

Razvoj računalne podrške za metodu analize automatske sklopivosti proizvoda

Dizdarević, Alen

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:887693>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Alen Dizdarević

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD



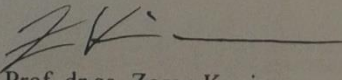
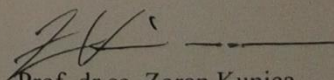
Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica, dipl.inž.

Student:

Alen Dizdarević

Zagreb, 2014.

 <p style="text-align: center;">SVEUČILIŠTE U ZAGREBU FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove: proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika</p>											
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Sveučilište u Zagrebu</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Fakultet strojarstva i brodogradnje</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Datum</td> <td style="width: 50%;">Prilog</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klasa:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ur.broj:</td> </tr> </table>		Sveučilište u Zagrebu		Fakultet strojarstva i brodogradnje		Datum	Prilog	Klasa:		Ur.broj:	
Sveučilište u Zagrebu											
Fakultet strojarstva i brodogradnje											
Datum	Prilog										
Klasa:											
Ur.broj:											
ZAVRŠNI ZADATAK											
Student:	Alen Dizdarević	Mat. br.: 0035175291									
Naslov rada na hrvatskom jeziku:	Razvoj računalne podrške za metodu analize automatske sklopivosti proizvoda										
Naslov rada na engleskom jeziku:	Development of software for the method of analysis of product assemblability										
Opis zadatka:											
U radu je potrebno:	<ol style="list-style-type: none"> 1. navesti smisao i značaj analize sklopivosti proizvoda te metode koje se koriste, 2. opisati Boothroydovu i Dewhurstovu metodu analize proizvoda za automatsku montažu, 3. koncipirati i razviti računalnu podršku. 										
Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predvideni datumi obrane:									
11. studenog 2013.	1. rok: 21. veljače 2014. 2. rok: 12. rujna 2014.	1. rok: 3., 4. i 5. ožujka 2014. 2. rok: 22., 23. i 24. rujna 2014.									
Zadatak zadao:		Predsjednik Povjerenstva:									
 Prof. dr.sc. Zoran Kunica		 Prof. dr.sc. Zoran Kunica									

Izjava

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija, te uz pomoć navedene literature.

Zahvaljujem mentoru prof. dr.sc. Zoranu Kunici na pruženoj pomoći pri izradi ovoga rada. Svojim primjedbama i savjetima uvelike je utjecao na kvalitetu rada.

Posebno zahvaljujem cijeloj svojoj obitelji, majci Jasni, ocu Hasanu i sestri Aidi, te djevojci Sonji, na razumijevanju i potpori tijekom izrade završnog rada, ali i tijekom cijelog studija.

Sažetak

Moderan način života postavlja i nove izazove na industriju i proizvodnju. Želja za većim proizvodnim količinama, povećanoj zaradi i smanjenjem vremena proizvodnje, dovodi do sve veće potrebe za automatizacijom proizvodnih procesa te sve većim korištenjem računala za podršku i brži rad.

U ovom radu opisani su programi koji se koriste za pomoć pri oblikovanju proizvoda i njegove proizvodnje. Navedeni su načini koji se koriste za analizu sklopivosti i samo sklapanje proizvoda te je detaljno opisan postupak Boothroydove i Dewhurstove metode DFA (eng. *Design For Assembly*) za analizu automatskog sklapanja. Cilj metode je sniženje troškova sklapanja, uz povišenje kvalitete i skraćenje vremena realizacije proizvoda na tržištu.

Za postupak analize proizvoda je uz pomoć programa *Visual Studio Express 2012* razvijena računalna podrška kojom se skraćuje vrijeme, mogućnost greške te pojednostavljuje primjenu postupka.

Za daljnji rad preostaje računalna implementacija postupka analize za robotsko sklapanje.

Summary

Modern lifestyle sets new challenges to the industry and manufacturing. The desire for larger production volumes, increased earnings and a reduction in production time, leads to a growing need for automated manufacturing processes and the increased use of computers for support and faster work.

In this work the computer programs that are used to aid in the design of product and its production are described. The methods that are used to product assemblability analysis and assembly are specified. Especially, the procedure of Boothroyd's and Dewhurst's DFA method (Design For Assembly) of product analysis for automatic assembly is described in detail. The mentioned method is aimed at reducing the costs of assembly, with increasing quality and reducing product realization time to market.

The procedure of product analysis for automatic assembly is implemented on computer using *Visual Studio Express 2012*, allowing reducing of time, and possibility of errors, as well as simplification of procedure.

For further work a computer implementation of analysis procedure for robotic assembly remains.

SADRŽAJ

Zadatak	Error! Bookmark not defined.
Izjava	II
Sažetak	III
Summary	IV
Popis oznaka.....	VI
Popis slika	VII
Popis tablica	VIII
1. UVOD	1
2. OBLIKOVANJE PROIZVODA ZA SKLAPANJE.....	2
2.1. Odabir metode sklapanja.....	3
2.2. Usporedba metoda sklapanja	4
3. METODA DFA	6
3.1. Opis analize proizvoda za automatsku montažu	8
3.2. Pravila za učinkovito automatsko rukovanje i umetanje dijelovima	16
4. PROGRAMSKA PODRŠKA OBLIKOVANJU PROIZVODA I MONTAŽNIH SUSTAVA.....	19
5. RAZVOJ RAČUNALNE PODRŠKE ZA METODU DFA	23
5.1. O programu	23
5.2. Rad programa.....	29
6. ZAKLJUČAK	37
7. LITERATURA.....	38

Popis oznaka

CA – cijena automatskog rukovanja i umetanja, po sklopu (proizvodu), cent

CF – cijena dodavanja i orijentiranja dijela, cent

CI – cijena automatskog umetanja dijela, cent

CR – ukupna relativna cijena dodavača

DC – dodatna cijena dodavača zbog poteškoća pri rukovanju dijelom

DF – razmjer poteškoća pri automatskom dodavanju i orijentiranju

DI – razmjer poteškoća pri automatskom umetanju

EA – efikasnost oblikovanja za automatsko sklapanje

FC – relativna cijena dodavača određena prema poteškoćama pri orijentiranju dijela

FM – maksimalna dobava standardnog dodavača, dio/minuta

FR – zahtijevana dobava, dio/minuta, ili zahtijevana proizvodna količina, proizvod/minuta

NM – teoretski minimalan broj dijelova u proizvodu

OE – efikasnost dodavača (orijentiranja)

WC – relativna cijena automatske radne glave

Y – maksimalna izmjera dijela, mm

Popis slika

Slika 1. Cijene različitih metoda sklapanja ovisno o proizvodnim količinama [3].....	5
Slika 2. Stupnjevi DFA metode [7].....	6
Slika 3. Primjer oblikovanja u softverskom paketu CATIA [4]	20
Slika 4. Primjer oblikovanja u programskom paketu DELMIA [4].....	21
Slika 5. Softver za metodu DFA Boothroyda i Dewhursta[8]	21
Slika 6. Softver metode DFA Boothroyda i Dewhursta [8]	22
Slika 7. Početni ekran programa Visual Studio Express 2012.	24
Slika 8. Odabir novog projekta	25
Slika 9. Početni ekran novog projekta.....	26
Slika 10. Vizualni prikaz stabla programa	27
Slika 11. Primjer koda jednog koraka programa.....	28
Slika 12. Primjer tabličnog zapisa u notepadu	29
Slika 13. Početni prozor programa	29
Slika 14. 1. korak programa	31
Slika 15. Početak izračuna cijene za svaki dio sklopa	31
Slika 16. Odabir značajki dijela	32
Slika 17. Korak za nerotacijske dijelove.....	33
Slika 18. Dodatne cijene dodavača	33
Slika 19. Odabir relativne cijene radne glave	34
Slika 20. Završna poruka.....	34
Slika 21. Početni prozor sa svim dodanim dijelovima	35
Slika 22. Generirana HTML tablica.....	36

Popis tablica

Tablica 1. Obrazac za analizu proizvoda u pogledu automatskog sklapanja [5]	7
Tablica 2. Karta 4-1 [5]	9
Tablica 3. Karta 4-2 [5]	10
Tablica 4. Karta 4-3 [5]	11
Tablica 5. Karta 4-4 [5]	12
Tablica 6. Karta 4-5 [5]	13
Tablica 7. Primjer popunjenog obrasca za automatsku montažu [5]	15

1. UVOD

Montaža u proizvodnji sudjeluje s oko 50 % troškova i otprilike 40 % utroška vremena. Iz toga se može uvidjeti važnost smanjenja vremena i troškova montaže, koje, uz ostalo, može pružiti razvoj računalne podrške za montažu. Automatizacijom procesa montaže moguće je značajno racionalizirati troškove proizvodnje, povećati proizvodnost i kvalitetu.

Montaža ili sklapanje jest svaka djelatnost kojoj je cilj spajanje dvaju ili više ugradbenih dijelova u cjelinu višeg stupnja složenosti, određene namjene. Jedna od zajedničkih karakteristika većine proizvoda jest da se u pravilu sastoje od više dijelova (ugradbenih elemenata) koji se moraju spojiti da bi se proizveo gotov proizvod, tj. da moraju biti sklopljeni, bez obzira na cijenu, proizvodnu količinu, funkciju ili kompleksnost. Ugradbeni elementi mogu biti izrađeni u različitim vremenskim periodima i različitim tehnologijama.

Ugradbeni elementi nazivaju se još i objektima montaže. Oni mogu biti:

- **Pojedinačni dijelovi** – pojedinačne geometrijske tvorevine nastale obradom nekog materijala iz jednog komada,
- **Sklopovi** – geometrijski određena tvorevina sastavljena od najmanje dva ugradbena elementa i predviđena za ugradnju u cjeline višeg stupnja složenosti,
- **Bezoblične tvori** – razne tekućine, praškovi, plinovi i slično. [1]

Montaža se može izvoditi ručno i automatski. Danas se suvremena industrija sve više okreće k automatskoj montaži koju izvide razni automati i roboti, koji, uz kraće vrijeme sklapanja, osiguravaju visoku točnost i ponovljivost operacija koje izvide. Istodobno, sve je više robota u mogućnosti snalaziti se i vršiti montažu u neorganiziranoj okolini (inteligentni roboti).

Povijesno, razvojem manufaktura u srednjem vijeku postavljeni su temelji industrijske montaže. Na prijelazu iz 18. na 19. stoljeće, Eli Whitney (Colt) te Elihu Root (Winchester) u proizvodnji oružja uvode zamjenjivost dijelova i podjelu operacija na manje cjeline. Ovdje se još može spomenuti i Henry Ford koji je svojim modelom automobila "T" (1913. godine) također primijenio zamjenjivost dijelova, te bio među prvima koji su uveli linijsku montažu proizvoda. [2]

2. OBLIKOVANJE PROIZVODA ZA SKLAPANJE

Proces sklapanja jest odvijanje djelatnosti potrebnih za sklapanje proizvoda prema određenim zakonitostima (tehničko-tehnološkim, ekonomskim,...). Temeljni činitelji za definiranje procesa sklapanja jesu:

- geometrijska i fizikalna svojstva ugradbenih elemenata,
- struktura proizvoda,
- redoslijed sklapanja,
- tok montažnih operacija
- struktura procesa.

Znači, želi li se oblikovati montažni proces i sustav za određeni proizvod potrebno je napraviti niz pojedinačnih koraka. Prvi korak je analiza samog proizvoda i njegovih značajki. Potrebno je vidjeti od koliko i od kojih dijelova se sastoji i u kakvom su međusobnom odnosu. Već tada bi bilo poželjno i znati na kakav bi se način proizvod sklapao, naime, je li ručno ili automatski. Potom slijedi definiranje redoslijeda sklapanja i definiranje tijeka montažnih operacija, određivanje principijelnih rješenja te konačno oblikovanje sustava. [1]

Razmatranje izradbe i montaže već tijekom oblikovanja proizvoda predstavlja najveći potencijal za smanjenje troškova proizvodnje. To znači da se već kod same ideje o stvaranju proizvoda mora voditi računa o mogućnosti sklapanja. Iz toga proizlazi osnovna ideja oblikovanja proizvoda za sklapanje, a to je integracija: integracija djelatnosti konstrukcije i djelatnosti pripreme montažnog procesa pri razvoju proizvoda.

Dakle, montažni zadatak je u osnovi definiran ugradbenim elementima koje treba sklopiti i tehnikama sklapanja ugradbenih elemenata. Prva zadaća pri projektiranju montažnog procesa(sustava) jeste provjera tehnološkosti proizvoda za sklapanje – sklopivost proizvoda.

Tehnološkost se proizvoda za montažu (sklopivost proizvoda) očituje u:

- postojanju osnovnog (baznog) ugradbenog elementa,
- ostvarenje što manjeg broja osi sklapanja,
- ostvarenje smjera sklapanja odozgo prema dolje,
- postizanje jednostavnih linearnih i kratkih putanja sklapanja,
- strukturiranost proizvoda u sklopove,
- primjeni pogodnih tehnika spajanja,
- primjeni standardnih ugradbenih elemenata,

- pogodnom obliku ugradbenih elemenata,
- učinkovitoj primjeni načela eliminacije i interpretacije dijelova, te minimaliziranje
- broja spojeva.

