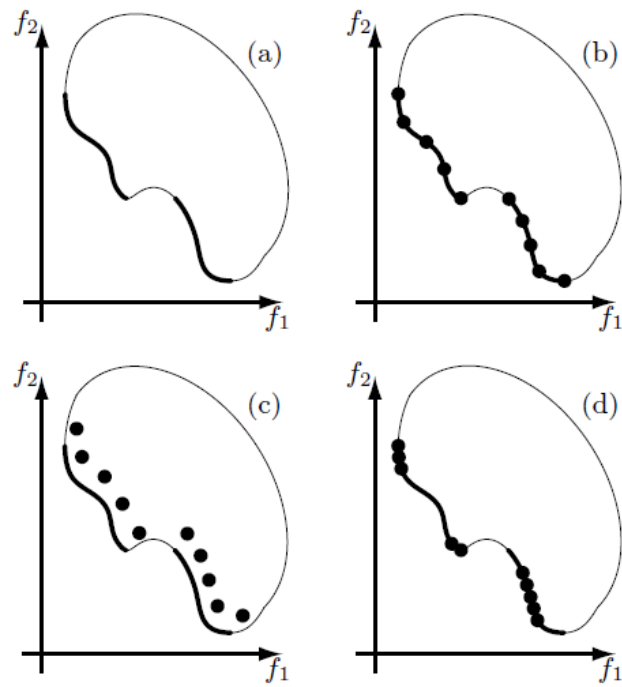
Slika 5.1: Prednostni in idealni pristop reševanja nalog večkriterijske optimizacije

Pri prednostnem pristopu je rešitev odvisna od funkcije, s katerim smo večkriterijski problem pretvorili v enokriterijskega [28]. Z drugačno funkcijo bi lahko dobili drugačno rešitev. Potrebujemo pa ta pristop še dodatno informacijo o pomembnosti kriterijev, ki običajno ni vnaprej poznana. Pri prednostnem pristopu uporabljamo klasične metode optimizacije kot so metoda utežene vsote, metoda ε -omejitev, metoda uteženih matrik, Bensonova metoda, itd. Klasične metode v glavnem dajejo eno samo rešitev in so občutljive na obliko in zveznost Pareto fronte.

Pri idealnem pristopu dobimo najprej množico optimalnih rešitev, iz katere izberemo rešitev, ki nam najbolj ustreza [28]. Tudi tukaj potrebujemo dodatno informacijo o problemu, vendar jo potrebujemo le za izbiro ene rešitve iz množice optimalnih rešitev. Zato je idealni pristop bolj praktičen in manj subjektiven od prednostnega pristopa. V primeru, da poznamo informacijo o kriterijih, ki nam omogoča ciljno usmerjen pristop, ni nobenega razloga, da ne bi uporabili prednostni pristop. Pri reševanju z idealnim pristopom želimo doseči, da večkriterijska optimizacijska metoda najde čim več Pareto optimalnih rešitev. Ker bomo s pomočjo informacije o pomembnosti kriterijev izbirali najboljšo, si želimo, da so dobljene rešitve kar se da enakomerno razporejene po prostoru kriterijev. Slika 5.2a prikazuje prostor kriterijev in Pareto fronto, ki je poudarjeno narisana, slika 5.2b pa idealni nabor Pareto optimalnih rešitev. Nalogo večkriterijske optimizacijske metode lahko uvrstimo v nalogo iskanja množice nedominiranih rešitev, za katere pa velja:

- da so čim bližje Pareto fronti in
- da so enakomerno razporejene po prostoru kriterijev.

To pa sta dva pogosto konfliktna cilja. Sliki 5.2c in 5.2d prikazujeta dve množici nedominiranih rešitev, za kateri ne moremo reči katera je boljša. Množica rešitev na sliki 5.2c je dobro razporejena, a je daleč od Pareto fronte, medtem, ko je množica rešitev na sliki 5.2d Pareto optimalna, a neenakomerno razporejena [27]. Pri večkriterijskem idealnem pristopu se največ uporabljajo evolutivski algoritmi za večkriterijsko optimiranje, ki bazirajo na genetskih algoritmih.



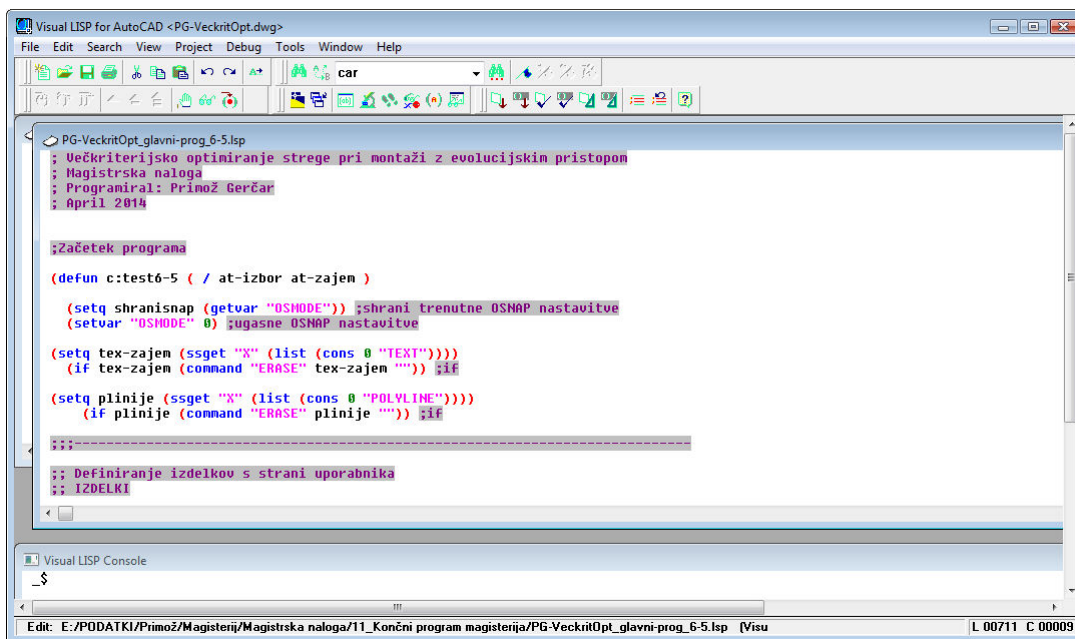
Slika 5.2: Primer kriterijskega prostora, kjer minimiziramo f_1 in f_2 : Pareto fronta (a) ter množice nedominiranih rešitev (b), (c) in (d)

6 UPORABA VEČ KRITERIJEV OPTIMIZACIJE PRI STREGI

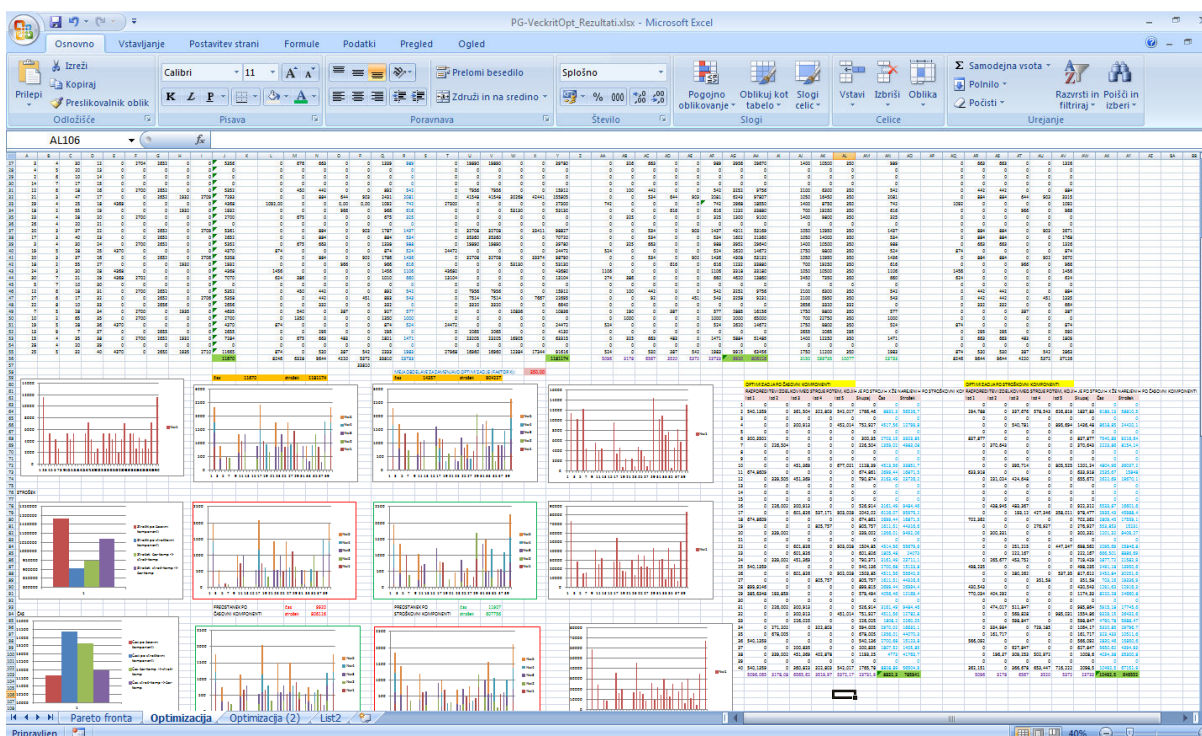
6.1 Opredelitev problema večkriterijskega optimiranja pri stregi

Kljub računalniško podprti proizvodnji in optimizaciji glavnih obdelovalnih oz. montažnih časov, še vedno ostaja veliko perečih problemov, kot je čim bolj racionalno razvrščanje montažnih strojev in čim krajše čakalne vrste obdelovancev ali izdelkov za montažo [12]. Ker so izdelki večji del svojega montažnega časa v čakalni vrsti ali na transportu do montažnega stroja, pomeni, da so transport in čakalne vrste izdelkov za montažo veliki porabniki stroškov. Tako se vseskozi srečujemo s problemi in vprašanji kako vplivati na čas in strošek montaže, kateri stroji so sposobni obdelati serijo novih izdelkov, kako razporejati izdelke med stroje, kako optimirati problem strege, kako prilagajati procese v teku glede na nove časovne ali stroškovne zahteve ter kako zasnovati montažno proizvodnjo od postavitve strojev, dimenzioniranja montažne hale in optimiranja strege do delujočega montažnega procesa. Navedeni problemi so bili izhodišče za izdelavo moje naloge večkriterijske optimizacije razvrščanja in strege v montažnem procesu. Tako sem razvil lasten sistem s katerim lahko:

- določimo poljuben tloris montažne hale,
- določimo poljubno postavitev montažnih strojev v montažni hali,
- določamo karakteristike montažnih strojev in izdelkov za montažo,
- ugotovimo kateri montažni stroji so s svojimi karakteristikami sposobni obdelati zahtevane izdelke,
- izvajamo optimizacijo po dveh kriterijih in sicer po času in po strošku,
- razvrščamo izdelke med stroje,
- optimiramo strego do montažnih strojev,



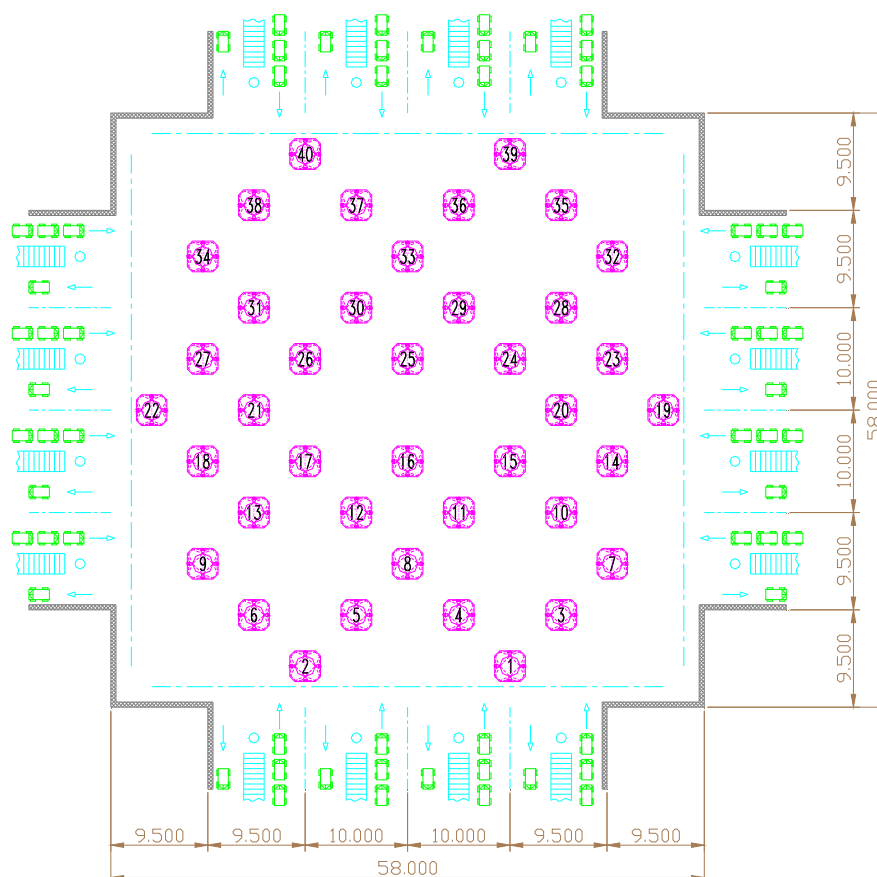
Slika 6.2: Uporabniški vmesnik za programiranje v računalniškem jeziku AutoLISP in Visual LISP



Slika 6.3: Računalniški program MS Excel za obdelavo dobljenih podatkov

6.3 Določitev tlorisa s postavitvijo montažnih celic in priprava podatkov pred izvedbo optimizacije

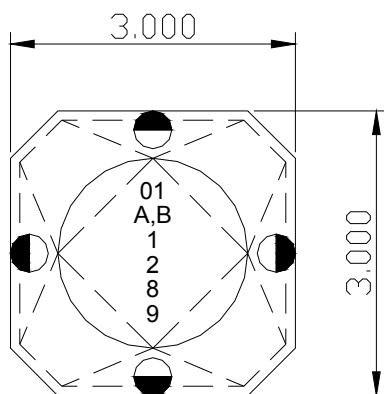
AutoCAD je odlično orodje za izris tlorisa želenega proizvodnega sistema. Omogoča izrise poljubnih tlorisov hal in strojev, kot na primer posnetek obstoječega proizvodnega sistema ali pa izris lastnega tlorisa proizvodnega sistema s stroji, ki ga lahko uporabimo tudi za snovanje novega proizvodnega ali montažnega procesa. Za svojo magistrsko nalogo sem izrisal tloris montažne hale dimenzij 58 m x 58 m in je prikazana na sliki 6.4. Na vsaki strani hale so štiri pasovi širin 9,5 m in 10 m za vhod in izhod izdelkov oziroma njihovih sestavnih delov. V notranjosti tlorisa pa sem po svoji zamisli vrisal 40 montažnih celic.



Slika 6.4.: Tloris montažne hale

Montažne celice so v risbi narisane s tako imenovanimi bloki (slika 6.5a), ki vsebujejo podatkovne attribute. V te attribute se vpisujejo podatki o lastnosti strojev, kakor je prikazano na sliki 6.5b. Lastnosti, ki jih vpisujemo so razdeljene na sledeče kriterije:

- strošek montaže stroja,
- čas montaže stroja,
- stopnja zahtevnosti montaže, ki jo je stroj še zmožen izpolniti,
- stopnja velikosti izdelka, ki ga je še možno obdelati na stroju
- vrsta montažne operacije za izdelek,
- zaporedna številka stroja.



a)

b)

Slika 6.5: a) Primer narisane montažne celice kot blok s podatkovnimi atributi
b) Okno za spreminjanje atributov

V želji po čim bolj splošni karakterizaciji in univerzalni interpretaciji montažnih strojev ter optimizacijskih postopkov, sem lastnosti montažnih strojev klasificiral po naslednjih kriterijih:

Vrsta montažne operacije:

Možnosti izbire so A, B, C in D, pomenijo pa vrsto montažne operacije, ki jo je montažna celica zmožna opravljati. Boljše in dražje montažne celice lahko opravljajo več montažnih operacij, cenejše samo eno ali dve.

Velikost izdelka za montažo:

Možnosti izbire so številčne med 1 in 5. Vrednost 1 pomeni manjši izdelek, vrednost 5 pa velik izdelek za montažo. Na primer stroj ovrednoten z vrednostjo 3 lahko sprejme izdelke velikosti 1, 2 in 3, medtem ko 4 in 5 ne.

Zahtevnost montaže:

Možnosti izbire so vrednosti med 1 in 5. Vrednost 1 pomeni enostavno montažo, vrednost 5 pa zelo zahtevno montažo izbranih operacij. Stroj, ki je ovrednoten z vrednostjo 3 lahko izvaja zahtevnost montaže 1, 2 in 3, zahtevnosti 4 in 5 pa ne.

Čas montaže:

Možnost izbire je med 1 in 10. Vrednost 1 pomeni zelo kratek čas, vrednost 10 pa zelo dolgi čas montaže.

Strošek montaže:

Strošek montaže je ovrednoten glede na prej naštete karakteristike montažnih strojev. Dražji stroji lahko opravljajo več različnih montažnih operacij z večjim razponom velikosti in zahtevnosti izdelkov za montažo ter krajšimi montažnimi časi, cenejši stroji pa praviloma nasprotno, oziroma lahko imajo eno izmed karakteristik zelo dobro, vendar imajo stroškovni kompromis v drugi karakteristiki, ki je slabša. Srednje stroškovno ovrednoteni stroji omogočajo kompromis med zgornjimi lastnostmi.

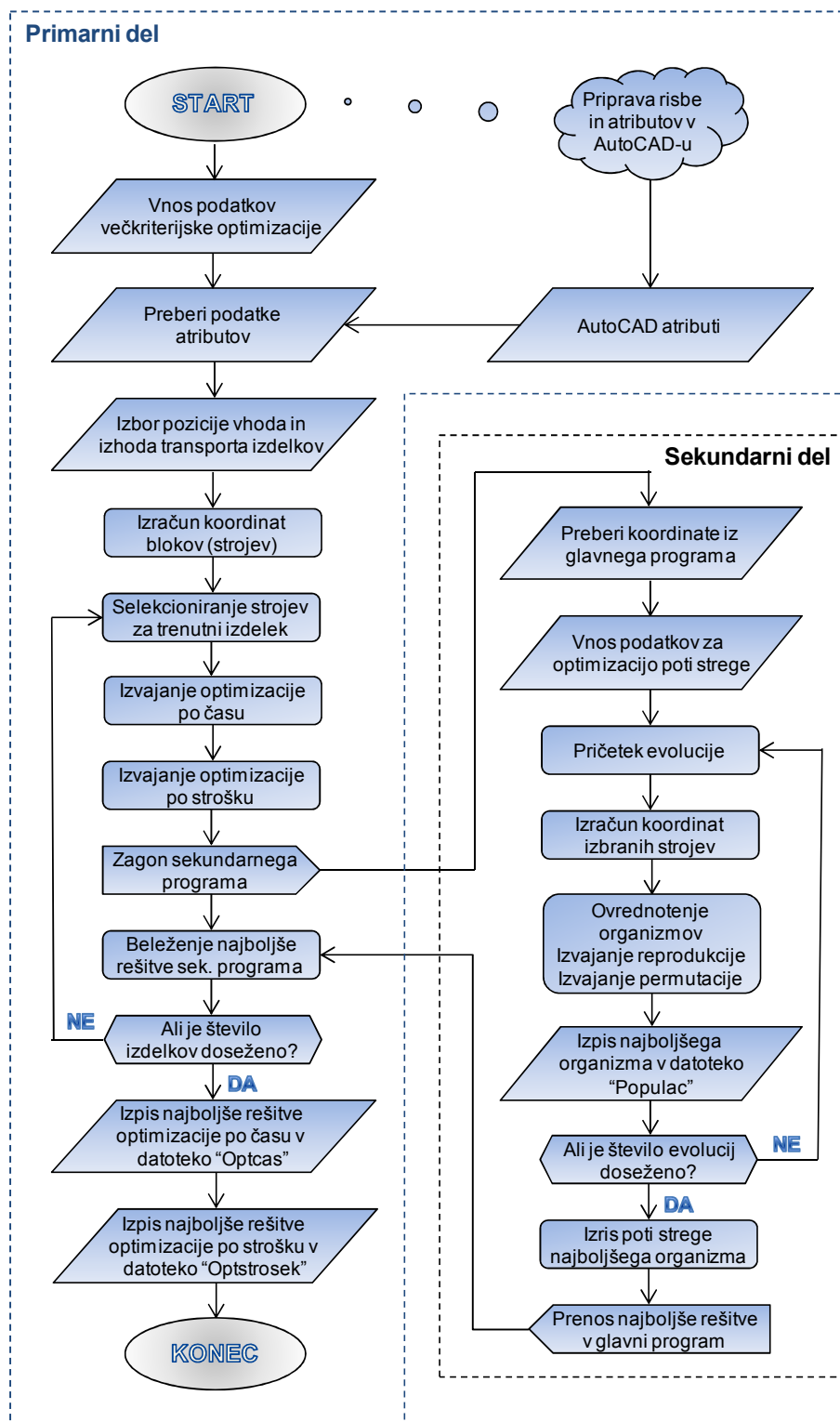
Po tem, ko smo narisali postavitev strojev v hali, lahko preko AutoCAD-ovih ukazov za upravljanje s podatkovnimi bazami in atributi naredimo novo podatkovno bazo iz atributov uporabljenih strojev ali pa uporabimo obstoječo bazo podatkov in jo z naborom AutoCAD-ovih ukazov za urejanje podatkovnih baz in preglednic osvežimo. V preglednici 6.1 je prikazana podatkovna baza s karakterističnimi podatki vrisanih strojev, ki sem jih uporabil v moji nalogi.

Preglednica 6.1: *Seznam postavljenih strojev oziroma montažnih celic*

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Tabela strojev							
2	Count	Name	CELICA_ŠTEVILKA	CELICA_VRSTA-MONTAŽE	CELICA_VELIKOST-IZD	CELICA_ZAHTEVNOST-MONT	CELICA_ČAS-MONT	CELICA_STROŠEK-MONT
3	1	Mont-celica	01	A,B	1	2	8	9
4	1	Mont-celica	02	A	3	1	6	10
5	2	Mont-celica	03	B,C	2	4	4	30
6	1	Mont-celica	04	D	3	3	5	20
7	1	Mont-celica	05	A,D	1	2	7	10
8	1	Mont-celica	06	B	2	1	8	6
9	1	Mont-celica	07	B,D	4	4	5	28
10	1	Mont-celica	08	C	5	3	4	30
11	1	Mont-celica	09	A	3	3	9	11
12	1	Mont-celica	10	B	2	5	2	65
13	1	Mont-celica	11	D	4	3	3	37
14	2	Mont-celica	12	A,B,C	2	3	6	18
15	1	Mont-celica	13	C	1	2	9	7
16	2	Mont-celica	14	D	5	3	7	17
17	1	Mont-celica	15	B,C,D	3	4	4	35
18	1	Mont-celica	16	B	2	5	6	22
19	1	Mont-celica	17	C	1	5	3	40
20	2	Mont-celica	18	D	2	4	2	55
21	2	Mont-celica	19	A	5	4	5	28
22	2	Mont-celica	20	C	4	3	3	37
23	1	Mont-celica	21	C,D	4	4	3	47
24	1	Mont-celica	22	A,B,C,D	2	1	8	10
25	1	Mont-celica	23	B	4	3	4	28
26	1	Mont-celica	24	A	4	2	3	30
27	2	Mont-celica	25	A,C,D	5	4	5	32
28	2	Mont-celica	26	B	3	2	4	20
29	2	Mont-celica	27	C	5	2	6	17
30	1	Mont-celica	28	D	5	1	4	20
31	2	Mont-celica	29	A	5	2	4	25
32	1	Mont-celica	30	A,B	3	5	7	21

6.4 Opis sistema za večkriterijsko optimiranje

Sistem je sestavljen iz primarnega in sekundarnega dela (slika 6.6). Vsak izmed obeh delov pa vsebuje še podprograme. Primarni del obdeluje večkriterijsko optimizacijo, sekundarni pa, z uporabo genetskih algoritmov, optimira transportno pot strege izdelkov po strojih.



Slika 6.6: Blok shema postavljenega sistema

Primarni del izvaja večkriterijsko optimiranje:

- zahteva vnos vhodnih podatkov večkriterijske optimizacije (vse potrebne parametre),
- prebere podatke atributov vsakega bloka (stroja),
- zaganja sekundarni program optimizacije strege,
- operira s podprogrami.

Podprogrami primarnega dela zajemajo:

- zahtevo za vnos podatkov o poziciji vhoda in izhoda transporta izdelkov,
- izračun koordinat blokov (strojev),
- izbiranje ustreznih strojev,
- optimizacijo po času,
- optimizacijo po strošku,
- izpis rezultatov optimizacije po času v datoteko in
- izpis rezultatov optimizacije po strošku v datoteko.

Sekundarni del izvaja optimizacijo strege:

- povzame podatke koordinat blokov glavnega programa,
- zahteva vnos vhodnih podatkov za optimizacijo strege (vse potrebne parametre),
- operira s podprogrami.

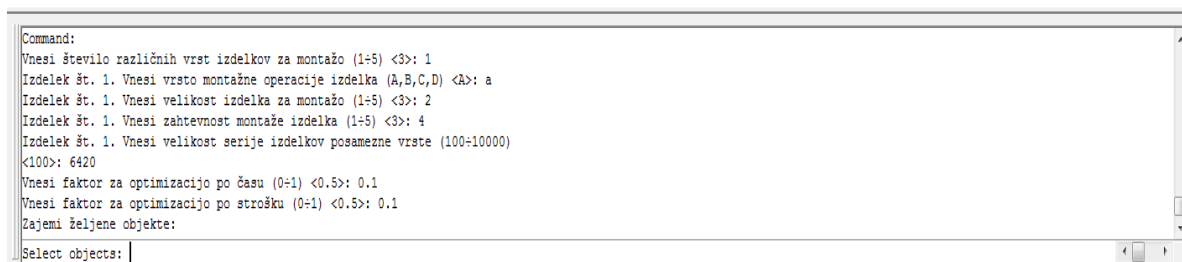
Podprogrami sekundarnega dela zajemajo:

- ovrednotenje organizmov,
- izvajanje reprodukcije,
- izvajanje permutacije,
- ovrednotenje rezultatov,
- izpis rezultatov v datoteko in
- izris poti strege najboljšega organizma.

6.5 Vnos vhodnih podatkov

Ko smo zadovoljni z narisanim tlorisom in s postavljenimi stroji lahko zaženemo sistem za večkriterijsko optimiranje. Program prek AutoCAD-ovega uporabniškega vmesnika od uporabnika zahteva vnos podatkov o izdelkih (slika 6.7):

- izbira števila različnih tipov izdelkov,
- vrsta montažne operacije izdelka,
- velikost izdelka za montažo,
- zahtevnosti izdelave / montaže izdelka in
- velikost serije izdelkov posamezne vrste ter
- faktor optimizacije po časovnem in stroškovnem kriteriju.



```

Command:
Vnesi število različnih vrst izdelkov za montažo (1÷5) <3>: 1
Izdelek št. 1. Vnesi vrsto montažne operacije izdelka (A,B,C,D) <A>: a
Izdelek št. 1. Vnesi velikost izdelka za montažo (1÷5) <3>: 2
Izdelek št. 1. Vnesi zahtevnost montaže izdelka (1÷5) <3>: 4
Izdelek št. 1. Vnesi velikost serije izdelkov posamezne vrste (100÷10000)
<100>: 6420
Vnesi faktor za optimizacijo po času (0÷1) <0.5>: 0.1
Vnesi faktor za optimizacijo po strošku (0÷1) <0.5>: 0.1
Zajemi željene objekte:
Select objects: |

```

Slika 6.7: Prikaz vpisovanja kriterijev za izdelke prek uporabniškega vmesnika

Po vnesenih podatkih o izdelkih, program zahteva zajem montažnih strojev, izbor položaja vhoda in izhoda za izdelke ter vhodne parametre genetskih algoritmov za optimizacijo poti strege (slika 6.8):

- število organizmov v populaciji,
- število (v odstotkih) naključno izbranih organizmov iz začetne populacije za kreiranje nove z reprodukcijo,
- verjetnost reprodukcije,
- verjetnost permutacije,
- število (v odstotkih) naključno izbranih organizmov iz začetne populacije za kreiranje nove s permutacijo,
- število generacij in
- število evolucij.



```

Izdelek številka: 1
Vnesi število organizmov v populaciji (min 10) <100>: 200
Vnesi odstotek naključno izbranih organizmov iz začetne populacije za
reprodukcijo (3÷5%) <4%>:
Vnesi verjetnost reprodukcije (0-100%) <30>:
Verjetnost permutacije znaša: 70.0%
Vnesi odstotek naključno izbranih organizmov iz začetne populacije za
permutacijo (3÷5%) <4%>:
Vnesi število generacij <100>: 600
Vnesi število evolucij <1>: 10

```

Slika 6.8: Prikaz vpisovanja parametrov genetskega algoritma za optimizacijo poti strege

6.6 Izbiranje montažnih strojev

Z vsemi vpisanimi podatki o lastnostih strojev in o lastnostih izdelkov za montažo smo dobili kriterije s katerimi je možno izbirati stroje, ki so sposobni obdelati določen izdelek. Program izbira stroje tako, da primerja med seboj lastnosti strojev in zahteve izdelkov ter izloči neustrezne.

6.7 Optimizacija po časovnem kriteriju

Pogoj, ki ga zahteva montažni proces je uporaba vseh razpoložljivih oz. izbranih montažnih strojev. Optimizacija po časovnem kriteriju teži k čim hitrejši obdelavi montažnega procesa in poteka tako, da program razporeja izdelke med izbrane stroje po pravilu močnejšega. To pomeni, da hitrejši stroj dobi več. Če imamo npr. enajst izdelkov in tri stroje (S1, S2 in S3), kjer ima prvi stroj čas obdelave 2 min, drugi 4 in tretji 5 min, razporedimo izdelke tako, da se številčno razporejajo glede na svoje časovne zmožnosti obdelave kot prikazuje slika 6.9.