Gore navedene smjernice za analizu tehnološkičnosti proizvoda u određenom smislu dosta su krute i jednoznačne stoga su razvijene različite inženjerske metode koje pomažu pri analizi i preoblikovanju proizvoda. [1]

Tijekom vremena razvile su se različite metode za analizu sklopivosti (koje uključuju i preoblikovanje) proizvoda. One sadrže odgovarajuće procedure kojima se ispituje sklopivost proizvoda i objedinjuju inženjersko znanje i iskustvo s nakanom da se oblikovanje proizvoda od početka usmjeri prema rješenjima koja će jamčiti racionalno sklapanje. Neke od metoda za oblikovanje proizvoda za sklapanje jesu:

- **Hitachi AEM** (Assemblability Evaluation Method – Metoda procjene sklopivosti)
- **Lucas Design For Assembly Method** (Metoda oblikovanja proizvoda za montažu)
- **Sony DAC** (Design for Assembly Cost-effectiveness – Oblikovanje proizvoda za troškovno učinkovitu montažu, ili Design Analysis Control – Upravljanje analizom oblikovanja)
- **Boothroydova i Dewhurstova DFA metoda** (Design For Assembly – Oblikovanje proizvoda za sklapanje). [7]

2.1. Odabir metode sklapanja

Već je u ranoj fazi oblikovanja proizvoda važno odlučiti koja bi metoda sklapanja – ručna ili automatska – bila najpogodnija sa stanovišta troškova. Na temelju osnovnih podataka o proizvodu i tvrtki (obujam proizvodnje, broj dijelova proizvoda itd.) konstruktor bi trebao odlučiti koja bi metoda montaže bila najekonomičnija. Proizvod koji treba sklopiti u količini od samo 1 000 komada godišnje, bit će, naravno, sklapan ručno. Za neki proizvod za kojim je potražnja nekoliko milijuna komada godišnje, nabava jednonamjenske automatske opreme (visokobrzinska automatska montaža), gotovo će sasvim izvjesno omogućiti vrlo brz povrat uloženi sredstava. Negdje između tih krajnjih vrijednosti godišnjih proizvodnih količina, nalaze se količine za koje robotsko sklapanje može biti najekonomičnije rješenje, ako je proizvod odgovarajuće oblikovan.

Prema zahtjevima proisteklim iz oblikovanja proizvoda, ručna se montaža veoma razlikuje od automatske, s obzirom na razlike između sposobnosti čovjeka-montera i bilo koje

mehaničke metode sklapanja. Operacija koju monter obavlja s lakoćom, može biti neizvediva robotom ili jednonamjenskom radnom glavom (jedinkom). Postavlja se pitanje koja je točno proizvodna količina koja predstavlja granicu pri odabiru između ručne i automatske montaže. Egzaktan odgovor nema – on ovisi o svakoj konkretnoj situaciji, imajući posebno na umu prodor automatizacije i u područje manjih proizvodnih količina. Smatra se, okvirno, da je za količinu preko 500 000 komada prema milijun isplativo ići na visokobrzinsku, krutu automatsku montažu, dok je za manje količine bolje ići na fleksibilniju robotsku montažu. [2]

2.2. Usporedba metoda sklapanja

Postoje tri osnovne vrste metode montaže:

- ručna montaža,
- jednonamjenska automatska montaža,
- robotska montaža.

U praksi, analiza tehnološkičnosti može biti kombinacija jedne ili više ovih metoda. Naprimjer, u ručnoj montaži, neki dijelovi mogu biti preorijentirani pomoću automatske opreme. Višestanični sustavi mogu biti kombinacija jednonamjenskih automatskih, robotskih i ručnih stanica.

Pristup upotrijebljen u analizi proizvoda za olakšano sklapanje jest da se odrede poteškoće pri sklapanju proizvoda primjenom jedne ili više ovih standardnih metoda. Svaka od tih metoda posjeduje odgovarajući raspon uvjeta za ekonomičnu primjenu, ovisno o broju dijelova koje treba sklopiti, proizvodnim količinama itd.

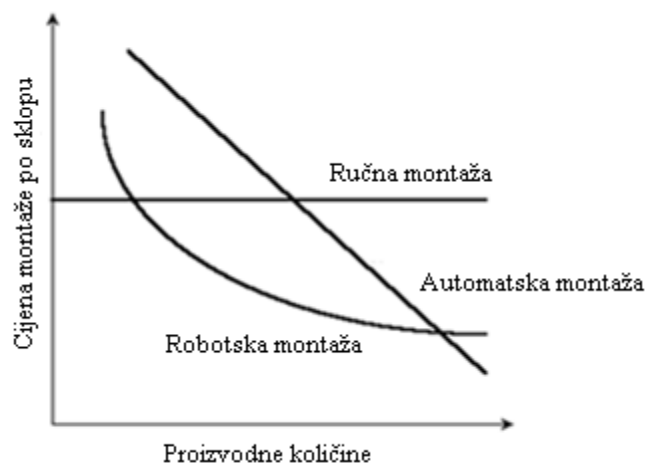
Kod **ručnog sklapanja**, dijelovi se dovode do radnog stola gdje radnici ručno sklapaju proizvod ili dijelove proizvoda, a da pritom koriste jednostavne i jeftine alate. Iako je to najfleksibilniji i najprilagodljiviji način sklapanja, najčešće postoji neka gornja granica proizvodnih količina. Troškovi su sklapanja relativno konstantni i neovisni o proizvodnim količinama.

Jednonamjenska automatska montaža karakterizirana je strojevima namijenjenim za sklapanje samo jedne vrste proizvoda. Sastoje se od transportnoga (transfer) uređaja, te jednonamjenskih radnih glava i dodavača dijelova u sklopu radnih stanica. Transportni uređaj može biti indeksni (sinkroni) ili slobodnoga toka tj. transporta (nesinkroni). Takvi su sustavi skupi i uključuju značajan inženjerski napor da bi se projektirali prije no što se uopće puste u pogon. Defektni dijelovi uzrokuju ozbiljne poteškoće - stoga dijelovi trebaju biti visoke

kakvoće. Vremena sklapanja su fiksna, pa su sustavi nefleksibilni prema promjeni proizvodnih količina. Ako su nedovoljno iskorišteni, ne mogu se upotrijebiti za druge namjene, što rezultira porastom troškova sklapanja. Kako se proizvodna količina proizvoda povećava, iznos kapitalnih ulaganja u usporedbi s ukupnim proizvodnim troškovima se smanjuje.

Robotska montaža slična je nesinkronim jednonamjenskim sustavima, osim što su neke ili sve radne glave zamijenjene robotima. Taj aranžman dopušta izvođenje više od jedne operacije sklapanja na (jednoj) robotskoj radnoj stanici. Može poprimiti oblik jednog ili dva robota, ili više staničnih robotskih proizvodnih stanica sa svim aktivnostima istodobno, kontroliranim i koordiniranim pomoću PLC-a ili računala. Iako ova vrsta montaže također može imati veliku kapitalnu cijenu, njezina fleksibilnost često pomaže smanjiti troškove kroz mnoge različite procese. Za manje se proizvodne količine mogu preferirati pojedinačne radne stanice s jednim ili dva robota.

Slika 1. prikazuje ovisnost cijene montaže po sklopu o proizvodnoj količini za pojedine montažne sustave. Po izboru montažne metode i sustava, obavlja se analiza proizvoda, i to shodno izabranoj metodi i sustavu. Iz dijagrama (Slika 1.) vidljivo je da automatska i robotska montaža imaju smisla samo za veće proizvodne količine. Na taj način postižu se niže cijene montaže što opravdava velike troškove ulaganja za automatizaciju procesa. [1]



Slika 1. Cijene različitih metoda sklapanja ovisno o proizvodnim količinama [3]

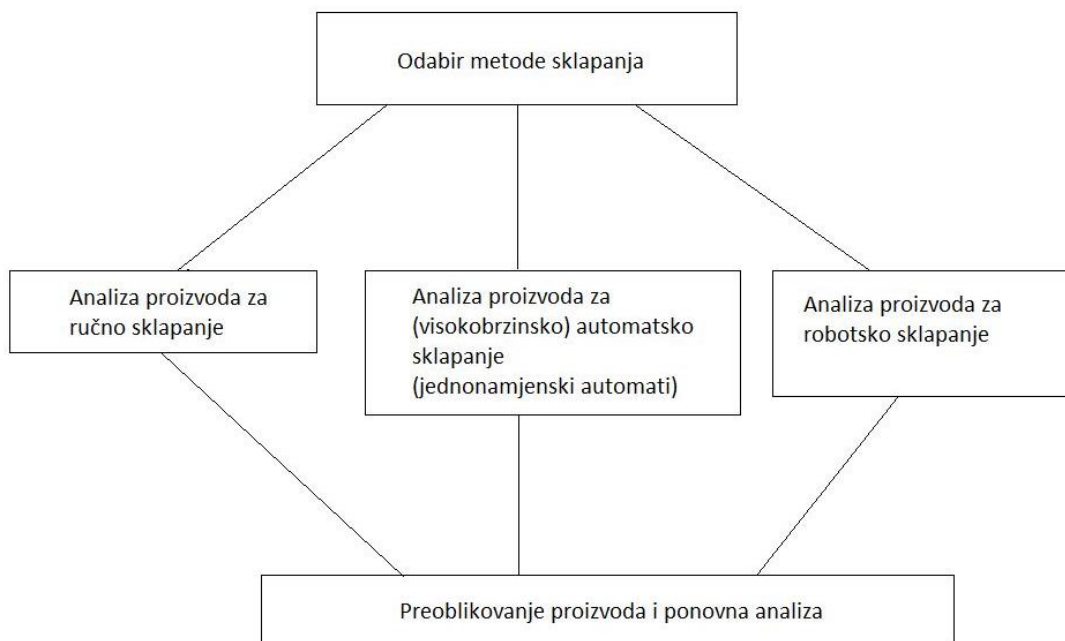
3. METODA DFA

DFA engleska je kratica od *Design For Assembly*, a u užem¹ smislu označava metodu koju su godine 1980. u Sjedinjenim Američkim Državama objavili Geoffrey Boothroyd i Peter Dewhurst. Svrha je metode poboljšanje konstrukcije proizvoda za jednostavno i jeftino sklapanje, istodobno usredotočeno i na funkcionalnost i na sklopivost. Primjena metode DFA pridonosi i višoj kvaliteti proizvoda i povećanju pouzdanosti sustava sklapanja, te sniženju troškova proizvodne opreme i smanjenju zaliha. Ove sekundarne prednosti često nadvisuju izravne uštede polučene za samo sklapanje.

Rezultati metode DFA sadrže:

- procjenu vremena i troškova sklapanja,
- kvantifikaciju efikasnosti oblikovanja i mogućnost usporedbe različitih konstrukcija istog proizvoda.

Metoda se odvija u tri stupnja, kako je prikazano na slici 2., a da li će biti odabran ručni ili automatski montažni sustav, ovisi o parametrima kao što su: proizvodna količina, broj ugradbenih dijelova, investicijska politika i financijska moć tvrtke.[1]



Slika 2. Stupnjevi DFA metode [7]

¹ U širem, smislu DFA je danas čitavo područje inženjerske teorije i prakse. Štoviše, uspjeh metode DFA Boothroyda i Dewhursta u području montaže, ponukao je razvoj sličnih metoda u drugim inženjerskim i tehničkim područjima, tako da se danas pojavljuje i kratica DFX.

U ovom je radu za računalnu implementaciju odabrana analiza proizvoda za automatsku montažu, a postupak analize opisan je u idućem poglavlju. Primjer obrasca za automatsko sklapanje je prikazan u tablici 1.

Tablica 1. Obrazac za analizu proizvoda u pogledu automatskog sklapanja [5]

1 ident. broj dijela	2 broj usporednih izvođenja operacije	3 5-obrojna oznaka auto rukovanja	4 efikasnost orijentiranja, OE	5 relativna cijena dodavača, CR=FC+DC	FM = 1500 x OE/Y Y - najveća izmjera dijela, mm			DF = 60/FR x CR za FR < FM DF = 60/FM x CR za FR ≥ FM				DI = 60/FR x WC za FR < 60 DI = WC za FR ≥ 60			14 broj zasebnih dijelova	15 zahtijevana dobava, FR, skopiminuta
					6 maksimalna osnovna dobava, FM, dio/minuta	7 razmjer poteškoća pri auto. rukovanju, DF	8 cijena auto. rukovanja, CF=0.03XDF, cent/dio	9 2-brojna oznaka auto. umetanja	10 relativna cijena radne glave, WC	11 razmjer poteškoća pri auto. umetanju DI	12 cijena auto. umetanja, C=0.06XDI, cent/dio	13 cijena operacije, (2)(8)+(12), cent/dio				
																SKLOP MEMBRANE PLINSKOG MJERILA PREOBLIKOVANI
																EA = 0.09xNM, 60 CA -> CA, FR

3.1. Opis analize proizvoda za automatsku montažu

Analiza uključuje tri važna stupnja pri razmatranju svakoga dijela sklopa:

- određivanje cijene automatskog rukovanja dijelom, koji je isprva u nesređenoj gomili, i dovođenja u zahtijevanu orijentaciju (kako bi se spojio s ostalima);
- određivanje cijene automatskog umetanja dijela, i svih ostalih posebno zahtijevanih operacija;
- odlučivanje o tome treba li svaki dio sklopa doista biti zaseban od svih ostalih dijelova sklopa.

Iz navedena se tri stupnja analize određuje ukupna cijena sklapanja. Ispunjavanje obrasca za automatsko sklapanje izvodi se u šest koraka. Koraci 1. i 2. potpuno su jednaki onima u analizi proizvoda za ručnu montažu.

1. KORAK

Dobaviti najbolje informacije o proizvodu (crteži, eksplozirani crteži, postojeći uzorak proizvoda, prototip, CAD model proizvoda). Zbog ostvarenja radnih karakteristika, ploča je načinjena od čelika za opruge.

2. KORAK

Rastaviti proizvod (ili zamisliti kako bi to izgledalo). Pri tome dodjeljivati svakome dijelu identifikacijski broj, po redoslijedu rastavljanja, započinjući od broja 1 za prvi dio koji se rastavlja. Ako proizvod sadrži sklopove, treba ih najprije tretirati kao dijelove, a zatim zasebno analizirati.

3. KORAK

Započeti sa sklapanjem proizvoda. Prvo uzeti dio najvećega identifikacijskoga broja. Ispuniti prvi redak obrasca za automatsko sklapanje (tablica 1). Uzeti ostale dijelove jedan za drugim po smanjujućem identifikacijskom broju i ispunjavati po jedan redak obrasca za svaki dio.

Prvi redak obrasca izgleda ovako:

1. stupac: Identifikacijski broj dijela.
2. stupac: Broj usporednih izvođenja operacije.
3. stupac: Oznaka za dodavanje i orijentiranje dijela dobivena je uporabom karti: 4-1 (Tablica 2.), na kojoj očitavamo svojstva i vrijednosti dali je dio rotacijski ili nerotacijski.