Stroj	Razvrstitev izdelkov po strojih						S_x
S1	2min 1kos	2min 1kos	2min 1kos	2min 1kos	2min 1kos	2min 1kos	6 kos
S2	4min 1kos		4min 1kos		4min 1kos		3 kos
S3	5min 1kos			5min 1kos			2 kos
							Z: $\Sigma 11$ kos
							T: 12 min

Slika 6.9: Razvrstitev izdelkov med stroje z optimizacijo po časovnem kriteriju

To pomeni, da hitrejši stroji obdelajo več izdelkov kakor počasnejši. Stroškovno funkcijo lahko opredelimo glede na razvrstitev števila izdelkov na stroj in jo matematično prikažemo z zapisom:

$$S_x = \frac{Z}{t_x}, \quad T = t_{x \max} \quad (6.1)$$

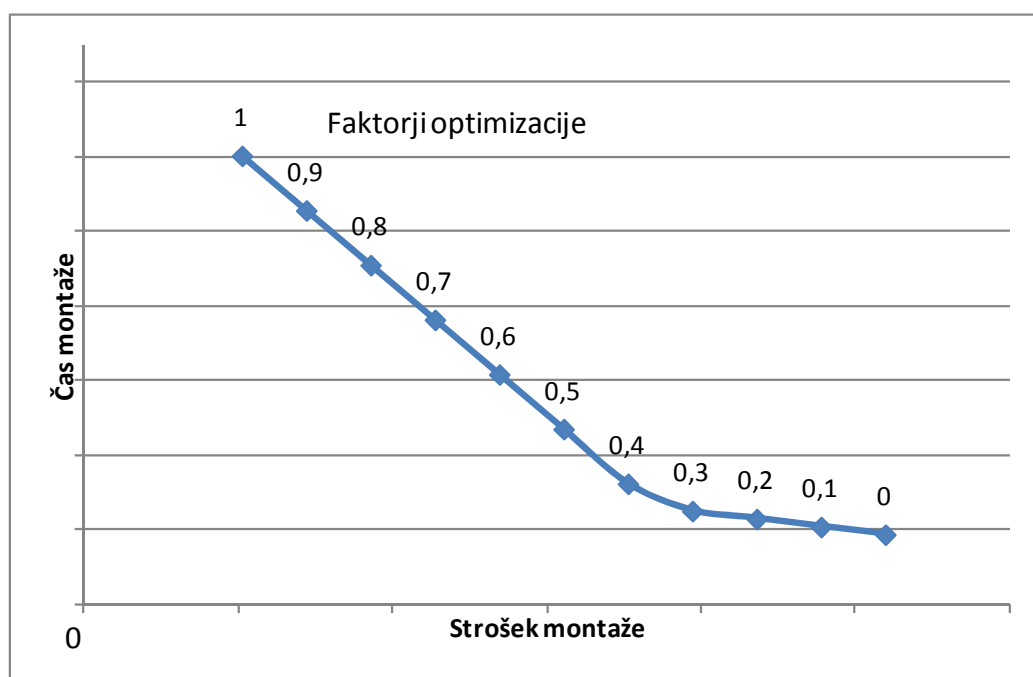
S_x - št. izdelkov na posameznem stroju

Z - velikost serije

t_x - čas obdelave enega izdelka posameznega stroja

- $t_{x\ max}$ - skupen čas, ki ga je stroj porabil za obdelavo ($t_{x\ max} = \sum t_x$)
 T - čas v trenutku, ko je z obdelavo zaključil zadnji stroj ($T = t_{x\ max}$)

Čas končne obdelave T je čas, ki nastane v trenutku, ko z obdelavo zaključí zadnji stroj $T = t_{x\ max}$. Pri tem moramo paziti, da je seštevek izdelkov po posameznih strojih enak številu serije $\sum S_x = Z$. Ker velja pravilo, da hitrost stroja vpliva na strošek obdelave, tak način razporejanja prinese tudi večje stroške obdelave. Zato program med optimizacijskim procesom naredi še obratno prerazporeditev izdelkov na stroje po iskanju nižjih stroškov, kar posledično pripelje do podaljšanega časa obdelave. Pri tem načinu optimizacije dobimo množico *Pareto* optimalnih rešitev. Zato imamo pri zagonu programa možnost vnosa dodatnega kriterija imenovanega faktor časovne optimizacije (vrednosti med 0 in 1), s katerim lahko izberemo želeno optimalno rešitev. Faktor optimizacije po času predstavlja utež s katero med vsemi optimalnimi rešitvami izbiramo tisto rešitev, ki je v danem trenutku najbolj ustrežna med razmerjem časa in stroška obdelave.



Slika 6.10: Množica optimalnih rešitev optimizacije po časovnem kriteriju in faktorji optimizacije

Slika 6.10 prikazuje primer časovne optimizacije kjer dobimo pri faktorju optimizacije z vrednostjo 0 najkrajši čas obdelave in hkrati največji strošek. Pri vrednosti faktorja optimizacije 1 je strošek obdelave najnižji, čas obdelave pa največji. Med tema dvema vrednostnima pa na *Pareto fronti* leži množica optimalnih rešitev.

6.8 Optimizacija po stroškovnem kriteriju

V interesu čim hitrejše amortizacije investicijskih stroškov novih strojev težimo k temu, da ti stroji učinkovito delujejo in prinašajo dobiček, četudi so njihovi obratovalni stroški višji. Zato tudi optimizacija po stroškovnem kriteriju zahteva, da so v obratovanju vsi izbrani stroji in podobno kot pri optimizaciji po časovnem kriteriju poteka po pravilu močnejšega. V tem primeru to pomeni, da cenejši stroj dobi več. Vrstni red izbranih strojev se vrši glede na strošek obdelave. Če imamo npr. tri stroje (S1, S2 in S3) in osemnajst izdelkov, razvrstimo izdelke med stroje tako, da najcenejši stroj (S3) prejema po tri izdelke, naslednji po dva in najdražji stroj (S1) po en izdelek in v takem zaporedju nadaljujemo dokler ne porazdelimo vseh izdelkov (slika 6.11).

Stroj	Razvrstitev izdelkov po strojih									S_x
S3	1	1	1	2	2	2	3	3	3	9 kos
S2	1	1	2	2	3	3				6 kos
S1	1	2	3							3 kos
Z: Σ 18 kos										

Slika 6.11: Razvrstitev izdelkov med stroje z optimizacijo po stroškovnem kriteriju

Stroškovno funkcijo lahko opredelimo glede na razvrstitev števila izdelkov med stroje. Razvrstitev izdelkov med stroje lahko prikažemo z zapisom:

$$S_x = a_x \cdot \frac{Z}{1 + 2 + 3 + \dots + S_n} \quad (6.2)$$

Stroškovno funkcijo pa sedaj matematično zapišemo kot:

$$St_x = S_x \cdot st_x = a_x \cdot \frac{Z}{1 + 2 + 3 + \dots + S_n} \cdot st_x, \quad St = \sum_{x=1}^{S_n} St_x \quad (6.3)$$

S_x - št. izdelkov na posameznem stroju

a_x - zaporedna številka trenutnega izbranega stroja

Z - velikost serije

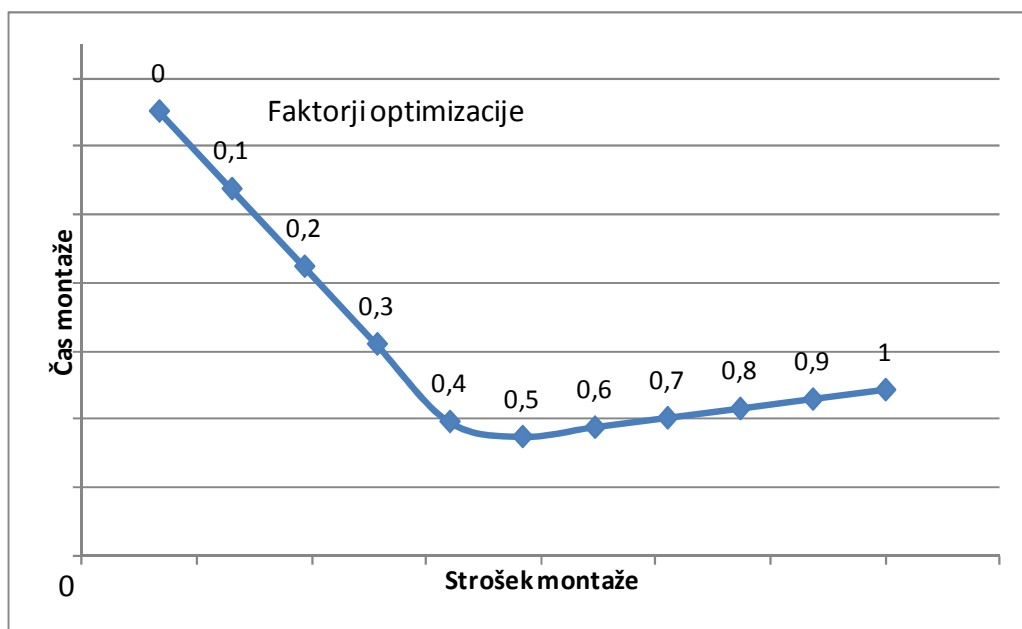
S_n - število izbranih strojev

St_x - skupen strošek posameznega stroja

st_x - strošek obdelave enega izdelka na posameznem stroju

Skupen strošek končne obdelave St je vsota vseh stroškov posameznih strojev St_x .

Z nižanjem stroškov obdelave se povečuje čas obdelave, ki pa je pri izpolnjevanju dobavnih rokov velikokrat ključnega pomena. Tako kot pri optimizaciji po časovnem kriteriju tudi tukaj program med optimizacijskim procesom sprocesa še obratno prerazporeditev izdelkov po strojih, kar vodi do skrajšanega časa obdelave in posledično do povečanja stroškov obdelave. Rezultat optimizacije je množica *Pareto* optimalnih rešitev, zato program pri zagonu od nas zahteva še vnos dodatnega kriterija imenovanega faktor stroškovne optimizacije (vrednosti med 0 in 1), s katerim lahko izberemo želeno optimalno rešitev. Faktor optimizacije po strošku predstavlja utež s katero med vsemi optimalnimi rešitvami izbiramo tisto rešitev, ki je v danem trenutku najbolj ustrezna med razmerjem časa in stroška obdelave.



Slika 6.12: Množica optimalnih rešitev optimizacije po stroškovnem kriteriju in faktorji optimizacije

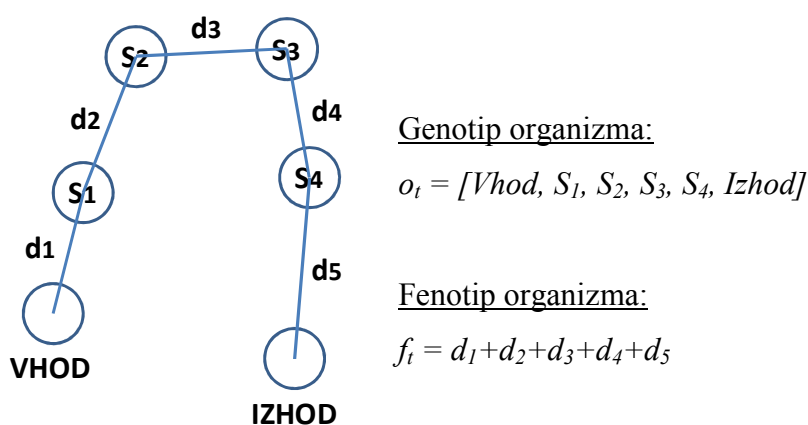
Slika 6.12 prikazuje primer razporeditve množice optimalnih rešitev optimizacije po stroškovnem kriteriju, kjer je pri faktorju optimizacije z vrednostjo 0 najdaljši čas obdelave in hkrati najmanjši strošek. Pri vrednosti faktorja optimizacije 1 je strošek obdelave največji, čas obdelave je nizek, ni pa najnižji. Med tema dvema vrednostnima pa na *Pareto fronti* leži množica optimalnih rešitev.

6.9 Stopenjsko izvajanje optimizacije – hibridna optimizacija

Ker je v današnjih proizvodnih sistemih zelo pomembna fleksibilnost proizvodnih oz. montažnih sistemov je razviti sistem za optimizacijo naravnano tako, da je možno optimirane serije izvajati tudi stopenjsko in sicer tako, da se proizvodni scenarij med izvajanjem montažnega procesa po izbranem optimizacijskem faktorju prekine in se nadaljuje po drugem. Lahko se tudi prekine proizvodni scenarij po časovnem optimizacijskem kriteriju in se nadaljuje po stroškovnem optimizacijskem kriteriju ali obratno. Možno je večkratno menjavanje proizvodnih scenarijev, tako med stroškovnimi in časovnimi optimizacijskimi kriteriji, kakor tudi med različnimi optimizacijskimi faktorji istega kriterija.

6.10 Optimizacija strege montažnega procesa

Program za optimizacijo strege išče najbolj optimalno pot izdelka od stroja do stroja pri zahtevi, da mora zajeti vse izbrane stroje in vsakega obiti samo enkrat. Računska podlaga programa pri iskanju rešitev za optimalno pot strege so genetski algoritmi, ki delujejo po principu evolucijske teorije. Program uporablja permutacijo kot genetsko operacijo in reprodukcijo kot evolucijsko operacijo. Slika 6.13 prikazuje kodiranje organizma, kjer oznaka S_x pomeni oznako stroja, spremenljivka d_i pa dolžino poti med dvema strojema.



Slika 6.13: Kodiranje organizma

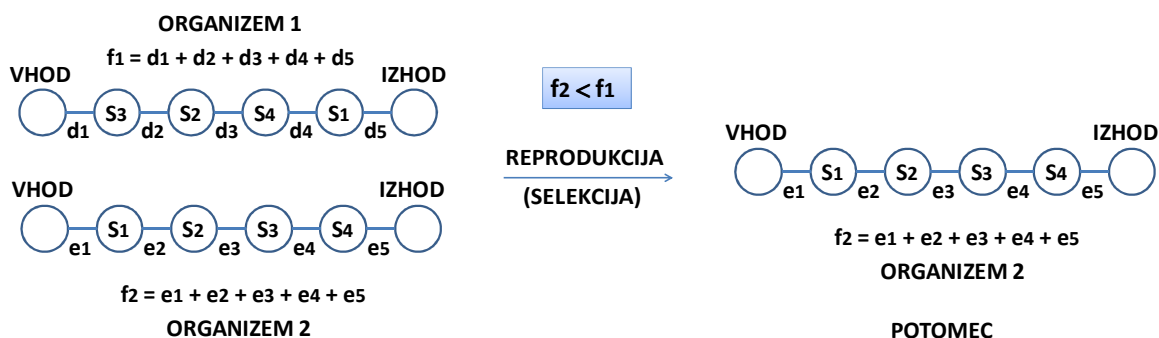
Glede na postavitev strojev program določi koordinate posameznega stroja in izračuna razdalje med njimi [12].

Stroškovna funkcija programa kot končni rezultat upošteva samo razdalje med stroji. Nižje so te vrednosti, boljši je organizem. Stroškovno funkcijo izrazimo:

$$f_t = \sum_{i=1}^n d_i \tag{6.4}$$

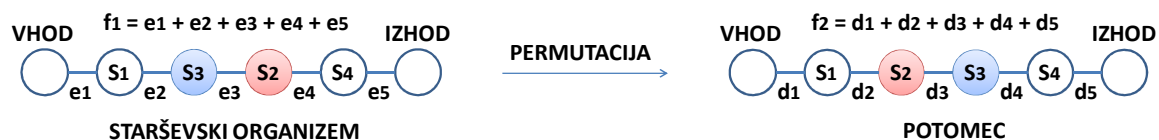
kjer funkcija f_i predstavlja vsoto dolžin d_i med n napravami.

Reprodukcija daje večjo verjetnost izbora boljšim organizmom, ki jih nato nespremenjene prenesemo v naslednjo generacijo [12]. Slika 6.14 prikazuje primer, kjer ima organizem 2 boljši fenotip od organizma 1 ($f_2 < f_1$), zato se organizem 2 v nespremenjeni obliki prenese v naslednjo generacijo.



Slika 6.14: Kodiranje organizma pri reprodukciji

Permutacija je nesporna operacija, ki učinkuje na samo en starševski organizem in izdelava samo enega potomca [12]. Permutacijo dosežemo z zamenjavo genov v enem organizmu, kot prikazuje slika 6.15, kjer se zamenjata gena S_2 in S_3 .