Tablica 2. Karta 4-1 [5]

ROTACIJSKI (2)	DISKOVI $L/D < 0,8$	0
	KRATKI VALJCI $0,8 \leq L/D \leq 1,5$	1
	DUGI VALJCI $L/D > 1,5$	2
NEROTACIJSKI (3)	PLOSNATI $A/B \leq 3$ i $A/C > 4$	6
	DUGI $A/B > 3$	7
	KOCKASTI $A/B \leq 3$ i $A/C \leq 4$	8

Na karti 4-2 (Tablica 3.) očitavamo karakteristike rotacijskih dijelova i dobivamo vrijednosti OE I FC. Iste vrijednosti dobivamo i sa karte 4-3 (Tablica 4.) ali za nerotacijske dijelove.

Tablica 3. Karta 4-2 [5]

		dio nije BETA simetričan (označiti glavnu značajku ili značajke koje zahtijevaju orijentiranje oko osnovne osi)							malo nesimetrične ili malene značajke, manje od D/10 i L/10, ili rupe ili udubljenja, koji se ne mogu vidjeti u silueti	
		dio je simetričan oko svoje osnovne osi (BETA simetričan) (2)	BETA nesimetrični izdanci, stepenice ili skošenja (mogu se vidjeti u silueti)			BETA nesimetrični utori ili plohe (mogu se vidjeti u silueti)		kroz utor se može vidjeti u bočnom pogledu		
			samo na bočnoj plohi	samo na krajnjoj plohi(ama)	na bočnoj i krajnjoj plohi(ama)	kroz utor ili plohu može se vidjeti u krajnjem pogledu	na krajnjoj plohi			na bočnoj plohi
		0	2	3	4	5	6	7	8	
dio je ALFA simetričan (1)		0	0,7 1 0,7 1 0,9 1	0,3 1 0,15 1 0,45 1	0,5 1 0,2 1 0,9 2	0,3 1 0,15 1 0,35 1	0,35 1 0,2 1 0,9 1	0,2 1 0,2 1 0,9 2	0,5 1 0,2 1 0,9 2	
dio nije ALFA simetričan (označiti glavnu značajku ili značajke koje zahtijevaju orijentiranje s kraja na kraj) (1)	dio se dodaje u žljebu (kanalu) ili po tračnici gdje je težište dijela ispod podupirućih ploha	1	0,4 1 0,3 1 0,9 1	0,2 1 0,1 1 0,45 1	0,25 1 0,1 1 0,9 2	0,2 1 0,1 1 0,45 1	0,2 1 0,1 1 0,9 1	0,1 1 0,1 1 0,9 2	0,25 1 0,1 1 0,9 2	
	BETA simetrične stepenice ili skošenja na vanjskim ploham (3)	2	0,4 1 0,3 1 0,75 1	0,15 1 0,1 1,5 0,37 1,5	0,25 1 0,1 1,5 0,25 3	0,15 1 0,1 1,5 0,37 1,5	0,35 1 0,2 1,5 0,5 1	0,1 1 0,05 1,5 0,5 2	0,25 1 0,1 1,5 0,5 2	
	BETA simetrični utori, rupe ili udubine (3)	na bočnoj i krajnjoj plohi(ama)	3	0,5 1 0,1 1 0,85 1	0,15 1 0,1 1,5 0,43 1,5	0,25 1 0,1 1,5 0,25 2	0,15 1 0,1 1,5 0,43 1,5	0,2 1 0,1 1,5 0,5 1	0,1 1 0,05 1,5 0,5 2	0,25 1 0,1 1,5 0,5 2
		samo na bočnoj plohi	4	0,5 1 0,2 1 0,6 1	0,15 1 0,1 1,5 0,43 1,5	0,25 1 0,1 1,5 0,25 2	0,15 1 0,1 1,5 0,43 1,5	0,2 1 0,1 1,5 0,5 1	0,1 1 0,05 1,5 0,5 2	0,25 1 0,1 1,5 0,5 2
		samo na krajnjoj plohi(ama)	5	0,5 1 0,2 1 0,6 1	0,15 1 0,1 1,5 0,27 1,5	0,25 1 0,1 1,5 0,25 2	0,15 1 0,1 1,5 0,27 1,5	0,2 1 0,1 1,5 0,45 1	0,1 1 0,05 1,5 0,45 2	0,25 1 0,1 1,5 0,45 2
	BETA simetrične pokrivene značajke bez odgovarajućih vidljivih značajki (4)	6								
	BETA nesimetrične značajke na bočnoj ili krajnjoj plohi(ama)	7			0,25 1 0,1 1,5 0,27 2	0,1 1 0,05 1,5 0,27 2		0,1 1 0,05 1,25 0,5 3	0,25 1 0,1 1,5 0,5 3	
	malo nesimetrične ili malene značajke; veličina nesimetrije ili značajke manja od D/10 i L/10	8	POTREBNO RUČNO RUKOVANJE							

Tablica 4. Karta 4-3 [5]

		A ≤ 1,1 B ili B ≤ 1,1 C (označiti glavnu značajku ili značajke, koje čine različitim susjedne plohe sličnih dimenzije)								
		stepenice ili skošenja (2) usporedni sa ...			utori po dužini (2) usporedni sa ...			rupe ili udubljenja > 0,1 B (ne mogu se vidjeti u silueti)	druge, koje uključuju malene ne- simetrije ili vrlo malene značajke (3)	
		X osi i > 0,1 C	Y osi i > 0,1 C	Z osi i > 0,1 B	X osi i > 0,1 C	Y osi i > 0,1 C	Z osi i > 0,1 B			
0	1	2	3	4	5	6	7	8		
dio ima simetriju za 180° oko sve tri osi (1)	0	0,8 1	0,8 1	0,2 1	0,5 1	0,75 1	0,25 1	0,5 1,5	0,25 2	RUČNO RUKOVANJE
		0,9 1	0,9 1	0,5 2	0,5 1,5	0,5 1	0,5 1,5	0,6 1	0,5 1	
		0,6 1	0,5 1	0,15 2	0,15 1,5	0,5 1	0,15 1	0,15 1,5	0,15 2	
		označiti glavnu značajku, ili, ako je orijentacija određena s više značajki, označiti značajku koja daje najveću treću znamenku								
		stepenice ili skošenja (2) usporedni sa ...			utori po dužini (2) usporedni sa ...			rupe ili udubljenja > 0,1 B (ne mogu se vidjeti u silueti)	druge, koje uključuju malene ne- simetrije ili vrlo malene značajke (3)	
		X osi i > 0,1 C	Y osi i > 0,1 C	Z osi i > 0,1 B	X osi i > 0,1 C	Y osi i > 0,1 C	Z osi i > 0,1 B			
		0	1	2	3	4	5	6	7	
dio ima simetriju za 180° samo oko jedne osi (1)	oko X osi	1	0,4 1	0,6 1	0,4 1,5	0,4 1	0,3 1	0,7 1	0,4 2	
			0,5 1	0,15 1	0,25 2	0,5 1	0,25 1	0,25 1,5	0,25 3	
			0,4 1	0,6 1	0,4 2	0,2 1	0,3 1	0,15 1	0,1 2	
	oko Y osi	2	0,4 1	0,3 1	0,4 1,5	0,5 1	0,3 1	0,4 1	0,4 2	
			0,4 1	0,2 1	0,25 2	0,4 1	0,25 1	0,25 1	0,25 2	
			0,5 1	0,15 1	0,5 2	0,2 1	0,15 1	0,15 2	0,15 2	
oko Z osi	3	0,4 1	0,3 1	0,4 1,5	0,4 1	0,3 1	0,4 1,5	0,4 2		
		0,3 1	0,2 1	0,25 2	0,3 1	0,25 1	0,25 2	0,25 2		
		0,4 1	0,2 1	0,4 2	0,2 1	0,15 1	0,15 2	0,15 2		
dio nema simetriju (označiti glavnu značajku tako da se definira orijentacija) (4)	orijentacija definirana jednom glavnom značajkom	4	0,25 1	0,15 1	0,15 1,5	0,1 1	0,15 1	0,1 1,5	0,1 2	
			0,25 1	0,1 1,5	0,24 2	0,2 1	0,1 1,5	0,15 2	0,15 3	
			0,15 1	0,14 1	0,15 1	0,1 1	0,05 1	0,1 1,5	0,08 2	
druge - koje uključuju malu nesimetriju (3)	orijentacija definirana dvjema glavnim značajkama, od kojih je jedna stepenica, skošenje ili utor	5	0,2 2	0,15 2	0,1 2,5	0,1 2	0,15 2	0,1 1,5	0,1 3	
			0,1 3	0,1 3,5	0,1 4	0,1 3	0,1 3,5	0,1 4	0,1 5	
			0,05 2	0,05 2	0,05 2,5	0,05 2	0,05 2	0,05 2,5	0,05 3	
		6	POTREBNO RUČNO RUKOVANJE							

Na karti 4-4 (Tablica 5) očitavamo vrijednost DC, dodatne cijene dodavača.

Tablica 5. Karta 4-4 [5]

				nezapletivi i neugnjezdivi				zapletivi ili ugnjezdivi (ali ne čvrsto)				čvrsto ugnjezdivi	čvrsto zapletivi								
				nisu lagani		lagani		nisu lagani		lagani											
				nisu ljepljivi	ljepljivi	nisu ljepljivi	ljepljivi	nisu ljepljivi	ljepljivi	nisu ljepljivi	ljepljivi										
				0	1	2	3	4	5	6	7										
dijelovi su maleni , ali nisu abrazivni	dijelovi ne teže preklapanju tijekom dodavanja	nisu osjetljivi	nesavijtljivi	0	0	1	2	3	2	3	3	4	POTREBNO RUKOVANJE								
			savijtljivi	1	2	3	4	5	4	5	5	6									
		osjetljivi	nesavijtljivi	2	1	2	3	4	3	4	4	5									
			savijtljivi	3	3	4	5	6	5	6	6	7									
	dijelovi teže preklapanju tijekom dodavanja	nisu osjetljivi	nesavijtljivi	4	2	3	3	4	4	5	4	5									
			savijtljivi	5	4	5	5	6	6	7	6	7									
		osjetljivi	nesavijtljivi	6	3	4	4	5	5	6	5	6									
			savijtljivi	7	5	6	6	7	7	8	7	8									
				vrlo maleni dijelovi				veliki dijelovi													
				rotacijski		nerotacijski		rotacijski		nerotacijski											
				L/D ≤ 1,5	L/D > 1,5	A/B ≤ 3 A/C > 4	A/B > 3	A/B ≤ 3 A/C ≤ 4	L/D ≤ 1,5	L/D > 1,5	A/B ≤ 3 A/C > 4	A/B > 3	A/B ≤ 3 A/C ≤ 4								
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9								
dijelovi su vrlo maleni ili vrlo veliki , ali nisu abrazivni				8	2	2	2	2	2	9	9	9	9	9							
dijelovi se neće čvrsto zaplesti ili ugnjezditi																					
				maleni dijelovi				veliki dijelovi		vrlo maleni dijelovi		čvrsto zapletivi ili čvrsto ugnjezdivi									
orijentiranje definirano značajkama...																					
				geometrijskim		negeometrijskim		geometrijskim	negeometrijskim	geometrijskim	negeometrijskim										
		nesavijtljivi		savijtljivi		nepreklopivi							preklopivi								
		nepreklopivi		preklopivi																	
		0		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
abrazivni dijelovi	9	2	4	4	RUČNO RUKOVANJE			9	RUČNO RUKOVANJE	4	RUČNO RUKOVANJE										

4. stupac: Na osnovi oznake upisuje se OE – efikasnost orijentiranja.
5. stupac: Na osnovi oznake upisuje se CR=FC+DC – relativna cijena dodavača.
6. stupac: Maksimalna osnovna dobava FM = 1500 x OE/Y (Y- najveća izmjera dijela).
7. stupac: Razmjer poteškoća pri automatskom rukovanju, DF
8. stupac: Cijena dodavanja i orijentiranja CF = 0,03 x DF.
9. stupac: Odgovarajuća dvoznamenkasta oznaka auto umetanja, iz karte 4-5 (Tablica 6.).

Tablica 6. Karta 4-5 [5]

			poslije spajanja dio nije potrebno pridržavati da mu se zadrže orijentacija i pozicija (5)				dio je potrebno pridržavati tijekom sljedećih operacija kako bi mu se zadržali orijentacija i pozicija (5)						
poravnavanje i smještanje...			lako (6)		otežano (ne postoji pogodna značajka)		lako (6)		otežano (ne postoji pogodna značajka)				
otpor umetanju...			ne	da (7)	ne	da (7)	ne	da (7)	ne	da (7)			
			0	1	2	3	6	7	8	9			
dodavanje dijela (1), pri čemu se ne postiže konačno osiguranje (2)	pravocrtno umetanje	okomito nadolje	0	1	1,5	1,5	2,3	1,3	2	2	3		
		nije okomito nadolje (3)	1	1,2	1,6	1,6	2,5	1,6	2,1	2,1	3,3		
	nije pravocrtno umetanje (4)	2	2	3	3	4,6	2,7	4	4	6,1			
			nema operacije pritezanja vijaka ili plastične deformacije odmah po umetanju (npr. uskočni ili prešani spojevi itd.)		plastična deformacija neposredno poslije umetanja				pritezanje vijaka odmah po umetanju				
					plastično savijanje ili torzija		zakivanje ili slična plastična deformacija						
			poravnavanje i smještanje...										
			lako (6), bez otpora umetanju	otežano i/ili otpor umetanju	lako (6)	otežano (nema pogodnih značajki), a otpor umetanju...		lako (6)	otežano (nema pogodnih značajki), a otpor umetanju...		lako (6), bez otpora vijčanju	otežano i/ili otpor vijčanju (7)	
						ne postoji	postoji (7)		ne postoji	postoji (7)			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
dodavanje dijela (1) pri čemu je dio odmah konačno osiguran (2)	pravocrtno umetanje	okomito nadolje	3	1,2	1,9	1,6	2,4	3,6	0,9	1,4	2,1	0,8	1,8
		nije okomito nadolje (3)	4	1,3	2,1	2,1	3,2	4,8	1	1,5	2,3	1,3	2
	nije pravocrtno umetanje (4)	5	2,4	3,8	3,2	4,8	7,2	1,8	2,8	4,2	1,6	3,6	
			mehanički postupci spajanja (dijelovi su već u konačnom položaju)				nemehanički postupci spajanja (dijelovi su već u konačnom položaju)				nema postupka spajanja		
			nikakva ili lokalna plastična deformacija			uskočni spoj, uskočni ?spajalice, prešani spoj itd.		metalurški postupci, pri čemu je dodatni materijal...		kemijski (spajanje prijanjanjem ili sraštanjem)?	rukovanje dijelovima ili sklopom (orijentiranje, ?po-dešavanje itd.)	drugi postupci (umetanje u tekućine itd.)?	
			savijanje ili slični	zakivanje ili slični	pritezanje vijaka ili drugi	nepotreban (npr. zavarivanje trenjem ili elektro-otporno)	potreban	zavarivanje, ili lemljenje legurom mjedi i cinka?					
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Posebna operacija - montažni proces gdje su svi čvrsti dijelovi u konačnom položaju, ili nečvrsti dijelovi dodani, ili rukovanje dijelovima			9	1,6	0,9	0,8	0	1,2	1,1	1,1	0,8	1,5	?