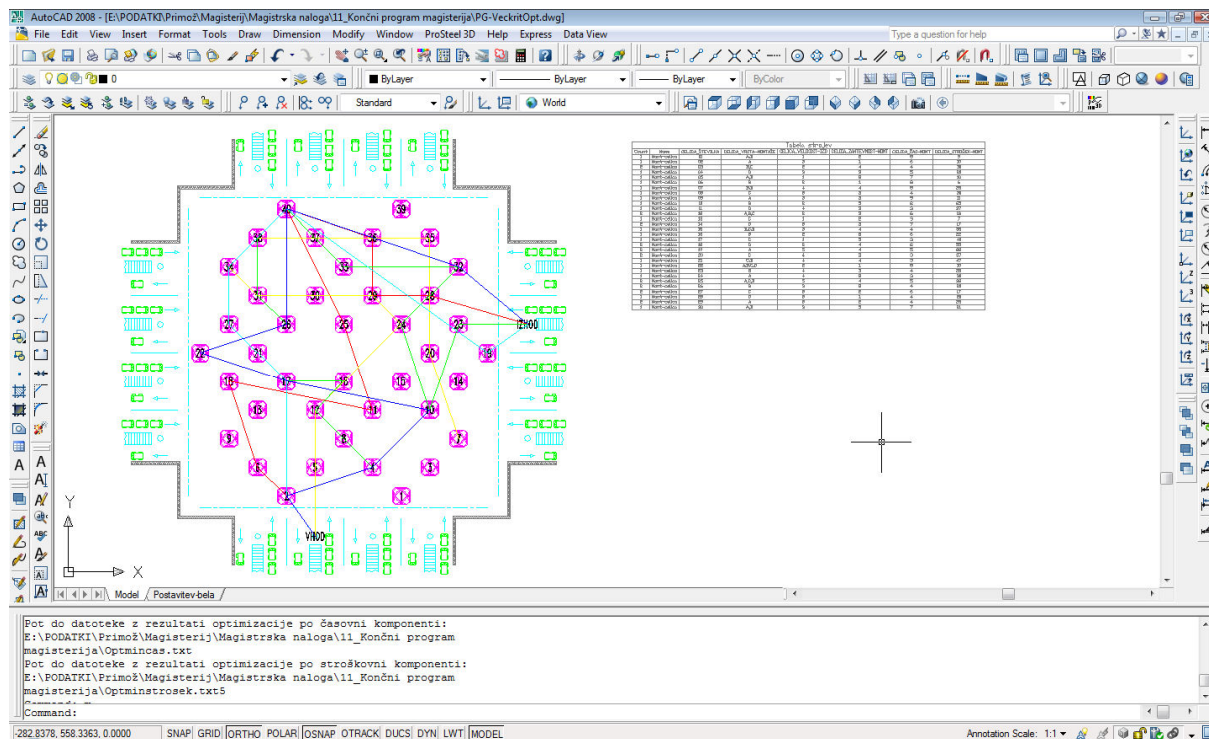


Slika 6.15: Kodiranje organizma pri permutaciji

Ovrednotenje organizma pomeni seštevek razdalj med stroji. Ti podatki so uporabljeni pri vrednotenju stroškov transporta.

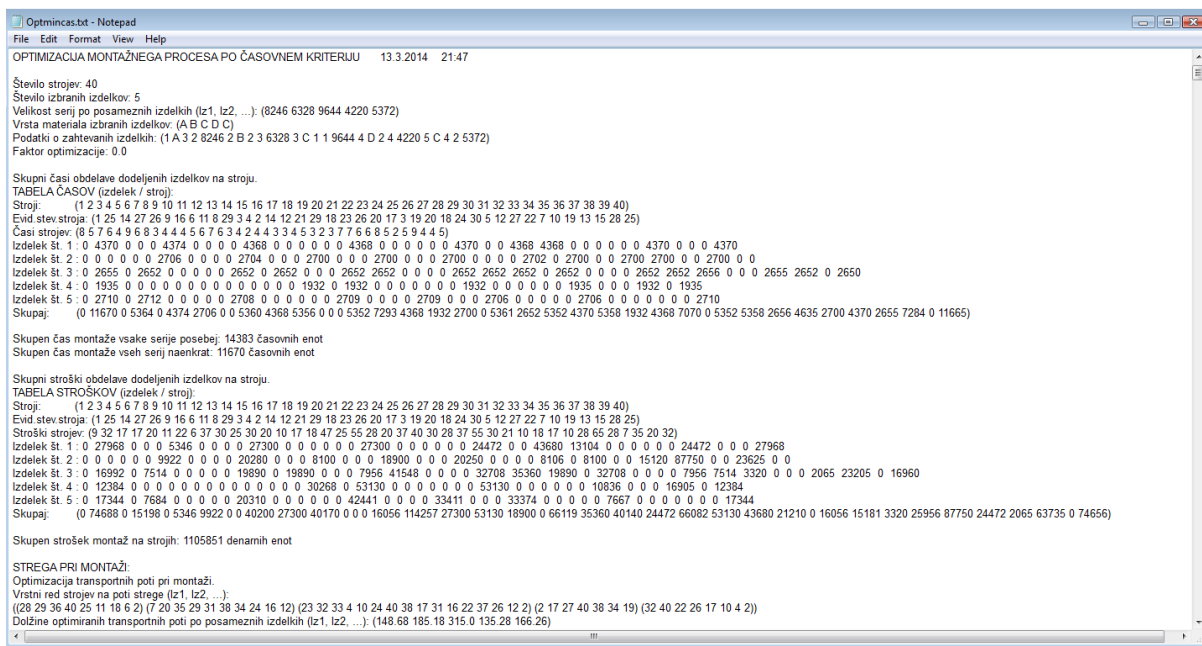
6.11 Izpis rezultatov

Ko program konča z optimizacijo se v tlorisu hale izrišejo najbolj optimalne poti strege za vsak izdelek. V uporabniškem vmesniku pa se izpiše pot do datoteke s končnimi rezultati večkriterijske optimizacije, kjer so shranjeni vsi rezultati kot je razvidno na sliki 6.16.

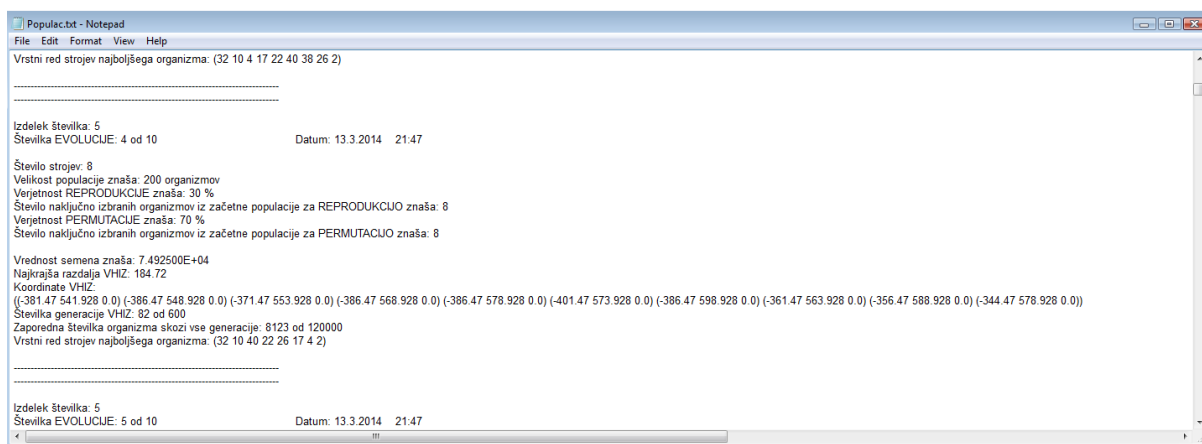


Slika 6.16: Izris optimalnih poti strege ter izpis poti do datoteke s končnimi rezultati

Rezultati se izpišejo v tekstovno datoteko v takšni obliki, da se podatki lahko uporabijo za nadaljnjo obdelavo v kakršnemkoli drugem programu. Izpis rezultatov optimizacije po časovnem oz. stroškovnem kriteriju v tekstovno datoteko prikazuje slika 6.17, izpis rezultatov optimizacije strege z genetskim algoritmi pa prikazuje slika 6.18. V moji nalogi sem za nadaljnjo obdelavo podatkov uporabil računalniški program MS Excel.



Slika 6.17: Prikaz izpisa končnih rezultatov optimizacije po časovnem oz. stroškovnem kriteriju v tekstovni datoteki



Slika 6.18: Prikaz izpisa končnih rezultatov optimizacije strege z genetskimi algoritmi v tekstovni datoteki

6.12 Rezultati in diskusija

V nadaljevanju podajam primer reševanja z razvitim sistemom za večkriterijsko optimizacijo razmestitve montažnega procesa s katerim sem želel doseči:

- najbolj optimalne rešitve med razmerjem porabljenega časa in stroška montaže,
- možnost prehodov med različnimi optimizacijski postopki tudi v fazi izvajanja in s tem doseči učinkovito prilagodljivost razmeram v danem trenutku ter
- poiskati najbolj optimalno pot strege do montažnih strojev.

Uporabljen tlorisna postavitev hale montažnega procesa je prikazana na sliki 6.4, karakteristični podatki uporabljenih montažnih strojev so razvidni v preglednici 6.1, montažne zahteve izdelkov, ki jih želimo spustiti skozi montažni proces, pa so razvidne v preglednici 6.2. Celoten montažni proces zajema 33.810 izdelkov, ki jih je potrebno obdelati.

Preglednica 6.2: Karakteristični podatki o montažnih zahtevah izdelkov

	Vrsta montažne operacije [A,B,C,D]	Velikost izdelka [1-5]	Zahtevnost montaže [1-5]	Velikost serije [št. kosov]
Izdelek št. 1	A	3	2	8246
Izdelek št. 2	B	2	3	6328
Izdelek št. 3	C	1	1	9644
Izdelek št. 4	D	2	1	4220
Izdelek št. 5	C	4	3	5372
			Skupaj	33810

Faktor za optimizacijo po časovnem kriteriju: vrednosti med 0 in 1

Faktor za optimizacijo po stroškovnem kriteriju: vrednosti med 0 in 1

Podatki za obdelavo optimizacije strege so sledeči:

- velikost populacij je 200 organizmov,
- odstotek naključno izbranih organizmov za reprodukcijo: 4 % (t.j. 8 organizmov)
- verjetnost reprodukcije je 30 %,
- odstotek naključno izbranih organizmov za permutacijo: 4 % (t.j. 8 organizmov)
- verjetnost permutacije je 70 %,
- število generacij, ki se izvedejo med evolucijo je 600,
- število evolucij je 10.

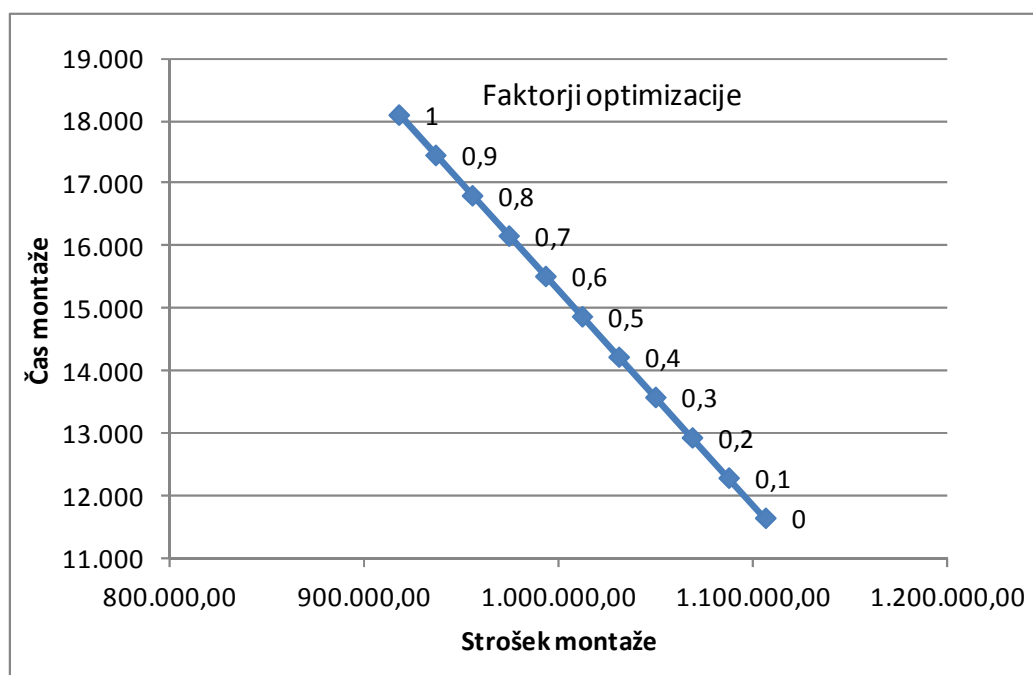
Program sem zaganjal z navedenimi podatki, spreminjal sem le faktor za optimizacijo po časovnem in stroškovnem kriteriju od vrednosti 0 do vrednosti 1, tako da sem dobil množico nedominiranih *Pareto* optimalnih rešitev.

6.12.1 Rezultati optimizacije strege po časovnem kriteriju

Iz preglednice 6.3 in slike 6.19 je razviden vpliv faktorja optimizacije na čas in strošek montaže pri optimizaciji po časovnem kriteriju. Pri vrednosti faktorja optimizacije 0 je čas montaže najkrajši, strošek pa največji. Pri vrednosti faktorja optimizacije 1 pa je čas montaže najdaljši, strošek pa najnižji.

Preglednica 6.3: Rezultati razvrščanja izdelkov optimizacije po časovnem kriteriju

Faktor optimizacije [0-1]	Čas montaže [časovna enota]	Strošek montaže [stroškovna enota]
0	11.670	1.105.851,00
0,1	12.311	1.087.005,00
0,2	12.955	1.068.154,00
0,3	13.601	1.049.304,00
0,4	14.245	1.030.454,00
0,5	14.891	1.011.611,00
0,6	15.535	992.759,00
0,7	16.181	973.912,00
0,8	16.825	955.059,00
0,9	17.471	936.211,00
1	18.115	917.362,00

**Slika 6.19:** Množica optimalnih rešitev optimizacije po časovnem kriteriju in njihovo razmerje med stroškom in časom montažnega procesa s faktorji optimizacije

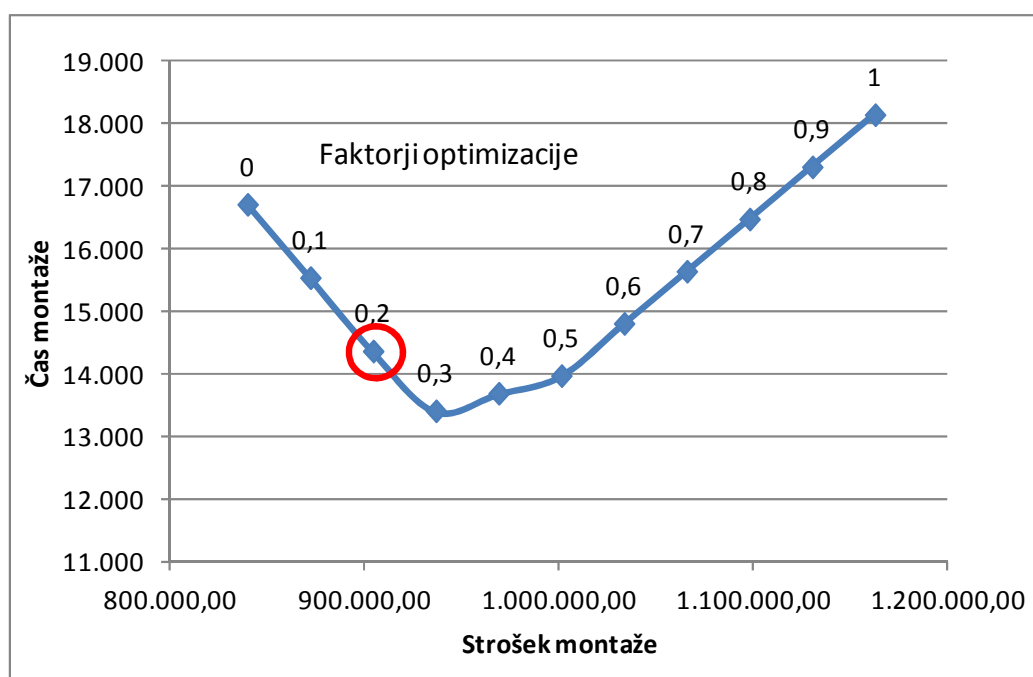
6.12.2 Rezultati optimizacije strege po stroškovnem kriteriju

Iz preglednice 6.4 in slike 6.20 je razviden vpliv faktorja optimizacije na čas in strošek montaže pri optimizaciji po stroškovnem kriteriju. Pri vrednosti 0 je strošek montaže najnižji, čas montaže je dokaj velik, ni pa največji. Razvrstitev izdelkov je nastavljena tako, da stroji z nižjim obdelovalnim stroškom, prevzamejo več izdelkov. Imajo pa ti stroji daljši čas

obdelave. Pri vrednosti faktorja optimizacije 1 sta strošek in čas montaže največja. Če bi pri stroškovni optimizaciji iskali najboljše razmerje med stroškom in časom bi se odločili za optimizacijski postopek po faktorju optimizacije 0,3 ali 0,4.