10. stupac: Relativna cijena radne glave, WC po karti 4-5. (Tablica 6.)

11. stupac: Razmjer poteškoća pri automatskom umetanju, $DI = 60/FR \times WC$.

12. stupac: Cijena automatskog umetanja svake matice $CI = 0,06 \times DI$.

13. stupac: Ukupna cijena operacije dodavanja i orijentiranja, i operacije umetanja, dviju matica, zbroj je vrijednosti polja stupaca 8 i 12, pomnožen brojem istodobnih operacija (2. stupac).

14. stupac: Vrijednost polja dobiva se primjenom triju kriterija

1. Tijekom funkcioniranja proizvoda, da li se dio pomiče u odnosu na sve ili neke od već sklopljenih dijelova?

2. Mora li dio biti od drugačijega materijala, ili, izoliran od već sklopljenih dijelova?
3. Mora li dio biti odvojen od već sklopljenih dijelova budući da bi u suprotnome sklapanje ili rasklapanje tih drugih dijelova bilo nemoguće?

4. KORAK

Nastaviti s upisom podataka u polja stupaca, za svaki dio po jedan redak, do posljednjega dijela, odnosno operacije.

5. KORAK

Ukupna cijena rukovanja i umetanja CA, dobiva se zbrajanjem vrijednosti polja 13. stupca. Teoretski minimalan broj dijelova NM dobiva se zbrajanjem vrijednosti unutar 14. stupca.

6. KORAK

Efikasnost proizvoda za automatsko sklapanje, EA, računa se izrazom (1.1):

$$EA = \frac{0,09 \times NM}{CA} \times \frac{60}{FR} \quad (1.1)$$

gdje su:

NM - teoretski minimalan broj dijelova

CA - cijena automatskog rukovanja i umetanja, centi

FR - zahtijevana dobava, proizvod/minuta.

Konstanta 0,09 jest cijena korištenja standardnog dodavača jednu sekundu (0,03 centa), brojena s cijenom korištenja standardne radne glave jednu sekundu (0,06 centi). Vrijednost efikasnosti EA valjana je samo ako je cijena korištenja standardnog dodavača i standardne radne glave manja od cijene efikasne ručne operacije sklapanja. Znači, ako je:

$$0,09 \times \frac{60}{FR} < 0,4 \times 3 \quad (1.2)$$

gdje su:

0,4 - cijena ručne operacije sklapanja, cent/s

3 - vrijeme idealne operacije ručnog sklapanja, s

Vrijednost EA valjana samo ako je:

$$FR > 4,5 \text{ proizvod/minuta. [5]}$$

U tablici 7. prikazan je primjer ispunjenog obrasca za automatsku montažu Sklopa membrane plinskog mjerila koji se sastoji od pet dijelova i zahtijevane dobave od 30 sklopova u minuti.

Tablica 7. Primjer popunjenog obrasca za automatsku montažu [5]

Obrazac 4. Analiza sklopa membrane plinskog mjerila

FM = 1500 x OE/Y Y - najveća izmjera dijela, mm			DF = 60/FR x CR za FR < FM DF = 60/FM x CR za FR ≥ FM						DI = 60/FR x WC za FR < 60 DI = WC za FR ≥ 60				zastriježena dobava, FR, sklop/minuta	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	ime sklop/dijela/operacije
ident. broj dijela	broj usporednih izvođenja operacije	5-obrojna oznaka auto. rukovanja	efikasnost orijentiranja, OE	relativna cijena dodavača, CR=FC+DC	maksimalna osnovna dobava, FM, dio/minuta	razmjer poteškoća pri auto. rukovanju, DF	cijena auto. rukovanja, CF=0,03xDF, cent/dio	2-brojna oznaka auto. umetanja	relativna cijena radne glave, WC	razmjer poteškoća pri auto. umetanju, DI	cijena auto. umetanja, CI=0,06xDI, cent/dio	cijena operacije, (2)x(8)+(12), cent/dio	broj zasebnih dijelova	SKLOP MEMBRANE PLINSKOG MJERILA
5	2	10000	0,7	1	131	2	0,06	00	1	2	0,12	0,36	1	matrica
4	2	00000	0,7	1	88	2	0,06	00	1	2	0,12	0,36	0	podloška
3	1	00800										3,42	1	ploča
2	1	72500	0,25	1	7,8	7,7	0,23	08	2	4	0,24	0,47	0	nosac
1	2	21000	0,9	1	84	2	0,06	39	1,8	3,6	0,22	0,56	0	vijak
												5,17	2	0,07
												CA	NM	EA = 0,09xNM CA FR

POTREBNA RUČNA MONTAŽA

3.2. Pravila za učinkovito automatsko rukovanje i umetanje dijelovima

Pravila, važna pri oblikovanju za automatsko sklapanje, razlikuju se od onih za ručno. U ručne montaže, problemi su najčešće povezani s umetanjem dijelova ili operacijama osiguranja. Poteškoće pri rukovanju dijelovima rezultirat će povećanjem vremena montaže, ali neće biti od primarne važnosti. U automatskoj je montaži, međutim, automatsko rukovanje od osnovnog interesa. Automatizacija procesa rukovanja najčešće je najzahtjevniji dio zadaće automati-ziranja montaže, a cijena automatskog rukovanja može se dramatično mijenjati malim promjenama konstrukcije dijela. Nadalje, efikasnost cjelokupnog automatskog montažnog sustava u velikoj je mjeri vođena efikasnošću kojom se po-jedinačnim dijelovima dade automatski rukovati. Ograničenje brzine sklapanja najčešće je definirano najvećom brzinom rukovanja dijelovima, a zastoji u radu sustava najčešće nastaju zbog zaglavljivanja dijelova u automatskim uređajima za rukovanje. Sve se navedene posljedice mogu minimirati umješnim oblikovanjem dijelova. Jedino što je primarnije od gore navedenoga jest smanjenje broja dijelova, bez obzira na vrstu montažnoga procesa. U visokobrzinskoj automatskoj montaži, eliminacija dijela eliminira čitavu radnu stanicu u montažnom sustavu. To rezultira, osim snižavanjem troškova nabavke opreme, i efikasnijim radom sustava s reduciranim brojem zastoja i manjim praznim hodom.

Za osiguranje efikasnog rukovanja dijelovima trebaju se primijeniti sljedeća pravila:

1. Osigurati da se dijelovi lako izdvajaju iz gomile i dopremaju stazom dodavača. U tu svrhu izbjegavati dijelove:
 - koji se ugnježđuju ili zapliću dok su u gomili
 - koji su savitljivi
 - koji imaju tanke ili šiljaste (sužavajuće) rubove tako da se mogu preklapati pri gibanju konvejerom ili stazom dodavača
 - koji su osjetljivi ili krhki u tolikoj mjeri da se kruženjem u dodavaču oštećuju
 - koji su ljepljivi ili magnetični tako da je sila, potrebna za njihovo razdvajanje, usporediva s težinom jednog dijela
 - koji su abrazivni, pa će uzrokovati trošenje ploha uređaja za automatsko rukovanje
 - kojima je najveća dimenzija manja od 3 mm
 - koji su toliko lagani, da otpor zraka stvara poteškoće pri njihovom dopremanju (lakši od 1,5 kN/m³)
 - kojima je najveća dimenzija veća od 150 mm.

2. Osigurati da se dijelovi lako orijentiraju u visokobrzinskim uređajima za dodavanje. U tu svrhu osloniti se na sljedeće:
 - načiniti dijelove što je moguće više simetričnim. To će uvijek olakšati automatsko orijentiranje, ali u svim slučajevima ne mora automatsko rukovanje učiniti i manje skupim. Naprimjer, ako standardni dodavač jednostavne izvedbe može dodavati i orijentirati neki dio zahtijevanom dobavom, onda promjene konstrukcije dijela u svrhu povećanja simetričnosti neće pridonijeti troškovnom dobitku. To jednostavno naglašava potrebu usporedbe troškova korištenjem karata priručnika prije no što se promjene konstrukcije doista izvedu.
 - za nesimetrične dijelove, osigurati da značajke dijelova ne budu samo malo nesimetrične, tj. izbjegavati značajke dijelova koje su sve samo malo pomaknute od simetrale, ili gotovo jednako razmaknute, ili jednako razmaknute i gotovo jednake veličine itd.
 - za nesimetrične dijelove, osigurati da nesimetrija ne bude zbog negeometrijskih značajki kao što su razlike u debljini prevlake, oznake, završnoj kakvoći ploha itd.
 - za dijelove koji nisu savršeno simetrični, uvijek osigurati da orijentacija dijela bude definirana jednom glavnom značajkom vidljivom u silueti dijela, kao što su izdanak pomaknut od simetrale, urez, skošenje ili izrez. Ako je moguće, osigurati da je značajka vidljiva u smjeru najveće dimenzije dijela. Izbjegavati konstrukciju dijelova kod kojih je orijentacija definirana rupama ili udubinama koje ne mogu biti viđene u vanjskoj silueti.
 - za nerotacijske dijelove, osigurati da se tri glavne dimenzije razlikuju jedna od druge barem za 10 %. To će omogućiti uporabu najjednostavnijih uređaja za efikasno orijentiranje, kao što su skidala i sužavajuće staze.

Primijenivši sve nepohodne korake za ostvarenje efikasnog automatskog rukovanja dijelovima, važno je, naravno, osigurati i da umetanje i smještanje dijela, te operacije osiguranja, mogu biti lako izvedivi uporabom standardnih radnih glava. Sljedeća pravila važna su za snižavanje troškova radnih glava za montažu.

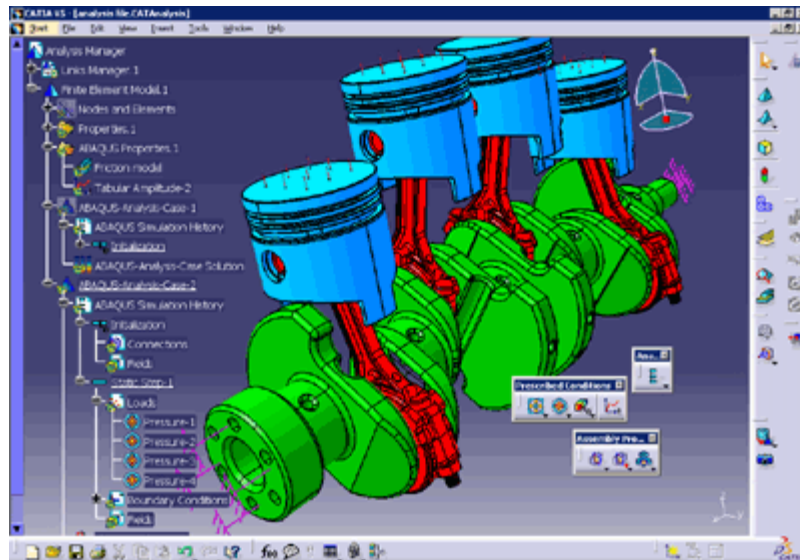
1. Izbjegavati potrebu za preorijentiranjem tijekom sklapanja. Svaka potrebna preorijentacija parcijalnog sklopa uobičajeno zahtijeva posebnu radnu stanicu, što povećava cijenu opreme i snižava efikasnost sustava.

2. Osigurati da dijelovi, koji nisu odmah osigurani pri umetanju, budu potpuno smješteni i da ne trebaju pridržavanje za pomicanje do sljedeće radne stanice.
3. Uključiti značajke kao što su vodilice, konusi, skošenja itd. za ostvarenje lakog poravnavanja dijelova. To će reducirati zahtjev za visokom točnošću radne glave, i smanjiti vjerojatnost zaglavljivanja dijelova i pogrešnih umetanja. Za operacije vijčanja trebalo bi neizostavno razmotriti korištenje stupnjevanih vijaka.
4. Oblikovati proizvod za sklapanje po slojevima, odozgo (ponekad zvano sklapanje po Z osi). To će sniziti cijenu radnih glava i olakšati oblikovanje nosača komada da izdrže silu umetanja.
5. Izbjegavati potrebu za velikim silama umetanja koje bi poskupjele radne glave, nosače komada i strukturu sustava.
6. Ako se dio ne može sklapati odozgo nadalje, ipak osigurati da gibanje pri sklapanju bude pravocrtno. Potreba za višeosnim gibanjima ishodi razvojem specijalnih radnih glava s više stupnjeva slobode uz značajno povećanje cijene. [5]

4. PROGRAMSKA PODRŠKA OBLIKOVANJU PROIZVODA I MONTAŽNIH SUSTAVA

Lov za zaradom danas je u industriji sve izraženiji. Svi se nadmeću tko će brže na tržište izbaciti svoj proizvod i tko će potrošiti manje sredstava za njegovu proizvodnju. Taj tempo doveo je do razvoja novih alata među kojima je i jedan moćan uređaj – računalo. Razvili su se mnogi programski paketi koji omogućuju virtualno konstruiranje, dizajniranje i simuliranje proizvoda. Više nije potrebno fizički izraditi model da bi se vidjelo na čemu smo (Slika 3.). To pridonosi velikoj proizvodnoj efikasnosti, uštedi vremena i konačno profitu. Najpoznatiji softverski paketi za računalno oblikovanje proizvoda jesu: Pro/ENGINEER, IDEAS, CATIA, SOLIDWORKS dok su najpoznatiji programi za izradu simulacija i oblikovanje virtualnih radnih stanica Siemens PLM NX i CATIA/DELMIA.

CATIA (eng. Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) je komercijalni CAD/CAM/CAE programski paket kojeg je razvila francuska tvrtka Dassault Systemes i kojeg distribuira IBM. CATIA je vodeći CAD/CAE/CAM paket, te se koristi u različitim industrijskim granama. U automobilskoj industriji CATIA-u koriste skoro sve veće kompanije, u brodogradnji ju koristi Američka mornarica, u zrakoplovnoj industriji koriste je dva najveća proizvođača Airbus i Boeing, i mnogi manji poput Bombardier Aerospace. Razvoj CATIA-e je započeo krajem sedamdesetih od strane *Dassault Aviation*, francuske zrakoplovne tvrtke. Cilj im je bilo stvoriti program za trodimenzionalno modeliranje i proizvodnju za internu uporabu unutar *Dassault Aviation*a. U početku softver se zvao CATI (Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive), ali je preimenovan u CATIA 1981. godine kada je osnovana podružnica Dassault Systemes za daljnji razvoj i prodaju softvera. 1982. godine pojavljuje se prva komercijalna verzija CATIA-e, a 1984. godine Boeing odabire CATIA-u kao svoj glavni 3D alat i tako postaje najveći klijent. Nakon nekoliko verzija i godina razvoja 1998. godine izdana je verzija 5 koja uz UNIX podržava i Windows NT, a od 2001. godine i Windows XP. 2008. godine predstavljena je CATIA V6 koja radi samo na Windows operacijskom sustavima. IBM je sve navedene proizvode zajedno sa svojim uslugama implementacije i tehničke podrške objedinjeni pod nazivom PLM - Product Lifecycle Management izraz pod kojim se podrazumijeva praćenje i podrška kompletnom ciklusu nastajanja i razvoja proizvoda, a sastoji se od tri primarne, integrirane grupe: CATIA (CAD/CAE/CAM sistemi), ENOVIA/SMARTTEAM sistemi, DELMIA sistem.



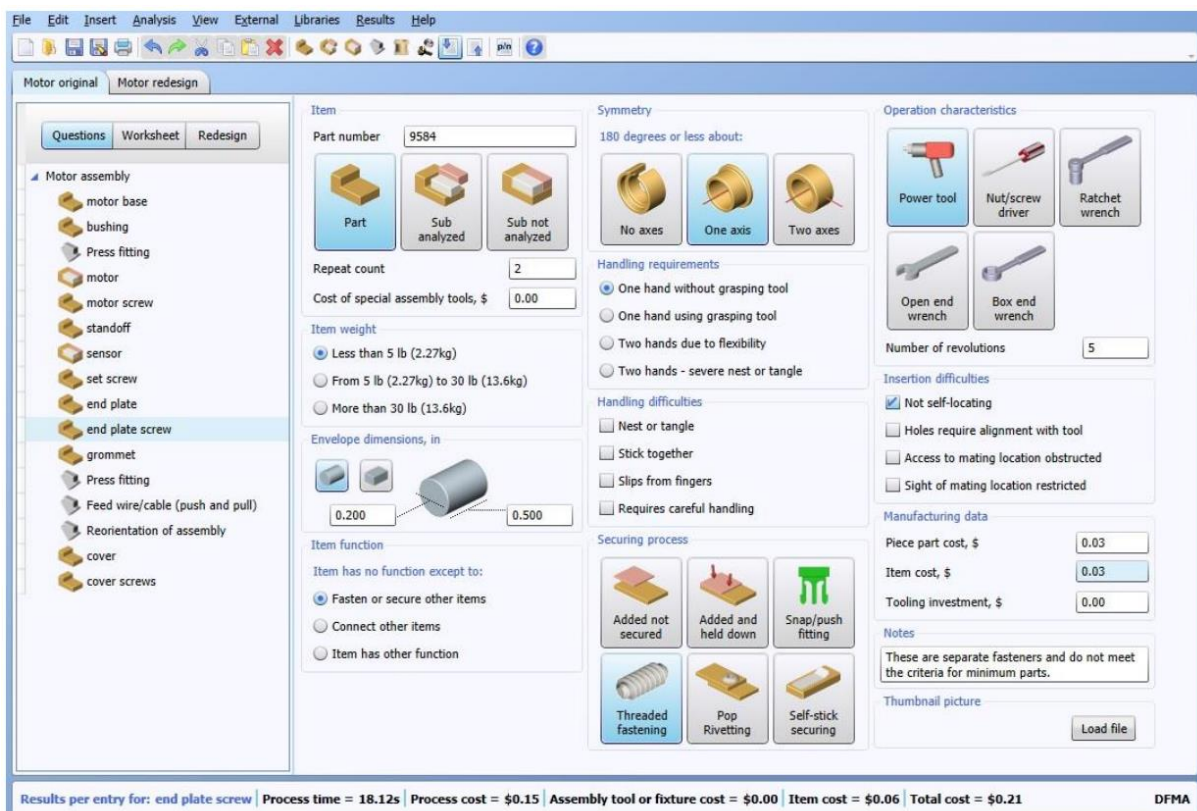
Slika 3. Primjer oblikovanja u softverskom paketu CATIA [4]

DELMIA (eng. Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application) je programski paket za digitalnu proizvodnju. Delmia definira proizvodnju na većoj razini detalja u 3D okruženju što omogućava tvrtkama da razviju optimalan proces i prilagode proizvodnju. Sustav rješenja ponuđen je u rasponu od planiranja procesa do završnih procesa sklapanja i simulacije za sve segmente proizvodnje. DELMIA je vrhunski paket za digitalna proizvodna rješenja, fokusirana na dvije jedinstvene softverske aplikacije koje se koriste za simulaciju proizvodnih sustava. Softver objedinjuje module 2D i 3D konstrukcije preuzetih iz CATIA-e i samostalno razvija simulacijske module. DELMIA automatizira proizvodnu liniju i samim time omogućuje inženjerima u svim automatiziranim industrijama da digitalno definiraju, kontroliraju i nadziru automatizirane sustave kompletno u 3D virtualnom okruženju. DELMIA se koristi u industrijama gdje je optimizacija proizvodnih procesa kritična, uključujući automobilsku, aeronautičku, montažnu, brodograditeljsku, itd. Ovaj programski paket pruža mogućnost stvaranja koda koji se može direktno implementirati na manipulatore te *on-line* način rada. *On-line* rad omogućava učenje i stvaranje novih radnih zadataka bez zaustavljanja proizvodnje (svako zaustavljanje proizvodnje stvara dodatne troškove). Kao i CATIA sastoji se od više modula koji nude pomoć pri rješavanju raznih problema. [4]



Slika 4. Primjer oblikovanja u programskom paketu DELMIA [4]

Softverski su praćeni i metode za analizu i preoblikovanje proizvoda. Jedan od tih programa je upravo onaj koji računalno podržava metodu DFA Boothroyda i Dewhursta (Slika 5.)

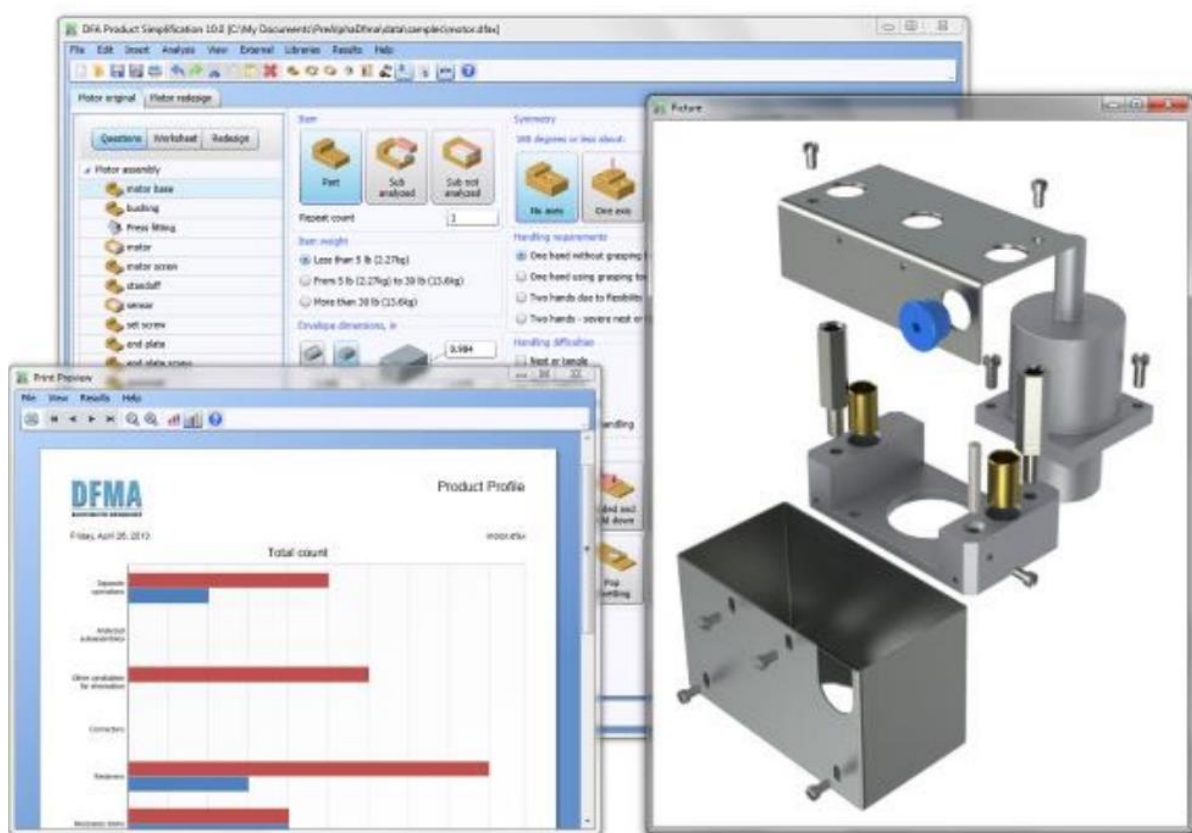


Slika 5. Softver za metodu DFA Boothroyda i Dewhursta[8]

Korištenjem ovog softvera je moguće:

- procijeniti težinu sklapanja proizvoda
- smanjiti broj dijelova
- integrirati konstruiranje i proizvodnju od početka
- poduprijeti donošenje odluka

DFA softver zahtijeva sistematično razmišljanje o svakom dijelu u sklopu. Nakon unosa imena sklopa, prvi korak je identificirati sve komponente koje će se razvijati zajedno sa određenim posebnim operacijama. Dopušta kasnije izmjene, različite odluke zbog usporedbe te odabir najefikasnijeg pristupa s ciljem što većeg smanjenja troškova. [8]



Slika 6. Softver metode DFA Boothroyda i Dewhursta [8]

5. RAZVOJ RAČUNALNE PODRŠKE ZA METODU DFA

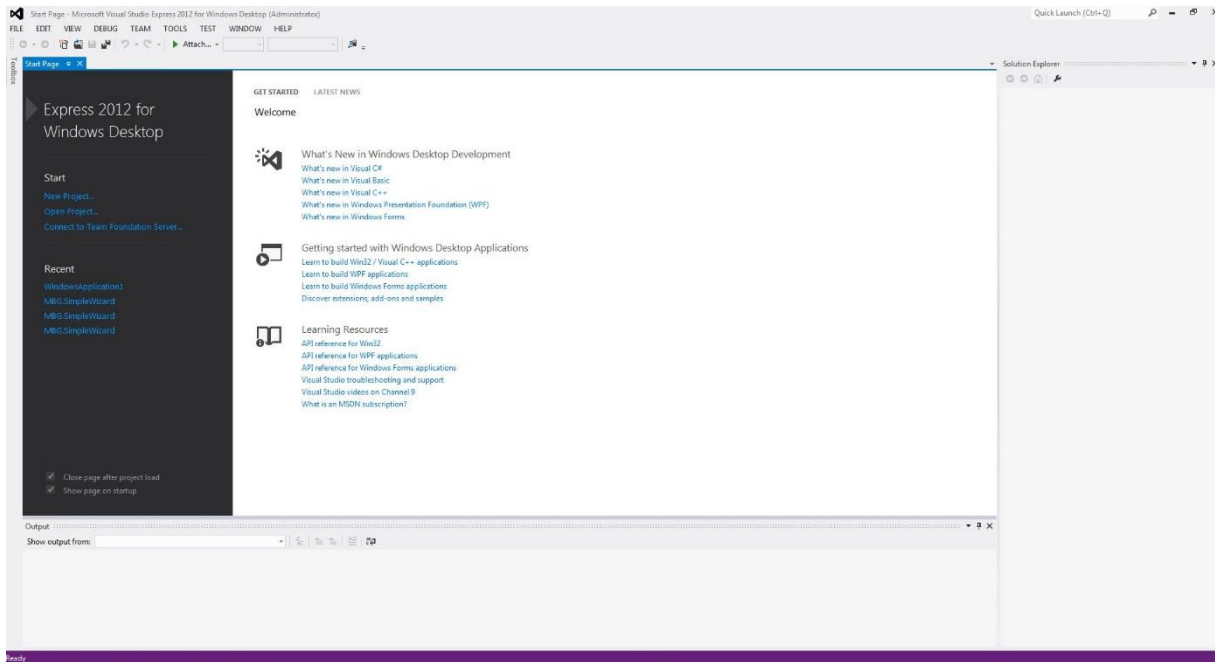
Do odluke za razvoj računalne podrške za automatsku montažu došlo se nakon upoznavanja i provođenja ručnog postupka analize vezanog za seminarski rad iz kolegija Automati za montažu. Očitavanje iz tablica je nedovoljno pregledno i postoji velika mogućnost greške i krivog očitavanja. K tome, ručni postupak je spor te postaje zamoran, posebno zato što se mora ponavljati za svaki dio. Uzimajući u obzir i nepostojanje financijskih sredstava za nabavu softvera metode DFA Boothroyda i Dewhursta, tako se javila ideja za realizaciju računalne pomoći u vidu bržeg dolaska do rješenja i lakšeg očitavanja svih podataka.