Preglednica 6.4: Rezultati razvrščanja izdelkov optimizacije po stroškovnem kriteriju

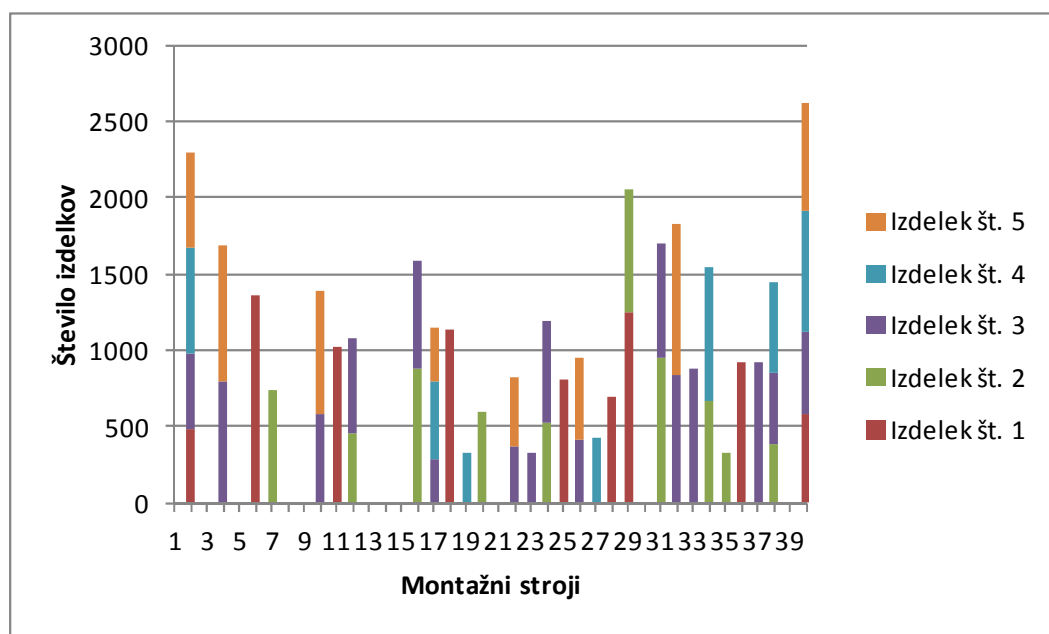
Faktor optimizacije [0-1]	Čas montaže [časovna enota]	Strošek montaže [stroškovna enota]
0	16.702	839.708,00
0,1	15.530	871.970,00
0,2	14.357	904.227,00
0,3	13.403	936.490,00
0,4	13.682	968.747,00
0,5	13.966	1.001.010,00
0,6	14.799	1.033.264,00
0,7	15.634	1.065.527,00
0,8	16.467	1.097.784,00
0,9	17.302	1.130.047,00
1	18.135	1.162.303,00



Slika 6.20: Množica optimalnih rešitev optimizacije po stroškovnem kriteriju in njihovo razmerje med stroškom in časom montažnega procesa s faktorji optimizacije

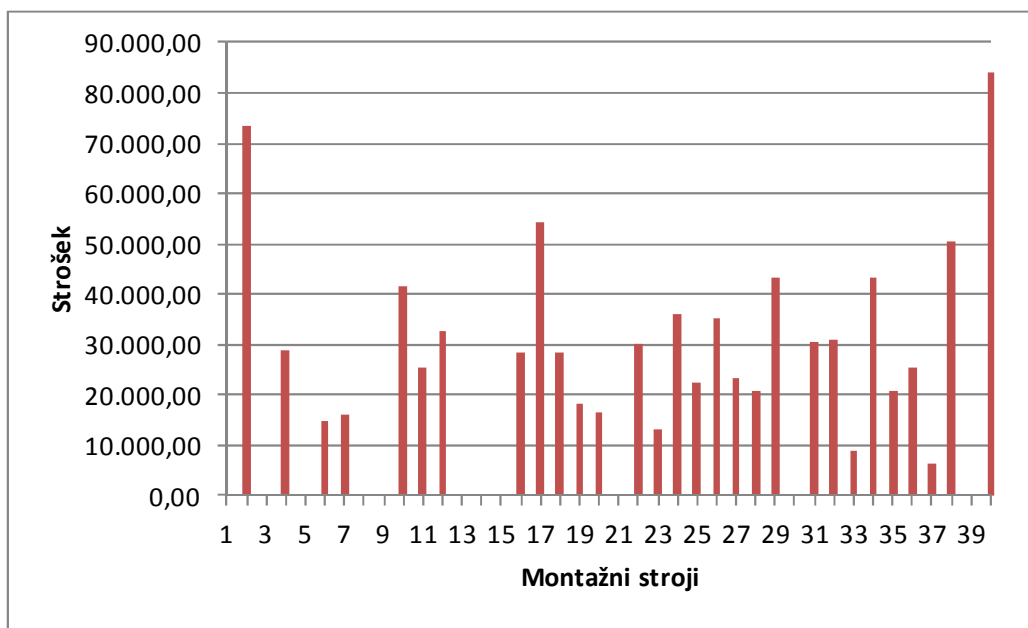
6.12.3 Izbor zelenega optimizacijskega postopka

Ob predpostavki, da imamo na voljo toliko časa, da lahko razmišljamo o ukrepih za montažni proces z nižjimi montažnimi stroški in ne predolgem montažnem času bomo izbrali optimizacijo montažnega procesa po stroškovnem kriteriju pri optimizacijskem faktorju 0,2 (označeno na sliki 6.20), kjer bo strošek montaže znašal 904.227,00 stroškovnih enot, montaža pa bo opravljena v času 14.357 časovnih enot. Razvrstitev izdelkov med stroje po izbranem stroškovnem optimizacijskem postopku je razvidna na sliki 6.21.

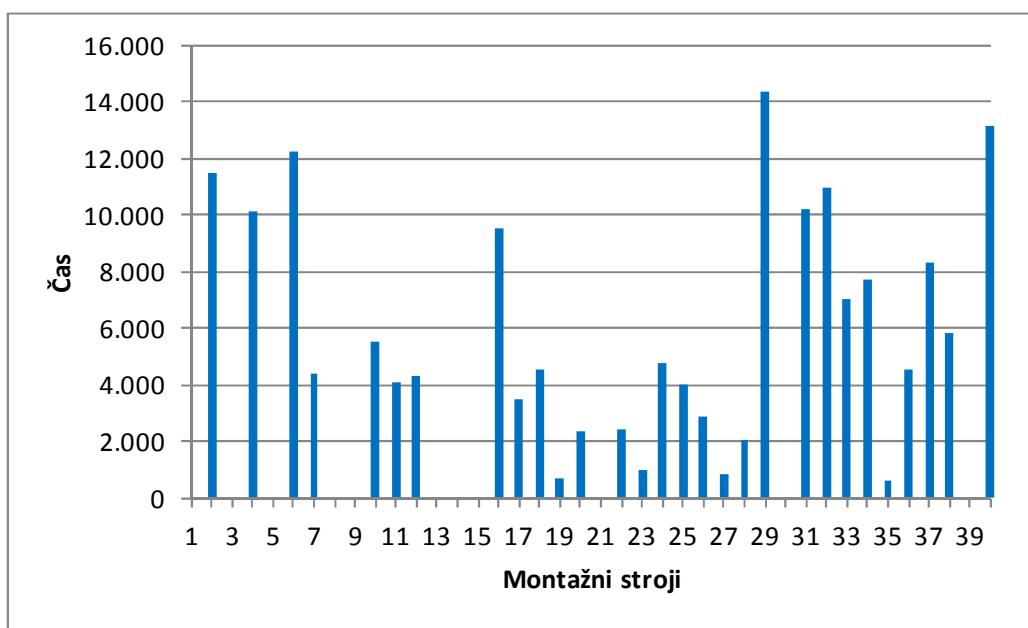


Slika 6.21: Razvrstitev izdelkov med izbrane stroje po stroškovnem kriteriju in faktorju optimizacije 0,2

Slika 6.22 prikazuje stroške po strojih glede na razvrstitev izdelkov. Skupen strošek je seštevek stroškov vsakega stroja posebej in znaša 904.227,00 stroškovnih enot. Na sliki 6.23 je prikazan porabljen čas montaže na vsakem stroju. Končni čas montažnega procesa je čas, ko konča zadnji stroj, kar znaša 14.357 časovnih enot.



Slika 6.22: Razvrstitev stroškov montaže izbranih strojev glede na razporeditev izdelkov po stroškovnem kriteriju in faktorju optimizacije 0,2



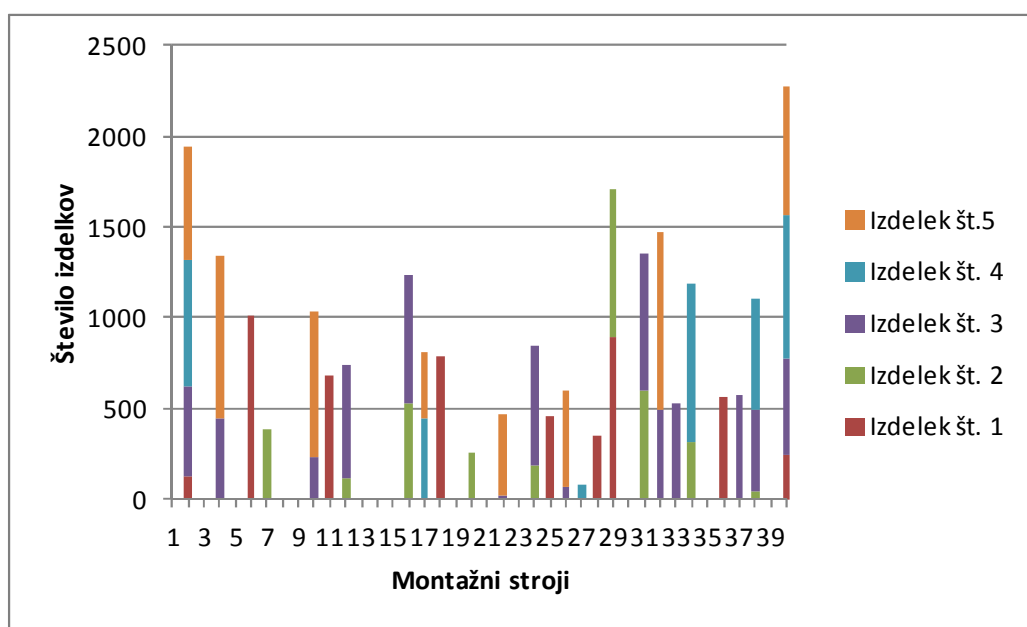
Slika 6.23: Razvrstitev časov montaže izbranih strojev glede na razporeditev izdelkov po stroškovnem kriteriju in faktorju optimizacije 0,2

6.12.4 Prehodi med optimizacijskimi scenariji

Razviti sistem optimizacije razvrščanja omogoča prehode med proizvodnimi scenariji tudi v fazi izvajanja enega izmed optimiranih proizvodnih scenarijev. Med montažnim procesom se lahko zgodi, da dobimo naročilo montaže nove serije izdelkov in je potrebno proizvodni

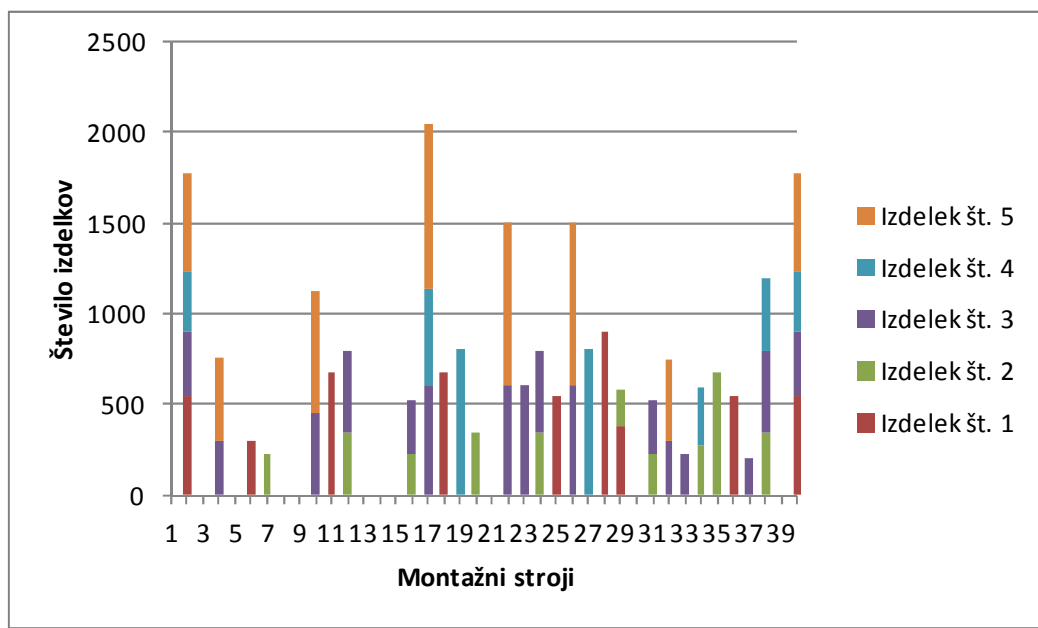
proces, ki je v teku pohitrili. Prehod v drugo obliko optimiranega proizvodnega scenarija se lahko izvede kadarkoli med izvajanjem enega izmed proizvodnih scenarijev. Prav tako je možno izvesti več prehodov med optimiranimi proizvodnimi scenariji.

V kolikor dobimo naročilo nove serije izdelkov, obstoječ montažni proces pa je obdelal že približno 10.000 izdelkov od skupno 33.810 izdelkov, lahko z razvitim sistemom za optimizacijo izvedemo spremembo optimizacijskega scenarija. Pri ustavitvi trenutnega montažnega procesa je na čakanju še približno 23.810 izdelkov, ki so po trenutnem optimizacijskem scenariju po montažnih strojih razporejeni kot je prikazano na sliki 6.24.



Slika 6.24: Ostanek razvrstitve izdelkov po prekinitvi med izbranimi stroji po stroškovnem kriteriju in faktorju optimizacije 0,2

Ker je potrebno montažni proces v izvajanju pospešiti, se odločimo za optimizacijski scenarij po časovnem kriteriju in faktorju optimizacije 0. Sistem za preostale izdelke postavi nov proizvodni scenarij (tj. nova razvrstitev preostalih izdelkov med stroje po časovnem optimizacijskem kriteriju), kot je prikazano na sliki 6.25.



Slika 6.25: Nova razvrstitev čakajočih izdelkov med izbrane stroje po časovnem optimizacijskem kriteriju in faktorju optimizacije 0

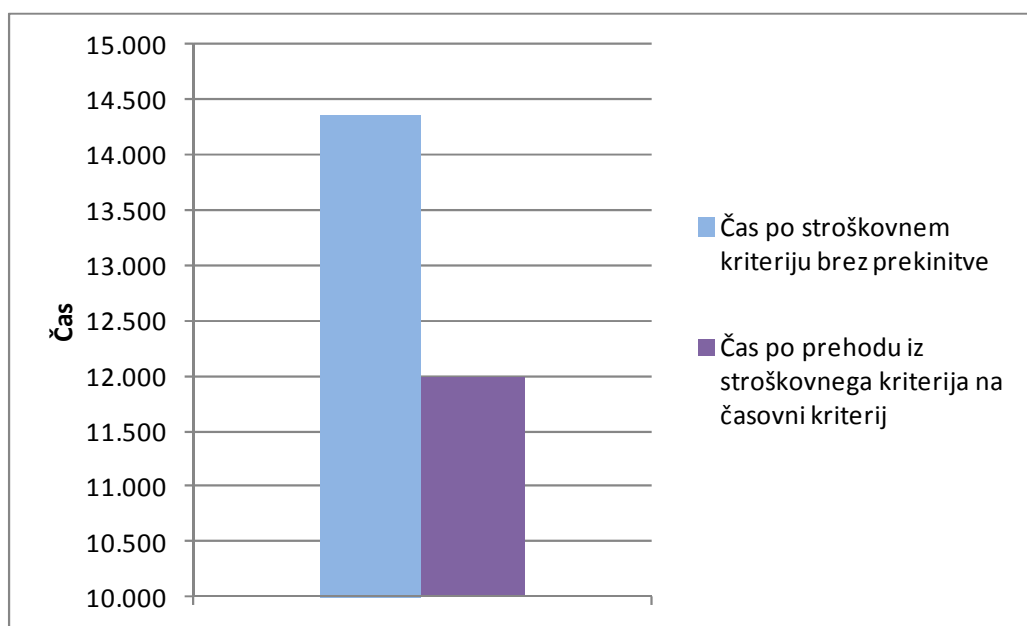
Ko smo se odločili pohitriti montažni proces, se je povečal tudi strošek montaže. Strošek montaže po prvotni optimizaciji je bil predviden na 904.227,00 stroškovnih enot, strošek montaže po prehodu na nov proizvodni scenarij pa se je povečal na 1.071.713,00 stroškovnih enot. S preходом na nov proizvodni scenarij se je strošek povečal za približno 18,5%. Slika 6.26 prikazuje razmerje stroškov med proizvodnim scenarijem po prvotnem stroškovnem optimizacijskem kriteriju, če bi ga pripeljali do konca in med novim proizvodnim scenarijem, ko smo se med izvajanjem prvotnega optimizacijskega procesa odločili za prehod na nov proizvodni scenarij po časovnem kriteriju.