Pri razvoju softvera najprije se odlučivalo kako riješiti osnovni problem, a to je očitavanje i unos podataka iz tablica. Odabrane su padajuće liste i *checkbox*ovi („kućice s kvačicama“) zbog jednostavnosti i preglednosti te da korisnik mora odabrati jednu opciju nakon koje slijedi nastavak. Daljnji razvoj je bio vezan za implementaciju proračuna, izradu korisničkog sučelja te povezivanja svih navedenih stavki.

5.1. O programu

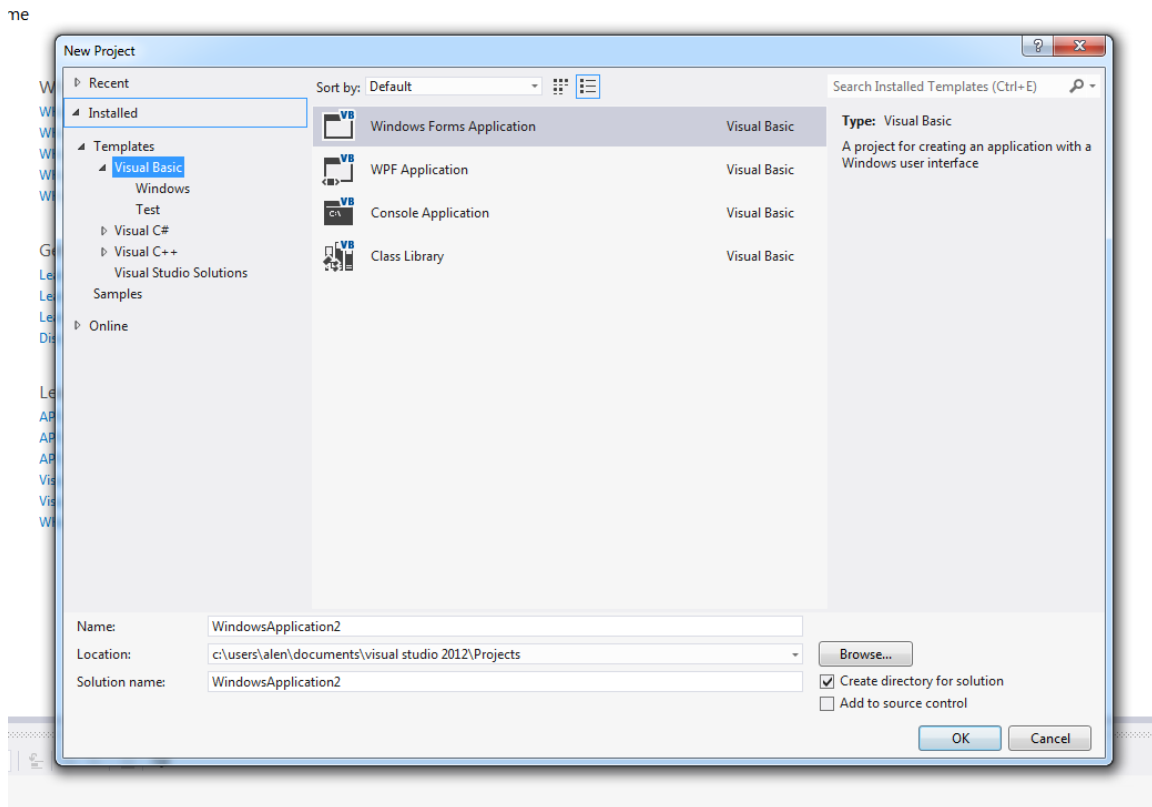
Za razvoj računalne podrške korišten je program *Visual Studio Express 2012 for Windows*. *Visual Studio 2012* predstavlja verziju integriranog razvojnog okruženja pomoću kojega se može kreirati sve što je vezano za razvoj programa vezanih za Microsoftove tehnologije. *Visual Studio 2012* dolazi u tri osnovne verzije: *Professional*, *Premium* i *Ultimate* a pored toga je u ponudi i *Test Professional* verzija kao i potpuno besplatna *Express* verzija koja je ograničenih mogućnosti. Pored izdanja *Visual Studio 2012*, Microsoft je izdao i *Team Foundation Server 2012* kao centralni dio u okviru *Visual Studio* paketa proizvoda koji omogućava timovima da budu produktivniji i efikasniji u svom radu a sve u cilju izdavanja kvalitetnog programskog koda.

Nakon uspješnog preuzimanja i instalacije *Visual Studio Express 2012* pri pokretanju javlja se *Start page* - slika 7.



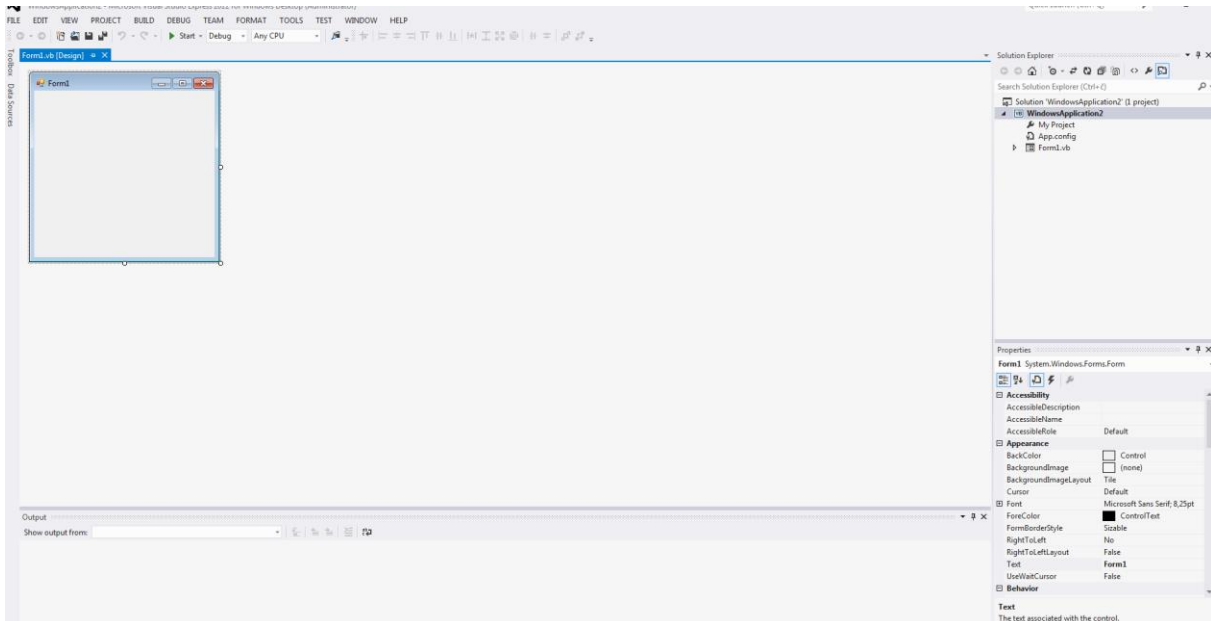
Slika 7. Početni ekran programa Visual Studio Express 2012.

Kako bi se započeo projekt, (analize sklopivosti proizvoda za automatsku montažu), odabire se *File > New Project* te potom u dijaloškom okviru *New Project* odabere se *Windows Forms Application*, (Slika 8.), predložak koji omogućava jednostavnu izradu programa u stilu Windowsa. Bit će mu automatski dodijeljeno ime *WindowsApplication1*. Nije potrebno zadržati ovo ime, može ga se promijeniti po želji. Treba napomenuti da ime koje se ovdje odabere, postaje i ime mape u koju će biti smješten projekt i ime izvršne verzije koja će se kreirati za program.



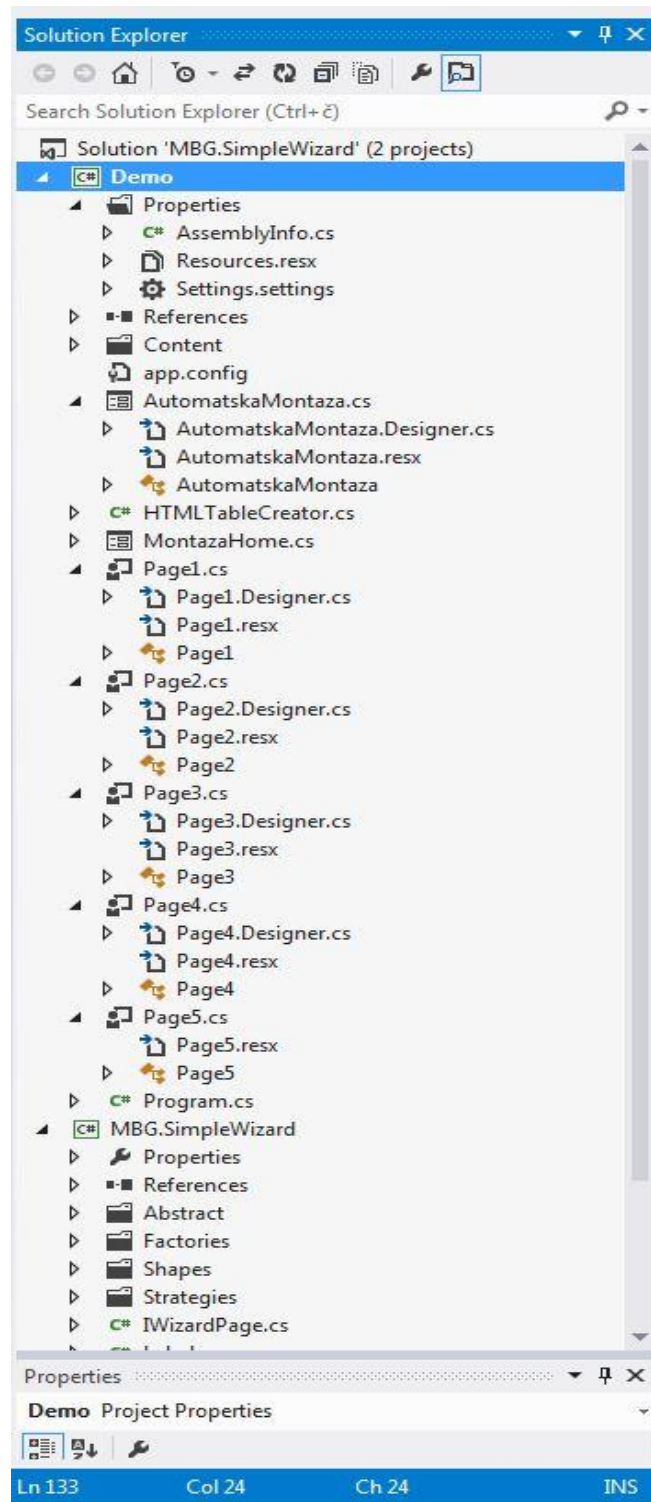
Slika 8. Odabir novog projekta

Visual Studio će otvoriti prazan prozor, tzv. formu koja je smještena u prozoru pod nazivom *Form designer*. Forma je spremište na koje se postavljaju kontrole koje su potrebne za određivanje korisničkog sučelja. Tu je naslovna traka s ikonom i nazivom koji se mogu prilagoditi kao i gumbi za minimiziranje i maksimiziranje prozora te gumb za zatvaranje prozora. Nadalje, označi li se forma, postaju vidljive hvataljke, (mali bijeli kvadratići), pomoću kojih se mijenja veličinu forme. Sve ostale datoteke vezane uz program nalaze se u okviru *Solution Explorer* s desne strane prozora - slika 9.

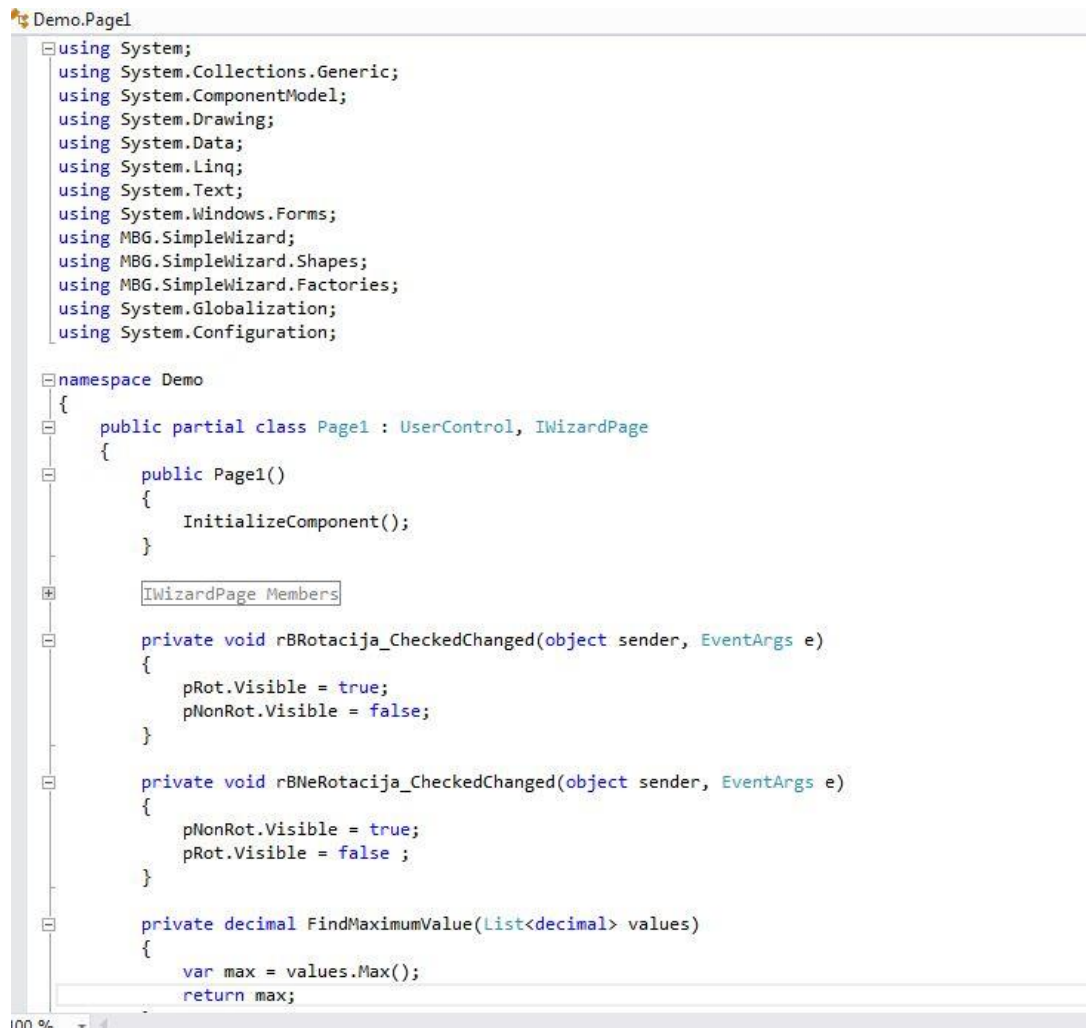


Slika 9. Početni ekran novog projekta

Sljedeći su koraci kreiranja programa. Krenuvši od forme programa, raznih prozora, tipki te dodavanje opisa svake kontrole. Nakon toga sve dijelove treba povezati međusobno kodom i pravilima, (Slika 11.). Konačni izgled stabla programa je prikazan slikom 10. Preko toga na brz i pregledan način mogu se vidjeti sve stavke programa.