S preходом na nov proizvodni scenarij po časovnem optimizacijskem kriteriju se je čas montaže skrajšal iz 14.357 časovnih enot na 11.980 časovnih enot, kar je približno 16,56% krajši čas od prvotnega.

Razmerje montažnih časov montažnega procesa med proizvodnim scenarijem po stroškovnem optimizacijskem kriteriju, če bi ga pripeljali do konca in med novim proizvodnim scenarijem, ko smo se med izvajanjem prvotnega optimizacijskega procesa odločili za prehod na nov proizvodni scenarij po časovnem kriteriju, prikazuje slika 6.27.



Slika 6.26: Razmerje stroškov med prvotnim proizvodnim scenarijem po stroškovnem optimizacijskem kriteriju, če bi ga pripeljali do konca in med novim proizvodnim scenarijem po časovnem optimizacijskem kriteriju zaradi pohitritve procesa v teku



Slika 6.27: Razmerje časov med prvotnim proizvodnim scenarijem po stroškovnem optimizacijskem kriteriju, če bi ga pripeljali do konca in med novim proizvodnim scenarijem po časovnem optimizacijskem kriteriju zaradi pohitritve procesa v teku

6.12.5 Optimizacija poti strege

Z razvitim sistemom za optimizacijo iščemo tudi najbolj optimalno pot strege izdelka za montažo od stroja do stroja pod pogojem, da mora zajeti vse razpoložljive stroje in vsakega obiti samo enkrat.

Pri zaganjanju programa se lahko zgodi, da z vsako evolucijo ne pridemo do rešitve, ker lahko evolucija zaide do lokalnega optimuma, od koder genetski algoritem, zaradi pomanjkanja ustreznega genetskega materiala, ni več zmožen napredovati [12]. Zato je priporočljivo, da evolucijsko iskanje večkrat ponovimo in določimo največje število generacij, do katere je evolucijo še smiselno izvajati.

Med uspešne rezultate štejemo evolucije, ki so boljše od povprečja izvedenih evolucij (enačba 6.5) [12]:

$$d_p = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (6.5)$$

- d_p – povprečna dolžina poti v n evolucijah
 d_i – najkrajša pot v posamezni evoluciji
 n – število evolucij
 i – indeks evolucij

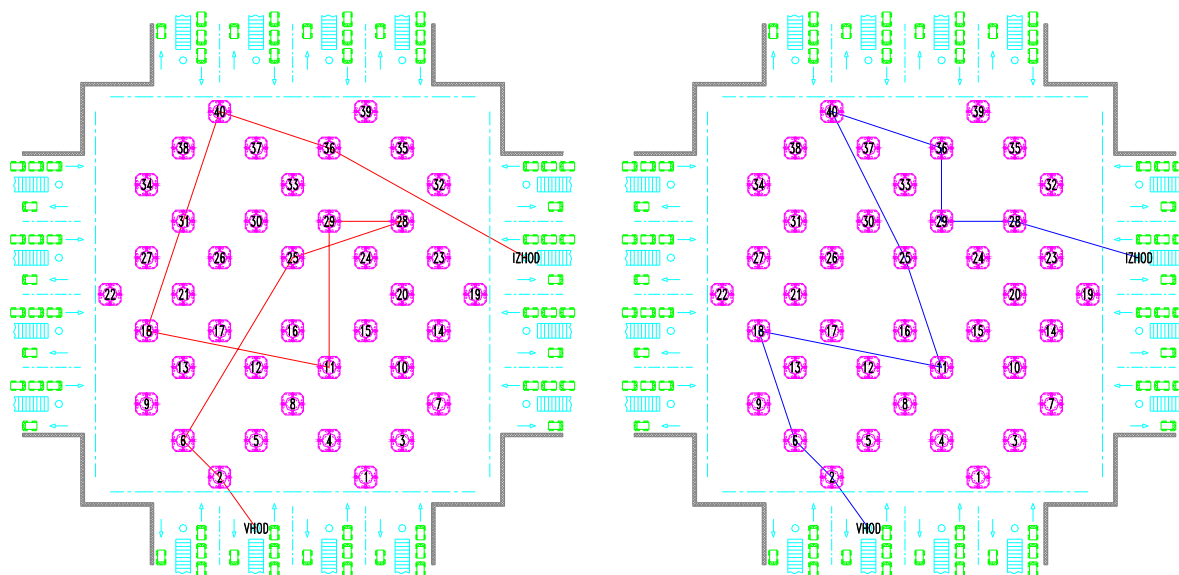
Po nekajkratnih zagonih programa, sem za vsako serijo izdelkov dobil naslednje rezultate:

Izdelek št. 1:

Izbranih je bilo 9 montažnih strojev, po opravljeni optimizaciji poti strege pa je bila povprečna vrednost evolucij 166,48 dolžinskih enot. Najbolj optimalna rešitev je bila dosežena v četrti evoluciji, med uspešne evolucije pa spadajo še evolucije 2, 7, 9 in 10. V preglednici 6.5 in na sliki 6.28 sta za primerjavo prikazana rezultata najboljšega organizma v najslabši evoluciji in najboljšega organizma v najboljši evoluciji.

Preglednica 6.5: Primerjava najslabše in najboljše evolucije za izdelek št. 1

IZDELEK ŠT. 1	Najboljši organizem NAJSLABŠE EVOLUCIJE	Najboljši organizem NAJBOLJŠE EVOLUCIJE
Številka EVOLUCIJE	1	4
Vrednost organizma (dolžina poti)	194,45	148,68
Številka generacije	191 od 600	312 od 600
Vrstni red strojev	(2 6 25 28 29 11 18 40 36)	(2 6 18 11 25 40 36 29 28)



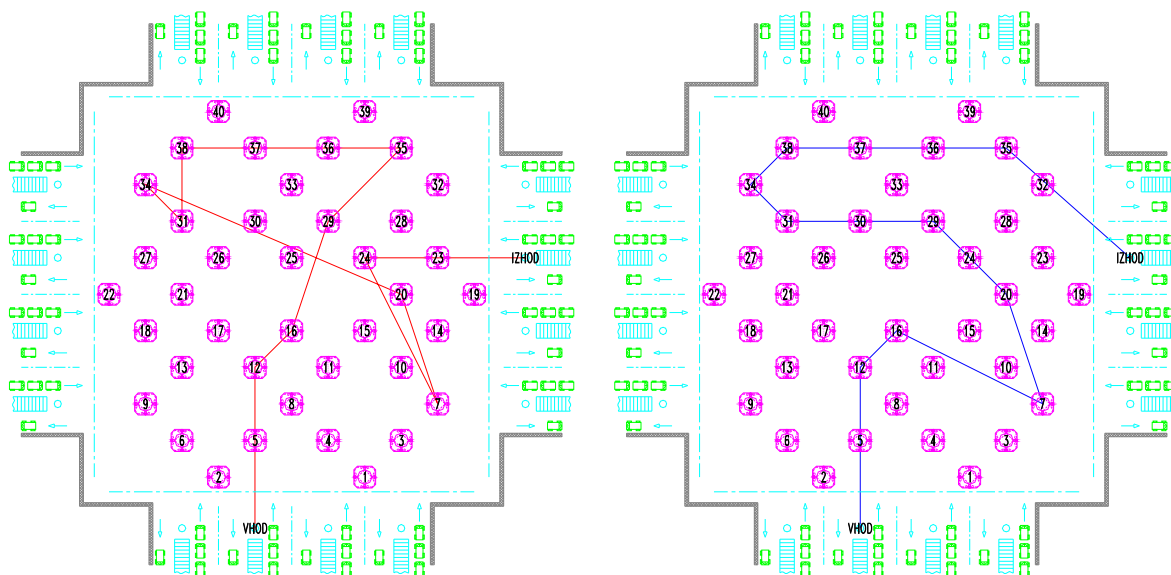
Slika 6.28: Primerjava izrisane poti najboljšega organizma v najslabši in v najboljši evoluciji za izdelek št. 1

Izdelek št. 2:

Izbranih je bilo 10 montažnih strojev, po opravljeni optimizaciji poti strege pa je bila povprečna vrednost evolucij 183,88 dolžinskih enot. Najbolj optimalna rešitev je bila dosežena v deseti evoluciji, med uspešne evolucije pa spadata še evoluciji 6 in 9. V preglednici 6.6 in na sliki 6.29 sta za primerjavo prikazana rezultata najboljšega organizma v najslabši evoluciji in najboljšega organizma v najboljši evoluciji.

Preglednica 6.6: Primerjava najslabše in najboljše evolucije za izdelek št. 2

IZDELEK ŠT. 2	Najboljši organizem NAJSLABŠE EVOLUCIJE	Najboljši organizem NAJBOLJŠE EVOLUCIJE
Številka EVOLUCIJE	2	10
Vrednost organizma (dolžina poti)	204,34	168,19
Številka generacije	38 od 600	410 od 600
Vrstni red strojev	(12 16 29 35 38 31 34 20 7 24)	(12 16 7 20 24 29 31 34 38 35)



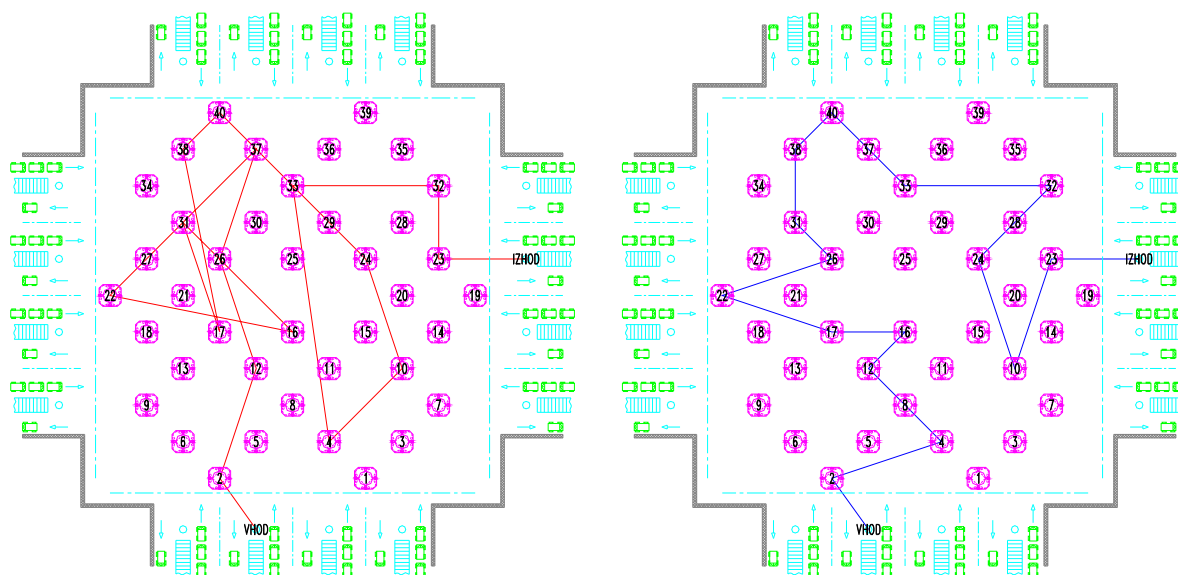
Slika 6.29: Primerjava izrisane poti najboljšega organizma v najslabši in v najboljši evoluciji za izdelek št. 2

Izdelek št. 3:

Izbranih je bilo 16 montažnih strojev, po opravljeni optimizaciji poti strege pa je bila povprečna vrednost evolucij 286,04 dolžinskih enot. Najbolj optimalna rešitev je bila dosežena v deseti evoluciji, med uspešne evolucije pa spadata še evoluciji 3 in 9. V preglednici 6.7 in na sliki 6.30 sta za primerjavo prikazana rezultata najboljšega organizma v najslabši evoluciji in najboljšega organizma v najboljši evoluciji.

Preglednica 6.7: Primerjava najslabše in najboljše evolucije za izdelek št. 3

IZDELEK ŠT. 3	Najboljši organizem NAJSLABŠE EVOLUCIJE	Najboljši organizem NAJBOLJŠE EVOLUCIJE
Številka EVOLUCIJE	1	10
Vrednost organizma (dolžina poti)	315,0	203,29
Številka generacije	441 od 600	509 od 600
Vrstni red strojev	(2 12 26 37 22 16 31 17 38 40 24 10 4 33 32 23)	(2 4 12 16 17 22 26 31 38 40 37 33 32 24 10 23)

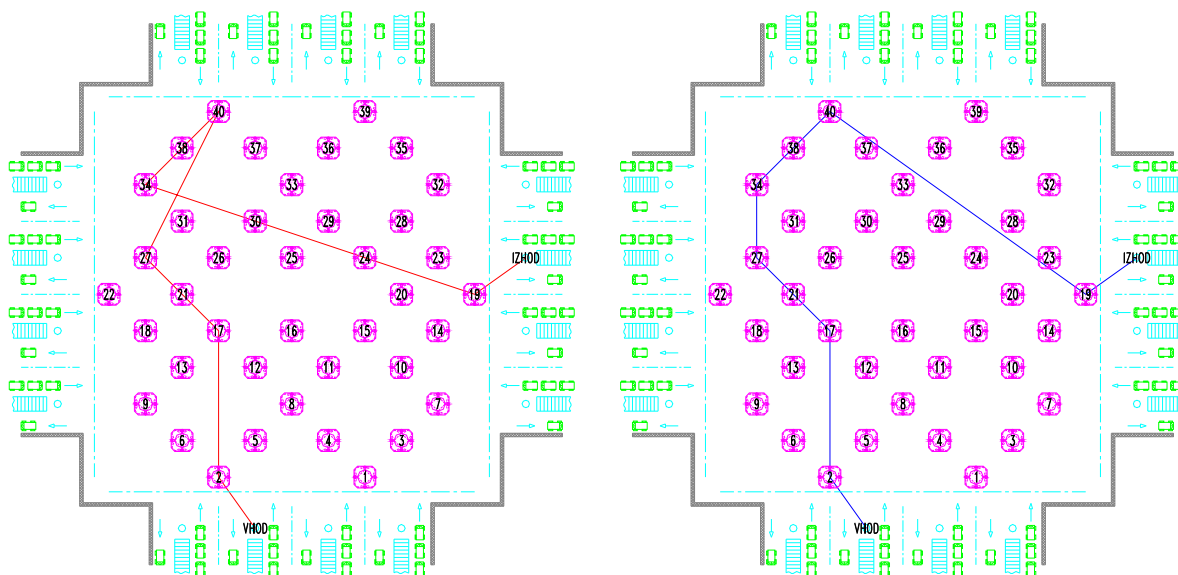
**Slika 6.30:** Primerjava izrisane poti najboljšega organizma v najslabši in v najboljši evoluciji za izdelek št. 3

Izdelek št. 4:

Izbranih je bilo 7 montažnih strojev, po opravljeni optimizaciji poti strege pa je bila povprečna vrednost evolucij 125,48 dolžinskih enot. Najbolj optimalna rešitev je bila dosežena v četrti evoluciji, med uspešne evolucije pa spadajo še evolucije 7, 8, 9 in 10. V preglednici 6.8 in na sliki 6.31 sta za primerjavo prikazana rezultata najboljšega organizma v najslabši evoluciji in najboljšega organizma v najboljši evoluciji.