Slika 10. Vizualni prikaz stabla programa



```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Drawing;
using System.Data;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using MBG.SimpleWizard;
using MBG.SimpleWizard.Shapes;
using MBG.SimpleWizard.Factories;
using System.Globalization;
using System.Configuration;

namespace Demo
{
    public partial class Page1 : UserControl, IWizardPage
    {
        public Page1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        IWizardPage Members

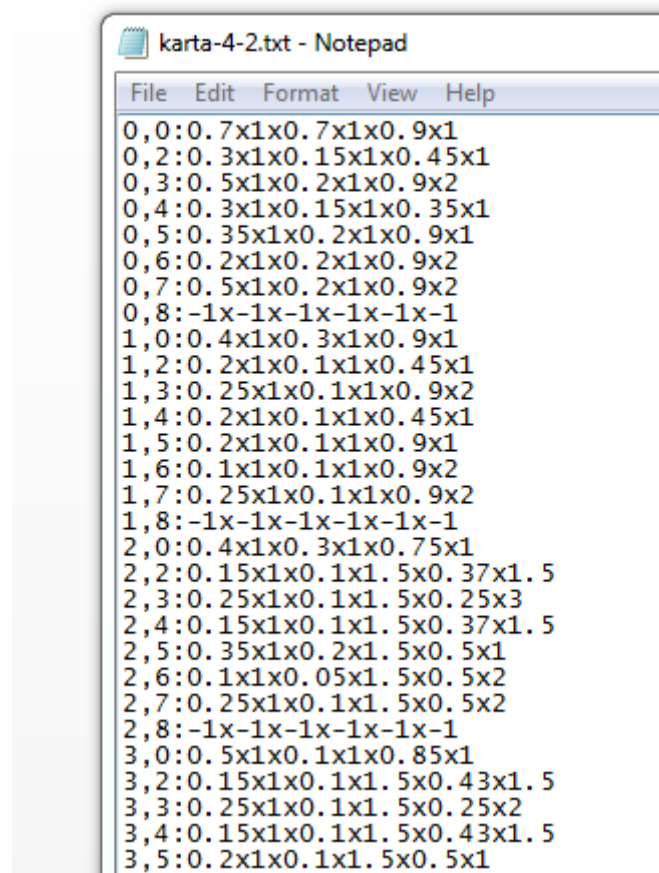
        private void rRotacija_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            pRot.Visible = true;
            pNonRot.Visible = false;
        }

        private void rBNeRotacija_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            pNonRot.Visible = true;
            pRot.Visible = false ;
        }

        private decimal FindMaximumValue(List<decimal> values)
        {
            var max = values.Max();
            return max;
        }
    }
}
```

Slika 11. Primjer koda jednog koraka programa

Tijekom razvoja programa javila se potreba pretvorbe tabličnih vrijednosti iz karte 4-2 (Tablica 3.) u vrijednosti koje program može očitati. Taj se postupak odvijao na način da se svaki broj iz tablice pretvarao u tekstualni zapis u notepadu sa x i y koordinatama i vrijednošću - slika 12.

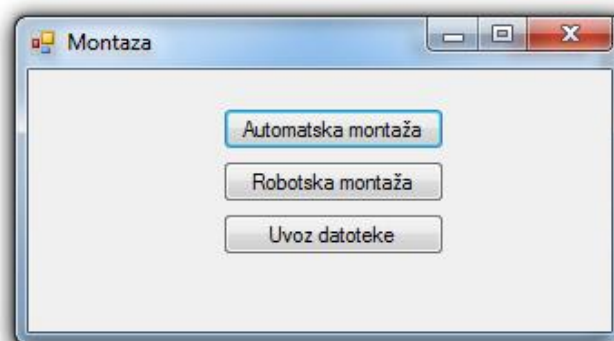


Slika 12. Primjer tabličnog zapisa u notepadu

5.2. Rad programa

U ovoj točki će biti opisan način rada programa i svaki korak. Međuradnje su opisane u koraku 3.1. te su prenesene u programski kod.

Pri pokretanju programa javlja se početni prozor - slika 13.



Slika 13. Početni prozor programa

Na početnom koraku nudi se izbor:

- Automatska montaža
- Robotska montaža
- Uvoz datoteke.

U ovom radu je obrađeno područje automatske montaže i to je daljnji izbor. Predviđena je nadogradnja programa u vidu obrade robotske montaže i mogućnosti povezivanja sa drugim programima npr. Catia, Delmia, AutoCad te uvoz datoteke iz tih programa s ciljem dobivanja početnih podataka. Daljnji razvoj bi omogućio i integraciju podataka između različitih područja, međudisciplinarno oblikovanje, da bi se osigurala dosljednost procesa u području upravljanja uređaja i održivom upravljanju podacima o proizvodu. Taj integrirani način rada sa sustavima koji su u cijeloj tvrtki korišteni za upravljanje podacima o proizvodu povećava se dosljednost podataka i pouzdanost procesa. To se ne odnosi samo na proces razvoja proizvoda, već na cijeli životni ciklus stroja ili sustava. Pravovremena integracija svih sistema ili objekata uključenih u razvojni proces proizvoda podržava definiciju proizvoda i digitalni model proizvoda.

Nakon odabira Automatska montaža javlja se idući korak koji od korisnika traži unos osnovnih podataka:

- Naziv ili šifru sklopa
- Broj dijelova u sklopu
- Broj smjena za rad
- Potreban broj komada.

Program izračunava zahtijevanu dobavu, FR (sklopova/min) - slika 14.

Slika 14. 1. korak programa

Kada se upiše potrebne podatke odabire se *Kreiraj* jer to vodi na idući korak gdje kreću izračuni cijene automatskog rukovanja za svaki dio sklopa.

Automatsko rukovanje

Rotacijski Nerotacijski

Naziv dijela:

Broj operacija:

Broj zasebnih dijelova?

Napomene

- (1) Dio čiji je osnovni oblik valjak, ili pravilna prizma kojoj je presjek pravilan poligon s pet ili više stranica, naziva se rotacijskim dijelom. Osim toga, rotacijskim dijelovima također se smatraju trokutasti ili kvadratasti dijelovi kojima se ponavlja orijentacija kada rotiraju oko svoje osnovne osi za kutove 120° ili 90° .
- (2) L je duljina, a D je promjer najmanjeg valjka koji može potpuno oviti dio.
- (3) A je duljina najduže stranice, C je duljina najkraće stranice, a B je duljina srednje stranice najmanje pravokutne prizme koja može potpuno oviti dio.

Slika 15. Početak izračuna cijene za svaki dio sklopa

U ovom koraku odabire se je li dio rotacijski ili nerotacijski. Po odabiru, nudi se upis karakterističnih veličina za dio, promjer i duljina za rotacijski te visina, širina, i dubina za nerotacijske dijelove.

Potrebno je još upisati naziv dijela za kasnije lakšu identifikaciju te broj operacija. Prije nastavka na idući korak program još traži unos broja zasebnih dijelova koji može biti od 0 do onog jednakog broju operacija. Ako se unese veći broj program izbacuje upozorenje da unos nije ispravan i ne dozvoljava nastavak.

Nakon svih pravilnih unosa program dopušta idući korak. Na idućem koraku se odabiru karakteristične geometrijske značajke dijela, - slika 16.

Automatsko rukovanje - rotacijski dijelovi

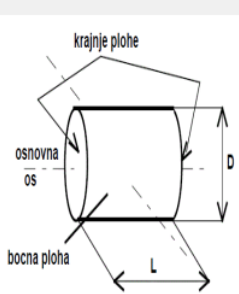
Rotacijski dijelovi

- dio je alfa simetričan
- dio nije alfa simetričan
 - dio se dodaje u žljebu ili po tračnici gdje je težište dijela ispod
 - BETA simetrične stepenice ili skošenja na vanjskim ploham
 - BETA simetrični utori, rupe ili udubine
 - na bočnoj i krajnjoj plohi(ama)
 - samo na bočnoj plohi
 - samo na krajnjoj plohi(ama)
 - BETA simetrične pokrivene značajke bez odgovarajućih vidljivih značajki
 - BETA nesimetrične značajke na bočnoj i krajnjoj plohi(ama)
 - malo nesimetrične ili male značajke: veličina nesimetrije ili značajke

Rotacijski je dio onaj čiji je osnovni oblik valjak ili prizma pravilnoga poligonalnoga presjeka s pet ili više stranica. Dodatno, prizmatični dijelovi kvadratnog ili trokutastog presjeka koji ne zahtijevaju orijentiranje oko svojih osi (ponavljaju svoju orijentaciju svakih 90° ili 120°), uključeni su u široku kategoriju rotacijskih dijelova. Ovi posljednji dijelovi reprezentirani su prvim stupcem (druga znamenka je 0) rotacijske klasifikacije, budući da su po definiciji BETA simetrični.

Napomene

- (1) Rotacijski dio je ALFA simetričan ako ne zahtijeva orijentiranje s kraja na kraj. Ako se dio može umetati u sklop samo jednim smjerom, tada dio nije ALFA simetričan.
- (2) BETA simetričan dio ima rotacijsku simetriju i stoga ne zahtijeva orijentiranje oko svoje osnovne osi.
- (3) BETA simetrična stepenica, skošenje ili utor jest koncentrično smanjenje ili povećanje promjera: njegov presjek može biti kružni ili bilo koji pravilni poligon. Manje važne značajke zanemariti.
- (4) Dio ove kategorije ima ALFA simetričan vanjski oblik, ali unutrašnja ploha (sastavljena od šupljina, rupa, utora itd.) zahtijeva da se dio orijentira s kraja na kraj.



	KLJUČ	OE	FC
	0 ⇒	0,3	1
prva znamenka	1 ⇒	0,15	1,5
	2 ⇒	0,45	1,5

Slika 16. Odabir značajki dijela

U svakom okviru se odabire jedna vrijednost koja definira taj dio, preko tog odabira dobivaju se međuvrijednosti OE i FC iz karte 4-2 (Tablica 3.).

Idući korak je „prazan“ korak koji je aktivan u slučaju odabira nerotacijskih dijelova. U ovom slučaju nemamo mogućnosti unosa i samo odabiremo *Next*, (Slika 17.)

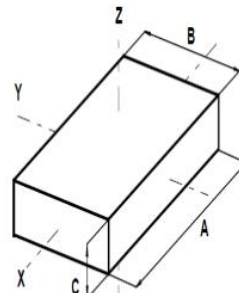
Automatski rukovanje - nerotacijski dijelovi

Napomene

- (1) Rotacijska simetrija za 180° oko neke osi znači da će ista orijentacija dijela biti ponovljena samo jednom rotiranjem dijela za 180° oko te osi.
- (2) Stepenice, skošenja ili prolazni utori su značajke koje se mogu vidjeti u silueti.
- (3) Dane značajke su istaknute, ali je nesimetrija uzrokovana ovim značajkama manja od 0,1 odgovarajuće dimenzije ovojnice. Za dio koji ima rotacijsku simetriju 180° oko neke osi, mala nesimetrija znači da dio ima rotacijsku simetriju za gotovo 90° oko te osi.
- (4) Dio koji nema rotacijsku simetriju, označava dio kod kojega se ista orijentacija neće ponoviti rotiranjem dijela bilo kojim kutem manjim od 360° oko bilo koje od triju osi, X, Y ili Z.

Glavna je značajka dijela značajka koja se odabire za definiranje orijentacije dijela. Sve značajke dijela odabrane da potpuno definiraju orijentaciju dijela trebaju biti potrebne i dovoljne za tu svrhu.

Često se značajke pojavljuju u parovima ili skupinama, koje su simetrične oko jedne od triju osi (X, Y ili Z). U tome slučaju, par ili skupina trebaju se uzeti kao jedna glavna značajka. Primjenom toga pravila, najčešće su potrebne najviše dvije značajke za potpuno definiranje orijentacije dijela.



	KLJUČ	OE	FC
		↓	↓
prva znamenka	6 ⇒	0,7	1
	7 ⇒	0,45	1,5
	8 ⇒	0,3	2

Slika 17. Korak za nerotacijske dijelove

Sljedeći korak (Slika 18.) je odabir svojstva dijela, vezanih za cijenu dodavača: je li dio savitljiv, osjetljiv, ljepljiv, preklopiv itd. Dobiva se međuvrijednost DC iz karte 4-4, tablica 5.