Preglednica 6.8: Primerjava najslabše in najboljše evolucije za izdelek št. 4

IZDELEK ŠT. 4	Najboljši organizem NAJSLABŠE EVOLUCIJE	Najboljši organizem NAJBOLJŠE EVOLUCIJE
Številka EVOLUCIJE	2	4
Vrednost organizma (dolžina poti)	135,28	118,5
Številka generacije	45 od 600	112 od 600
Vrstni red strojev	(2 17 27 40 38 34 19)	(2 17 27 34 38 40 19)

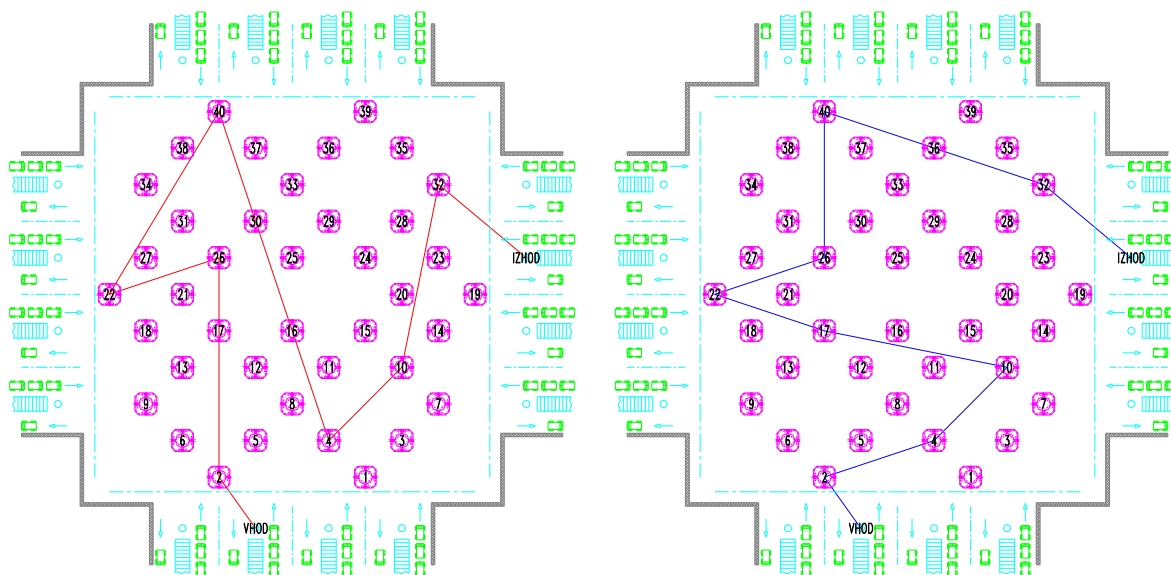
**Slika 6.31:** Primerjava izrisane poti najboljšega organizma v najslabši in v najboljši evoluciji za izdelek št. 4

Izdelek št. 5:

Izbranih je bilo 8 montažnih strojev, po opravljeni optimizaciji poti strege pa je bila povprečna vrednost evolucij 171,21 dolžinskih enot. Najbolj optimalna rešitev je bila dosežena v osmi evoluciji, med uspešne evolucije pa spadajo še evolucije 1, 9 in 10. V preglednici 6.9 in na sliki 6.32 sta za primerjavo prikazana rezultata najboljšega organizma v najslabši evoluciji in najboljšega organizma v najboljši evoluciji.

Preglednica 6.9: Primerjava najslabše in najboljše evolucije za izdelek št. 5

IZDELEK ŠT. 5	Najboljši organizem NAJSLABŠE EVOLUCIJE	Najboljši organizem NAJBOLJŠE EVOLUCIJE
Številka EVOLUCIJE	2	8
Vrednost organizma (dolžina poti)	186,26	162,91
Številka generacije	84 od 600	205 od 600
Vrstni red strojev	(2 17 26 22 40 4 10 32)	(2 4 10 17 22 26 40 32)



Slika 6.32: Primerjava izrisane poti najboljšega organizma v najslabši in v najboljši evoluciji za izdelek št. 5

6.12.6 Stroškovno ovrednotenje strege

Da lahko ovrednotimo pot strege v montažnem procesu, moramo izbrati način transporta do montažnih strojev. V nalogi sem se odločil za avtomatsko vodeno vozilo AGV s svojim nadzornim sistemom za preprečitev trčenja z drugimi vozili ali naključnimi ovirami na svoji poti. V preglednici 6.10 so podani podatki o nosilnosti avtomatsko vodenega vozila glede na velikosti montažnih izdelkov.

Preglednica 6.10: Nosilnost avtomatsko vodenega vozila AGV

Rangirana velikost izdelka	Nosilnost AGV [št. kosov]
1	100
2	80
3	60
4	40
5	20

Strego sem ovrednotil glede na velikost serije, nosilnost avtomatsko vodenega vozila AGV in dolžino poti strege v razmerju kot je zapisano v enačbi 6.6. Za strošek transporta na enoto dolžine sem izbral $f_d = 1$ stroškovna enota na enoto dolžine. Rezultati ovrednotenja stroškov poti strege so podani v preglednici 6.11.

$$Stp = \sum_{i=1}^n Stp_i = \frac{Z_i}{G_i} \cdot d_i \cdot f_d \quad (6.6)$$

Stp – skupen strošek poti strege

Stp_i – strošek poti strege za posamezen izdelek

Z_i – število kosov v seriji

G_i – nosilnost avtomatsko vodenega vozila AGV

d_i – dolžina poti strege

f_d – cena na enoto dolžine (izberem $f_d = 1$ stroškovna enota na enoto dolžine)

n – število različnih vrst izdelkov

Preglednica 6.11: Ovrednotenje stroškov strege z avtomatsko vodenimi vozili AGV

Izdelek št.	Vrsta montaže	Velikost izdelkov	Serijska (Z _i)	Nosilnost AGV (G _i)	Pot strege (d _i)	Strošek (St _i)
1	A	3	8246	60	148,68	20.433,59
2	B	2	6328	80	168,19	13.303,83
3	C	1	9644	100	203,29	19.605,29
4	D	2	4220	80	118,5	6.250,88
5	C	4	5372	40	162,91	21.878,81
					Σ 801,57	Σ 81.472,39

Končen strošek strege za izbrano transportno vozilo je 81.472,39 stroškovnih enot.

6.12.7 Rekapitulacija stroškov in časa optimiranega montažnega procesa

STROŠEK MONTAŽNEGA PROCESA	stroškovna enota
Prvotno predviden strošek proizvodnega scenarija po stroškovnem optimizacijskem kriteriju	904.227,00
Strošek po prehodu iz prvotnega na nov proizvodni scenarij po časovnem optimizacijskem kriteriju	1.071.713,00
Strošek strege	81.472,39
STROŠEK SKUPAJ	1.153.185,39
ČAS MONTAŽNEGA PROCESA	časovna enota
Prvotno predviden čas proizvodnega scenarija po stroškovnem optimizacijskem kriteriju	14.357
Čas po prehodu iz prvotnega na nov proizvodni scenarij po časovnem optimizacijskem kriteriju	11.980
ČAS SKUPAJ	11.980

7 ZAKLJUČEK

V magistrski nalogi sem izvedel praktični primer reševanja večkriterijske optimizacije strege in razvrščanja z izdelavo lastnega razvitega sistema s katerim sem želel doseči najbolj optimalne rešitve med razmerjem porabljenega časa in stroška montaže. Prav tako sem želel doseči možnost prehodov med različnimi optimizacijski postopki tudi v fazi izvajanja in s tem zagotoviti učinkovito prilagodljivost razmeram v danem trenutku ter poiskati najbolj optimalno pot strege do montažnih strojev.

Praktični del naloge je zajemal:

- opredelitev problema večkriterijske optimizacije,
- razvoj in izdelavo lastnega sistema za večkriterijsko optimizacijo strege ter obdelavo dobljenih podatkov,
- zaganjanje sistema in beleženje rezultatov,
- ovrednotenje dobljenih rezultatov v obliki diagramov in preglednic.

Ker sta čas in strošek dva med najpomembnejšimi dejavniki v prilagodljivih proizvodnih sistemih na katere želimo vplivati, zato tudi razviti sistem za optimizacijo uporablja ta dva dejavnika kot ključna kriterija za optimizacijo razvrščanja izdelkov med stroje.

Na podlagi dobljenih rezultatov testiranj sem prišel do naslednjih ugotovitev:

- za razvrščanje izdelkov med stroje se lahko optimizacijska kriterija po času in strošku uporabljata samostojno ali izmenjujoče stopenjsko,
- uporabljamo lahko poljubne razvrstitve strojev,
- iz množice optimalnih rešitev izbiramo med tistimi, ki so v danem trenutku najboljše,
- možni so večkratni prehodi med optimizacijskimi postopki, tudi v fazi izvajanja,
- pri optimizaciji strege so genetski algoritmi zelo učinkovita metoda, še zlasti pri večjem številu strojev.

Razviti sistem za večkriterijsko optimizacijo je narejen tako, da uporabniku omogoča veliko svobode pri določanju karakterističnih lastnosti montažnih strojev in postavljanju kriterijev za želeno izdelke. Prav tako imamo zaradi možnosti prehodov med optimizacijskimi postopki tudi v fazi izvajanja, na razpolago prilagajati proizvodne scenarije montažnega sistema spreminjajočim se zahtevam.

Pri izvajanju optimizacije zastavljenega primera v nalogi sem prišel do naslednjih zaključkov:

- ob predpostavki, da je bilo na voljo toliko časa, da smo lahko razmišljali o ukrepih za montažni proces z nižjimi montažnimi stroški in ne predolgem montažnem času smo izbrali optimizacijo montažnega procesa po stroškovnem kriteriju pri optimizacijskem faktorju 0,2, kjer je strošek montaže zanašal 904.227,00 stroškovnih enot, montažni čas pa 14.357 časovnih enot,
- v fazi izvajanja po izbranem proizvodnem scenariju in po obdelavi približno 10.000 izdelkov od skupno 33.810, smo izvedli spremembo proizvodnega scenarija z namenom pohitriti montažo in se odločili nadaljevati po časovnem optimizacijskem kriteriju pri faktorju optimizacije 0,
- s preходом na nov proizvodni scenarij se je čas montaže skrajšal za 16,56% na 11.980 časovnih enot, strošek montaže pa se je povečal za 18,5% na 1.071.713,00 stroškovnih enot,
- za izvajanje strege v montažnem procesu sem izbral avtomatsko vodeno vozilo AGV in na podlagi njegove nosilnosti, velikosti serij izdelkov in dolžin opravljenih poti za vsako vrsto izdelka ovrednotil strošek strege, ki je nanese 81.472,39 stroškovnih enot,
- skupen strošek montažnega sistema je na koncu znašal 1.153.185,39 stroškovnih enot in je bil opravljen v času 11.980 časovnih enot.

Raziskava je pokazala, da je v nalogi razvit sistem lahko tudi praktično uporaben kot pomoč pri optimizaciji v prilagodljivih proizvodnih sistemih, kot so montažni sistemi, obdelovalni sistemi, skladiščni sistemi ali sistemi s serijsko proizvodnjo. Uporabimo ga lahko tudi kot pomoč pri snovanju novega prilagodljivega proizvodnega sistema ali pri razporejanju novih strojev v obdelovalni proces. Ima pa razviti sistem še vedno pomanjkljivosti, ki jih je možno z nekaj programskimi razširitvami v določenih segmentih odpraviti ali vsaj omiliti. V primeru, če bi želeli še več kriterijev je možno programsko kodo enostavno razširiti ali jo prilagoditi na

bolj specifičen problem in tako omogočiti vpis dejanskih karakterističnih podatkov strojev, izdelkov ali transportnih sredstev.

8 PRILOGE

Priloga 1: Programska jezika AutoLISP in Visual LISP

V magistrski nalogi sem programiral s programskim jezikom AutoLISP in Visual LISP, ki sta sestavni del grafičnega vmesnika AutoCAD. V nadaljevanju podajam nekaj informacij o zgodovini razvoja programskega jezika LISP in nekaj osnov njegove sintakse.

Zgodovina Liska:

Programski jezik LISP (LISt Processing) spada v družino najstarejših jezikov z bogato zgodovino, njegova značilnost pa so zapisi v oklepajih [26]. LISP je drugi najstarejši visokonivojski programski jezik, ki je še v uporabi takoj za Fortranom, ki je le malo starejši. Njegov nastanek seže v leto 1958, ko ga je razvil J. McCarty za potrebe razvoja umetne inteligence. Iz LISP-a je nastalo več izpeljank kot so MacLISP, InterLISP, CommonLISP, Scheme, ZetaLISP, OpenLISP, AutoLISP in Visual LISP.

Leta 1986 je bil AutoLISP vpeljan kot programski vmesnik v grafičnem programu AutoCAD v verziji 2.1 [2].

AutoLISP je sestavljen iz niza izrazov in ima naslednjo obliko zapisa [2]:

```
(funkcija  
argumenti ...  
).
```

Vsak izraz se prične z začetnim levim oklepajem in sestoji iz nazivne funkcije in opsijskega argumenta za to funkcijo. Vsak argument je lahko tudi izraz, vsak izraz pa se konča z zaključenim desnim oklepajem in vrne vrednost, ki jo obdajajoči izraz lahko uporabi.

Tako je vrednost zadnjega ovrednotenega izraza vrnjena na začetni kličeči izraz. To lahko ponazorimo za naslednjim primerom kjer izraz vsebuje tri funkcije [2]:

```
(fun1 (fun2
argumenti) (fun3
argumenti)).
```

Če zapis takšne kode vnesemo v AutoCAD-ovo ukazno vrstico, jo nato AutoLISP-ov interpreter (tolmač) obdela. Prva funkcija *fun1* ima dva argumenta, drugi dve funkciji *fun2* in *fun3* imata pa vsaka po en argument, obdani sta pa s funkcijo *fun1*. Njuni vrnjeni vrednosti sta argument funkcije *fun1*, ki ti dve vrednosti ovrednoti in vrne končno vrednost v ukazni vrstici kjer smo vnesli zapis te kode. Naslednji primer kaže uporabo funkcije množenja, ki lahko sprejme eno ali več številčnih vrednosti kot argumente.

Command: (* 2 26)

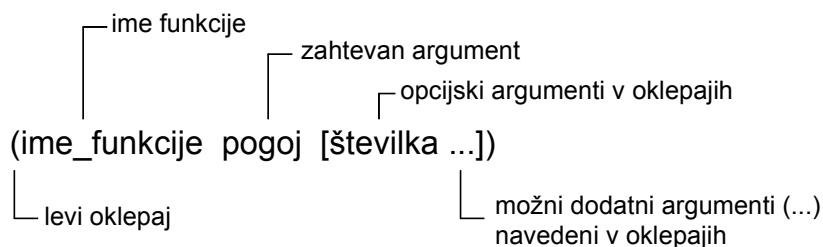
Lisp vrne: 52

Izrazi, ki so ugnezdjeni znotraj drugih izrazov vrnejo rezultat obdajajočim izrazom. Naslednji primer uporablja rezultat funkcije seštevanja kot enega izmed argumentov funkcije množenja.