Automatski rukovanje - dodatne cijene dodavača

Dodavači

- dijelovi su vrlo maleni, ali nisu abrazivni
 - dijelovi ne teže preklapanju tijekom dodavanja
 - nisu osjetljivi
 - nesavitljivi
 - savitljivi
 - osjetljivi
 - nesavitljivi
 - savitljivi
 - dijelovi teže preklapanju tijekom dodavanja

Dodavci

- nezapletivi i neugnjezdivi
 - nisu lagani
 - lagani
 - zapletivi ili ugnjezdivi (ali ne čvrsto)
 - čvrsto ugnjezdivi
 - čvrsto zapletivi
 - vrlo maleni dijelovi
 - vrlo veliki dijelovi

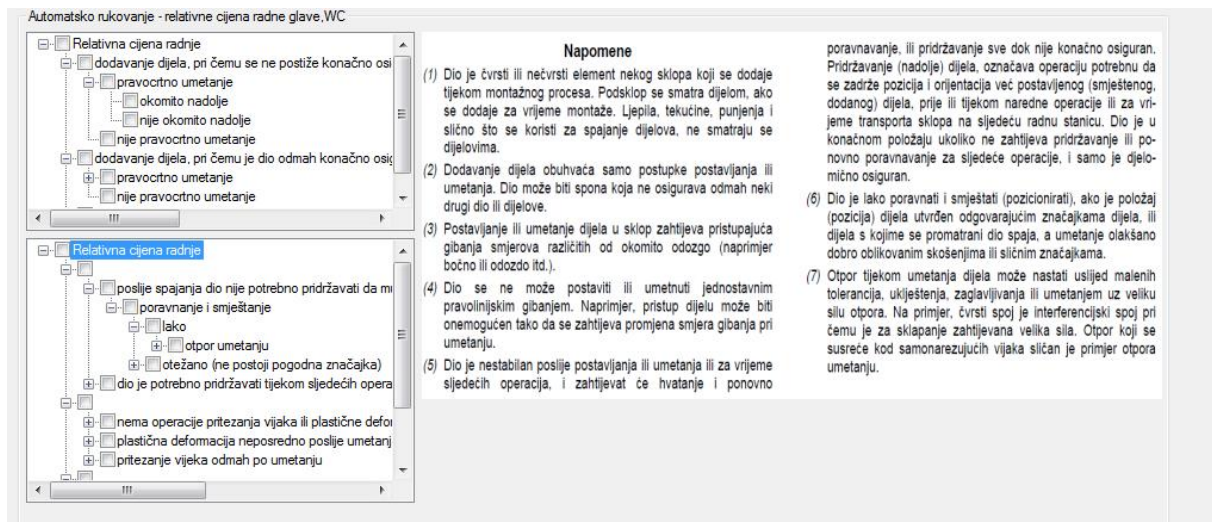
Definicije

Dio je ...

- ... **savitljiv** (fleksibilan), ako dio ne može zadržati svoj oblik tijekom automatskog dodavanja, tako da uređaj za dodavanje ne može zadovoljavajuće funkcionirati.
- ... **osjetljiv** ako za vrijeme rukovanja može nastati šteta: lom dijelova koji padaju pri orijentiranju sa staze dodavača na dno zdjele dodavača; istrošenje uzrokovano kolanjem dijelova u zdjeli dodavača. Ako je kriterij istrošenje, dio se smatra osjetljivim ako ne može kružiti u zdjeli dodavača barem 30 minuta i pritom zadržati prvotne tolerancije.
- ... **ljepljiv** ako je sila potrebna da se dio izdvoji iz nesređene gomile dijelova usporediva s težinom jednog dijela.
- ... **prelagan** za rukovanje konvencionalnim dodavačima ako je odnos njegove težine prema volumenu ovojnice manji od 1,5 kN/m³.
- ... **preklopiv** u dodavaču kada se zahtijeva poravnavanje bolje (manje) od 0,2 mm, da bi se spriječio pokrivanje ili preklapanje tijekom dodavanja u jednostrukom nizu (dijelova) na vodoravnoj stazi.
- ... **prevelik** za rukovanje konvencionalnim dodavačima, kada je njegova najmanja dimenzija veća od 50 mm, ili ako je njegova najveća dimenzija veća od 150 mm. Dio je prevelik za rukovanje posebnim vibracijskim dodavačem ako je $L > d/8$, gdje je L duljina dijela mjerena usporedno s pravcem dodavanja, a d promjer zdjele dodavača.
- ... **premalen** za rukovanje konvencionalnim dodavačima kada je njegova najveća dimenzija manja od 3 mm. Dio je premalen za rukovanje posebnim vibracijskim dodavačem, ako je njegova najveća dimenzija manja od polujmera zakrivljene plohe koja spaja stijenku zdjele i plohu staze, mjereno u ravni okomitoj na pravac dodavanja.
- ... **ugnjezdivi** ako se dijelovi u hrpi mogu međusobno spojiti uzrokujući probleme pri orijentiranju. Nije potrebna sila da se dijelovi razdvoje.
- ... **čvrsto ugnjezdivi** ako se dijelovi u hrpi međusobno spoje i zaglave te ih je potrebno nasilno razdvojiti.
- ... **zapletivi** ako se dijelovi u hrpi zapliću tako da je potrebno ponovno orijentiranje da ih se razdvoji.
- ... **čvrsto zapletivi** ako se dijelovi u hrpi zapliću, pa je potrebno rukovanje radi postizanja posebne orijentacije, i sila da ih se razdvoji.
- ... **abrazivan** ako može oštetiti plohu dodavača, ako ta ploha nije posebno zaštićena.

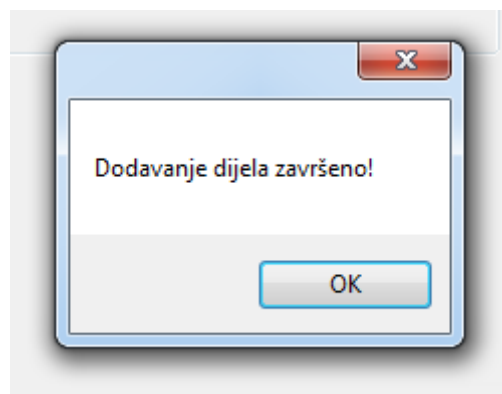
Slika 18. Dodatne cijene dodavača

Zadnji korak programa (Slika 19.) u izračunu cijene automatskog rukovanja za dio je odabir vezan za pozicioniranje i fiksiranje tog dijela. Dobiva se međuvrijednost WC iz karte 4-5, tablica 6.



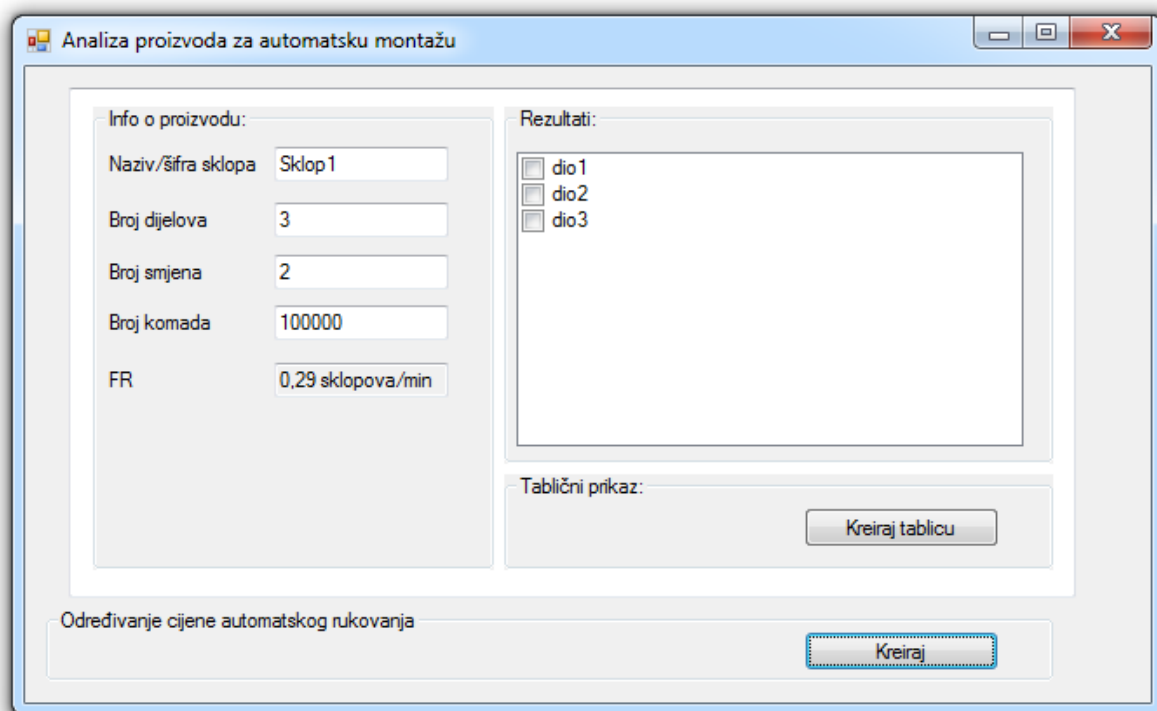
Slika 19. Odabir relativne cijene radne glave

Nakon izvedenih svih koraka javlja se poruka o uspješnosti dodavanja dijela, slika 20., što pokazuje da je proračun uspješno proveden.



Slika 20. Završna poruka

Opisani postupak ponavlja se onoliko puta koliko sklop ima dijelova. Za svaki dio odabiru se njegove karakteristike. Nakon što se dodaju svi dijelovi sklopa, na početnom ekranu programa pojavljuje se njihova lista (popis) - slika 21.



Slika 21. Početni prozor sa svim dodanim dijelovima

Na kraju, poslije dodavanja svih dijelova, odabire se *Kreiraj tablicu* nakon čega program generira html datetoku (Slika 22.) s obrascem za automatsko sklapanje - tablica 1.

FR = 0.29 sklopov/min													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
IDENTIFIKACIJSKI BROJ/DJELA	BROJ IZVOĐENJA OPERACIJA	5-BROJNA OZNAKA AUTOMATSKOG RUKOVANJA	EFIKASNOST ORIJENTIRANJA, OE	RELATIVNA CIJENA DODAVACA, CR=FC-DC	MAKSIMALNA OSNOVNA DOBAVA, FM, dio/minuta	RAZMJER POTESKOCA PRI RUKOVANJU, DF	CIJENA AUTOMATSKOG RUKOVANJA, CF=0.03*DF, cent/dio	2-BROJNA OZNAKA AUTOMATSKOG UMETANJA	RELATIVNA CIJENA RADNE GLAVE, WC	RAZMJER POTESKOCA PRI AUTOMATSKOM UMETANJU, DI	CIJENA AUTOMATSKOG UMETANJA, CI=0.06*DI, cent/dio	CIJENA OPERACIJE, cent/dio	BROJ ZASEBNIH DIJELOVA
3	2	11340	0.1	3	-	620.69	18.62	00	1	206.90	12.41	62.06	0
2	3	82202	0.5	4	-	827.59	24.83	30	1.2	248.28	14.90	119.19	0
1	2	01204	0.2	3	-	620.69	18.62	00	1	206.90	12.41	62.06	1
												243.31	1
												CA	NM
													EA

Slika 22. Generirana HTML tablica

6. ZAKLJUČAK

Želja svih proizvođača je lansirati na tržište svoj proizvod i pritom ostvariti što veću dobit uz što manje troškove i u što kraćem roku. Budući da se smatra da su troškovi radne snage u porastu, nameće se pitanje zamjene ljudskog rada automatskim. To je pogotovo izraženo u montaži proizvoda, koja stvara oko 40 % do 50 % troškova u proizvodnji. Automatski sustavi neosjetljivi su na umor, agresivni i za zdravlje opasnu okolinu, nemaju fiziološke potrebe i mogu gotovo raditi bez prestanka. Ipak, prijelaz na automatske procese povlači sobom razna pitanja, ponajprije pitanje cijene i isplativosti. Zato se provode proračuni za različite metode sklapanja kako bi se odlučilo koja bi metoda bili najisplativija. U radu je detaljno opisan dio metode DFA Boothroyda i Dewhursta – i to onaj posvećen analizi proizvoda za automatsku montažu.

U radu je razvijena i računalna podrška za analizu proizvoda za automatsku montažu u programskom paketu *Visual Studio Express 2012*. Korištenjem predloška svi dijelovi proračuna i očitovanje iz karti su preneseni u aplikaciju. Svrha aplikacije je da smanji vrijeme koje je potrebno za dobivanje gotovog, popunjenog obrasca i da smanji mogućnost greške pri očitovanju raznih podataka iz tablica zbog zamora pri ponavljanju. Pokušalo se što više pojednostaviti postupak za korisnika da je mogućnost korištenja što veća i da je postupak što brži.

U današnje vrijeme sve je veći vremenski pritisak da se što prije novi proizvodi lansiraju na tržište. Pri tome svaka računalna podrška koja smanjuje vrijeme računanja i olakšava postupak je od velike pomoći. Ako se omogući daljnji razvoj, u smislu povezivanja s CAD programima i povezivanja s Office programima, aplikacija razvijena u ovom završnom radu ima potencijal vrlo široke primjene te mogućnosti prijelaza na druge platforme, kao što su tableti i pametni telefoni. Također, za daljnji rad preostaje računalna implementacija postupka analize za robotsko sklapanje.

7. LITERATURA

- [1] Zoran Pamučar, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2010.
- [2] Dejan Božić, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2009.
- [3] <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html?%01> , pristupljeno 2014-09-12.
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/CATIA> , pristupljeno 2014-09-12.
- [5] Kunica, Z., Oblikovanje proizvoda za sklapanje, Interni prijevod knjige G. Boothroyda i P. Dewhursta „Product Design for Assembly“, Boothroyd Dewhurst, Inc., Wakefield, 1991, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2009.
- [6] <http://spasol.wordpress.com/2012/10/22/ta-je-novo-u-visual-studio-2012-2/> , pristupljeno 2014-09-12.
- [7] <http://titan.fsb.hr/~zkunica/nastava/T2PT2/Tehnologija%20II%20Proizvodne%20tehnologije%20II%202.pdf> , pristupljeno 2014-09-12.
- [8] <http://www.dfma.com/software/dfa.htm> , pristupljeno 2014-09-12.