Command: (* 2 (+ 5 10))

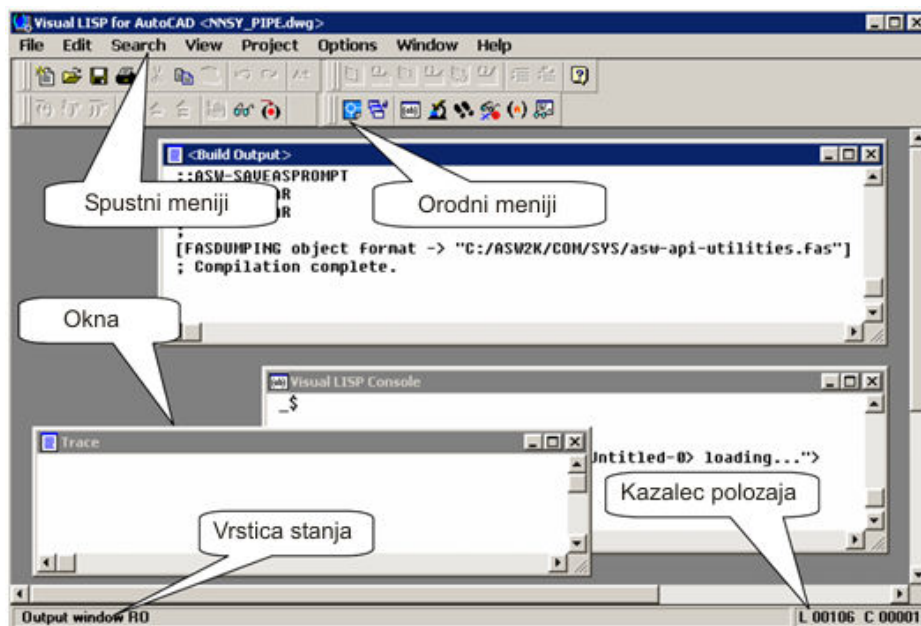
Lisp vrne: 30

Na sliki 8.1 je prikazana sintaksa AutoLISP - ovih funkcij [2]:



Slika 8.1: Sintaksa AutoLISP-ovih funkcij

Z izdajo verzije AutoCAD 2000 je Visual LISP zamenjal starejši AutoLISP-ov interpreter in postal sestavni del AutoCAD-a [33]. Visual LISP vsebuje številne izboljšave kot so vgrajen uporabniški vmesnik z direktnim sintaktičnim pregledovalnikom, razhroščevalnikom ter še več programerju zelo uporabnih orodij, kar je razvidno iz slike 8.2. Brez vsakršnih problemov pa lahko v Visual LISP-ovem grafičnem vmesniku hkrati programiramo z ukazi AutoLISP-a in Visual LISP-a.



Slika 8.2: Uporabniški vmesnik Visual LISP

9 LITERATURA

- [1] Automated assembly systems [svetovni splet]. *Visvesvaraya Technological University, Belgaum India (e-Learning Centre Mysore)*. Dostopno na WWW: <http://elearning.vtu.ac.in/11/enotes/CompIntManf/unit5-KM.pdf> [24.03.2014].
- [2] AutoLISP Developer's Guide. *Autodesk, Inc.*, Januar 2012.
- [3] Balič Jože: *Prilagodljivi obdelovalni sistemi : univerzitetni učbenik*. Maribor : Fakulteta za strojništvo, 2000.
- [4] Brezočnik Miran.: *Uporaba genetskega programiranja v inteligentnih proizvodnih sistemih : znanstvena monografija*. Maribor : Fakulteta za strojništvo, 2000.
- [5] Brezočnik Miran, Brezovnik Simon. *Montažni sistemi : skripta*. Maribor : Fakulteta za strojništvo, 2011.
- [6] Brezovnik Simon. *Optimizacija delovanja izdelovalnih strojev in sistemov z uporabo skupinske inteligence : doktorska disertacija*. Maribor : Fakulteta za strojništvo, 2011.
- [7] Chang Tien-Chien, Wysk A. Richard, Wang Hsu-Pin. *Computer-Aided Manufacturing, Second edition*. Prentice Hall, 1998.
- [8] Danišova Nina, Velišek Karol. *Intelligent manufacturing and assembly system : Machine design, The Journal of Faculty of Technical Sciences Novi Sad (2007)*, str. 413 – 416.

- [9] Dobnikar Andrej, Lotrič Uroš, Šter Branko, Trebar Mira. Inteligentni sistem vodenja proizvodne linije gumijevih profilov : *Organizacija* (apr. 2004), vol. 37, no. 4, str. 234-241.
- [10] Elbeltagi Emad, Hegazy Tarek, Grierson Donald. Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms. *Elsevier, Advanced Engineering Informatics* (2005). vol. 19, no. 1, str. 43–53.
- [11] *Enhances Automatic Control of AGVs* [svetovni splet]. Dostopno na WWW: <http://www.intechennai.com/applicationDetails1.php?appId=6&a=1> [24.03.2014].
- [12] Gerčar Primož. *Optimiranje strege v prilagodljivih obdelovalnih sistemih z genetskimi algoritmi : diplomska naloga visokošolskega študija*. Maribor : Fakulteta za strojništvo, 2003.
- [13] Herakovič Niko. Analiza stanja trendov in raziskav ter razvoja v stregi in montaži. *Revija Ventil* (2008), vol. 14, no. 6, str. 544 – 550.
- [14] *Holarchy Design* [svetovni splet]. *SET Laboratoire Systemes et Transports*. Dostopno na WWW: <http://set.utbm.fr/index.php?pge=373> [24.03.2014].
- [15] Hrnčič Dejan. *Memetski algoritem za sklepanje o kontekstno neodvisnih gramatikah in njegova uporaba pri načrtovanju domensko specifičnega jezika : doktorska disertacija*. Maribor : Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2012.
- [16] Kopač Janez, Noe Dragica. *Strega in montaža : univerzitetni učbenik*. Ljubljana : Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 1989.
- [17] Kumar Surender. *Intelligent manufacturing systems* : Department of Production Eng. B.I.T. Mesra, Ranchi [svetovni splet]. Dostopno na WWW: http://pchats.tripod.com/int_manu.pdf [24.03.2014].
- [18] Lipovšek Matjaž. *Optimizacija z rojem delcev : diplomsko delo univerzitetnega študija*. Maribor : Fakulteta za organizacijske vede, 2005.

- [19] Meziane Farid, Vadera Sunil, Kobbacy Khairy, Proudlove Nathan. Intelligent systems in manufacturing: current developments and future prospects : *Integrated Manufacturing Systems* (2000), Vol. 11, no. 4, str. 218 – 238.
- [20] *Motion Control for High-speed Conveyor* [svetovni splet]. Dostopno na WWW: <http://www.intechennai.com/applicationDetails1.php?appId=6&a=1> [24.03.2014].
- [21] *Motoman SDA Robot* [svetovni splet]. *Automotive design and production, Gardner Business Media*. Dostopno na WWW: <http://www.autofieldguide.com/articles/real-real-steel> [24.03.2014].
- [22] Negahban Ashkan, Smith S. Jeffrey. Simulation for manufacturing system design and operation : Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.12.007> [24.03.2014].
- [23] *Obstacle Detection of Automated Guided Vehicle (AGV)* [svetovni splet]. Dostopno na WWW: http://www.omron.com.vn/solutions/application_solutions/industry_details.asp?app_id=E429 [24.03.2014].
- [24] Pohlheim Hartmut. *Evolutionary Algorithms: Overview, Methods and Operators*. GEATbx (Genetic and Evolutionary Algorithm Toolbox for Matlab) version 3.8, 2006.
- [25] Ramesh R., Jyothirmai S., Lavanya K. Intelligent automation of design and manufacturing in machine tools using an open architecture motion controller. *Journal of Manufacturing Systems* (2013), vol. 32, str. 248– 259.
- [26] Reilly D. Edwin. Milestones in computer science and information technology. *Greenwood Publishing Group* (2003), str. 156 – 157.
- [27] Robič Tea, Filipič Bogdan. Večkriterijska optimizacija z evolucijskimi algoritmi. V : Zajc B. (ur). *Elektrotehniška in računalniška konferenca 2004. Zbornik trinajste mednarodne elektrotehniške in računalniške konference ERK 2004 : 27. - 29. september 2004. Ljubljana*. Ljubljana : IEEE Region 8, Slovenska sekcija IEEE 2004, str. 149 – 152.

- [28] Robič Tea, Filipič Bogdan. *Večkriterijsko optimiranje z genetskimi algoritmi in diferencialno evolucijo : Delovno poročilo IJS-DP 9065*. Ljubljana : Inštitut "Jožef Stefan", 2005.
- [29] Sawik Tadeusz. *Production Planning and assembling in Flexible Assembly Systems*. Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- [30] Sawik Tadeusz. *Scheduling in Supply Chains Using Mixed Integer Programming*. John Wiley & Sons Inc., 2011.
- [31] Scholz-Reiter B., Freitag M. Autonomous Processes in Assembly Systems. *CIRP Annals* (2007), vol. 56, no. 2, str. 712-729.
- [32] Srinivasan Dhasarathi, Gebretsadik Gebremedhin Tesfay. *Principles of material supply and assembly systems in an automotive production system : Master of Science Thesis in the Master Degree Programme, Production Engineering*. Chalmers university of Technology, Gothenburg, Sweden, 2011.
- [33] Stein M. David. *The Visual LISP Developers Bible Edition (v2)*, 2003.
- [34] Streichert Felix. *Introduction to Evolutionary Algorithms* : Presentation [svetovni splet]. Dostopno na WWW: http://www.ra.cs.uni-tuebingen.de/mitarb/streiche/publications/Introduction_to_Evolutionary_Algorithms.pdf [24.03.2014].
- [35] Zamuda Aleš. *Samoprilagajanje krmilnih parametrov pri algoritmu diferencialne evolucije za večkriterijsko optimizacijo : magistrsko delo*. Maribor : Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2008.
- [36] Zupan Jure. *Kemometrija in obdelava eksperimentalnih podatkov*. Inštitut nove revije, Zavod za humanistiko in Kemijski inštitut Ljubljana, 2009.

Življenjepis

Osební podatki:

Priimek / Ime: **GERČAR Primož**
Naslov: Ljubljanska cesta 58, 3000 Celje, Slovenija
Telefon: 031 589 507
E-pošta: primoz.gercar@siol.net
Državljanstvo: Slovensko
Datum rojstva: 06.04.1973
Spol: Moški

Izobraževanje:

Naziv in status ustanove:	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo Smetanova 17, SI-2000 Maribor
Obdobje:	Od oktober 2010 do april 2014
Izobraževanje:	Podiplomski magistrski študij
Smer:	Proizvodne tehnologije in sistemi
Naziv in status ustanove:	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo Smetanova 17, SI-2000 Maribor
Obdobje:	Od oktober 2000 do december 2003
Naziv izobrazbe:	Diplomirani inženir strojništva
Smer:	Proizvodno strojništvo
Naziv in status ustanove:	Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo Smetanova 17, SI-2000 Maribor
Obdobje:	Od oktober 1992 do junij 2000
Naziv izobrazbe:	Inženir strojništva
Smer:	Konstrukterstvo in gradnja strojev
Naziv in status ustanove:	Srednja tehniška šola Celje, Smer strojništvo Pot na Lavo 22, SI-3000 Celje
Obdobje:	Od september 1988 do junij 1992
Naziv izobrazbe:	Strojni tehnik

Delovne izkušnje:

- Delodajalec: **GEPRO, Primož Gerčar s.p.**
Ljubljanska cesta 58, SI-3000 Celje
- Vrsta dejavnosti: Druge inženirske dejavnosti in tehnično svetovanje
- Obdobje: Od 01.04.2011, še v delovnem razmerju
- Delovno mesto: Odgovorni projektant strojnih inštalacij in strojne opreme
- Glavne naloge in pristojnosti:
- projektiranje strojnih inštalacij in strojne opreme
 - izdelava projektnih dokumentacij (IDZ, PGD, PZI, PID)
 - risanje in obdelava tehnične oz. projektne dokumentacije
 - iskanje potencialnih strank ter izdelava ponudb
 - izvrševanje projektantskega nadzora pri izvedbi
 - sodelovanje pri pridobivanju projektnih pogojev, soglasij in gradbenega dovoljenja
 - stiki z domačimi in tujimi dobavitelji projektirane tehnološke opreme
 - pridobivanje ponudb od domačih in tujih izdelovalcev tehnološke opreme
 - stiki / sestanki z investitorji, nosilci projekta
 - stiki z izvajalci
- Delodajalec: **Haslauer, d.o.o.**
Zabukovica 87, SI-3302 Griže
- Vrsta dejavnosti: Druge inženirske dejavnosti in tehnično svetovanje
- Obdobje: Od 16.11.1999 do 30.06.2003 in od 01.04.2004 do 30.09.2010
- Delovno mesto: projektant, projektant-sodelavec
- Glavne naloge in pristojnosti:
- projektiranje strojnih inštalacij in strojne opreme
 - izdelava projektnih dokumentacij (IDZ, PGD, PZI, PID)
 - izvrševanje projektantskega nadzora pri izvedbi
 - sodelovanje pri pridobivanju projektnih pogojev, soglasij in gradbenega dovoljenja
 - stiki z domačimi in tujimi dobavitelji projektirane tehnološke opreme
 - pridobivanje ponudb od domačih in tujih izdelovalcev tehnološke opreme
 - stiki z investitorji, nosilci projekta
 - stiki z izvajalci
- Delodajalec: **Kota, d.o.o.**
Petrovče 237, SI-3301 Petrovče
- Vrsta dejavnosti: Proizvodnja hladilnih in prezračevalnih naprav, razen za gospodinjstva
- Obdobje: Od 01.01.2004 do 30.03.2004
- Delovno mesto: Konstrukter in obdelovalec tehnične dokumentacije
- Glavne naloge in pristojnosti:
- konstruiranje v pripravi dela
 - risanje in obdelava tehnične oz. projektne dokumentacije
- Delodajalec: **Container, d.o.o.**
Bežigrajska cesta 6, SI-3000 Celje
- Vrsta dejavnosti: Proizvodnja kovinskih konstrukcij in njihovih delov
- Obdobje: Od 01.07.2003 do 31.12.2003
- Delovno mesto: Tehnolog konstrukter I.
- Glavne naloge ali pristojnosti:
- razvijanje in konstruiranje izdelkov
 - oblikovanje in programiranje tehnologije za nove proizvode
 - izdelava in uvajanje tehnoloških postopkov za nove proizvode
 - priprava podatkov za izdelavo ponudb
 - spremljanje novosti na domačem in tujem trgu

Znanja in kompetence:

Materni jezik:	Slovenščina
Drugi jeziki:	Angleščina: Aktivno Nemščina: Pasivno Hrvaščina: Aktivno
Socialna znanja in kompetence:	- komunikacijske veščine - sposobnost timskega dela - odgovornost, samoiniciativnost, zanesljivost
Organizacijska znanja in kompetence:	- vodenje projektov - projektantski nadzor izvedbe
Tehnična znanja in kompetence:	Opravljen strokovni izpit po Zakonu o graditvi objektov pri Inženirski zbornici Slovenije (IZS) z naslednjimi pooblastili: - odgovorni projektant načrtov strojnih inštalacij in strojne opreme za zahtevne, manj zahtevne in enostavne objekte - odgovorni nadzornik za zahtevne, manj zahtevne in enostavne objekte - identifikacijska številka: IZS S-1555
Računalniška znanja in kompetence:	- dobro poznavanje računalniškega paketa MS Office (Word, Excel, Power Point) - dobro poznavanje računalniškega programa za risanje AutoCAD - dobro poznavanje računalniškega programa za modeliranje ProSteel 3D - osnovno poznavanje računalniškega programa za modeliranje Inventor - dobro poznavanje programskih jezikov AutoLISP, BASIC in PASCAL - znanje o uporabi svetovnega spleta www, itd.
Vozniško dovoljenje:	B kategorija

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

IZJAVA MAGISTRSKEGA KANDIDATA

Podpisani Primož GERČAR, vpisna številka S2000783

izjavljam,

da je magistrsko delo z naslovom: **Večkriterijsko optimiranje strege pri montaži**
z evolucijskim pristopom

- rezultat lastnega raziskovalnega dela,
- da predloženo delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe po študijskem programu druge fakultete ali univerze,
- da so rezultati korektno navedeni in
- da nisem kršil-a avtorskih pravic in intelektualne lastnine drugih.

Maribor, _____

Podpis: _____