

# Razvoj sustava za sintezu koncepcijskih rješenja pomoću gramatike proizvoda

---

Midžić, Ida

Master's thesis / Diplomski rad

2009

*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:235:401154>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-20**

*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# DIPLOMSKI RAD

Ida Midžić

ZAGREB, 2009.

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada:

Prof. dr. sc. Dorian Marjanović

Ida Midžić

ZAGREB, 2009.

ZADATAK

## ZAHVALA

Diplomski rad izradila sam samostalno, služeći se znanjem stečenim tijekom studija, te literaturom i izvorima navedenima na kraju rada.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Dorianu Marjanoviću na brojnim stručnim savjetima, strpljenju i potpori tijekom izrade ovog rada.

Također se zahvaljujem komentoru Tinu Stankoviću, dipl. ing. brod., na savjesnom i stručnom vođenju kroz proces izrade diplomskog rada, te pomoći i suradnji na nekim ključnim mjestima ovog rada.

Uz to, htjela bih se zahvaliti i dr. sc. Mariu Štorgi na bezrezervnoj pomoći i pruženom znanju na području razvoja proizvoda. Moje zahvale također pripadaju i osoblju Cadlaba, te kolegama i asistentima sa brojnih katedra na Fakultetu strojarstva i brodogradnje prilikom traženja i posudbe dragocjene literature.

Dodatno se zahvaljujem kolegama sa Fakulteta koji su mi pružali moralnu potporu, ne samo tijekom izrade diplomskog rada, nego i tijekom studiranja, te prijateljima na nesebičnom razumijevanju i podršci.

Konačno, zahvaljujem se svojoj obitelji na potpori i razumijevanju u periodu izrade diplomskog rada i općenito na potpori tijekom studiranja.

## SADRŽAJ

SAŽETAK .....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
POPIS SLIKA .....	VII
POPIS TABLICA .....	X
1. Uvod.....	1
1.1. Struktura diplomskog rada .....	2
1.2. Motivacija za rad .....	3
2. Uvod u područje razvoja proizvoda .....	5
2.1. Razvoj proizvoda – ograničenja i primjena .....	5
2.2. Metodologija konstruiranja i <i>pravila</i> .....	10
2.3. Uvod u teoriju tehničkih sustava .....	11
2.4. Zahtjevi za proizvod .....	14
2.5. Funkcijsko modeliranje proizvoda .....	15
3. O biciklu .....	18
3.1. Povijest bicikla .....	18
3.2. Konstruiranje stabla i dijelovi bicikla.....	20
4. Gramatika proizvoda .....	26
4.1. Općenito o gramatici .....	26
4.2. Formalna gramatika i jezik .....	27
4.3. Osnove teorije formalnih jezika i gramatike .....	28
4.3.1. Definicija 1 .....	28
4.3.2. Definicija 2.....	29
4.3.3. Definicija 3.....	29
4.3.4. Definicija 4.....	29

4.3.5.	Definicija 5 .....	29
4.3.6.	Definicija 6 .....	30
4.3.7.	Definicija 7 .....	30
4.3.8.	Definicija 8 .....	32
4.4.	Klasifikacija gramatika .....	32
4.4.1.	Gramatika tipa 0 .....	32
4.4.2.	Gramatika tipa 1 .....	32
4.4.3.	Gramatika tipa 2 .....	33
4.4.4.	Gramatika tipa 3 .....	34
4.5.	Gramatika oblika .....	34
4.6.	Definicija gramatike oblika .....	36
5.	Rad sa gramatikom proizvoda na primjeru bicikla.....	41
5.1.	Kreiranje strukture stabla .....	42
5.2.	Skupovi .....	46
6.	Razvoj računalnog sustava za sintezu konceptijskih rješenja .....	51
6.1.	Opis programa .....	51
6.2.	Rad u programu .....	52
6.3.	Rezultati .....	54
6.4.	Generiranje varijanti.....	60
7.	Sinteza pravila gramatike proizvoda .....	62
8.	Primjer generiranja varijanata proizvoda .....	72
8.1.	Kreiranje različitih projekata za proizvod bicikl.....	72
8.2.	Varijante bicikla.....	78
9.	Zaključak.....	84
10.	Popis korištenih računalnih programa.....	86
11.	Literatura i popis web-izvora .....	87
	POPIS PRILOGA.....	90

## SAŽETAK

Ovaj rad bavi se teoretskim i praktičnim mogućnostima primjene formalne gramatike i formalnog jezika u razvoju proizvoda. Tako su temeljne postavke rada sadržane u definiciji formalne gramatike i jezika. Gramatika oblika i gramatika proizvoda ukratko su objašnjene u radu i potječu iz teorije formalnih jezika. Cilj rada je implementirati nasljednika metode gramatike oblika – metodu gramatike proizvoda u proces razvoja proizvoda, točnije primijeniti metodu u svrhu generiranja koncepata proizvoda na nivou komponenti proizvoda.

Na primjeru konkretnog (zadanog) proizvoda – bicikla predložen je način formaliziranja znanja o proizvodu na razini komponenata. Za potrebe rada razvijen je računalni program koji pomoću raspoložive baze komponenata i poznate funkcijske strukture automatski zapisuje pravila gramatike.

U radu je obavljena funkcionalna analiza i funkcionalna dekompozicija zadanog proizvoda unutar područja oblikovanja i razvoja proizvoda, te su korištene definicije tehničkog sustava i tehničkog procesa. Proces razvoja gramatike bicikla detaljno je opisan i predstavljen na nizu grafova i slika. U radu je ilustriran rad u programu i način na koji se generiraju konceptualne ili topološke varijante oblika proizvoda.



## POPIS OZNAKA

$L$	...	jezik
$\Sigma$	...	skup znakova, terminalni skup, abeceda (vokabular)
$x, y$	...	string (niz znakova)
$\varepsilon$	...	prazan string ili skup
$a, b, A, B$	...	znak, slovo abecede (vokabulara)
$G$	...	gramatika
$V$	...	neterminalni skup
$S$	...	inicijalni element vokabulara
$P, R$	...	skup produkcija
$\alpha, \beta$	...	stringovi sastavljeni od terminala i neterminala
$SG$	...	gramatika oblika
$V_T$	...	terminalna abeceda oblika, vokabular ili terminalni skup
$V_M$	...	neterminalni skup ili oznake
$u, v$	...	elementi skupa sastavljenog od terminala i neterminala
$I$	...	startni simbol
$R_{i_j}$	...	podskup pravila
$n$	...	broj generiranih varijanti
$k, k_1$	...	suma terminala

**POPIS SLIKA**

Slika 01.	Tok podataka među odjelima u poduzeću.....	7
Slika 02.	Poredak faza u konstruiranju i područja razvoja proizvoda sa kolegija Informacijski modeli proizvoda (Marjanović; Štorga, 2006/07.), FSB	9
Slika 03.	Životni ciklus proizvoda prema Pahlu et al., (2007.).....	10
Slika 04.	Opći model transformacijskog procesa .....	12
Slika 05.	Blackbox pristup varijanta 1 .....	12
Slika 06.	Blackbox pristup varijanta 2 .....	12
Slika 07.	Način označavanja tokova energije, materijala i signala, te funkcija	13
Slika 08.	Rezultat procesa razvoja proizvoda trebao bi biti uspješan posao..	14
Slika 09.	Tehnički proces i glavne funkcije bicikla.....	16
Slika 10.	Legenda sa Slike 09.....	16
Slika 11.	Fotografija bicikla s kraja 19. stoljeća iz Škodinog muzeja u Češkoj	19
Slika 12.	Velika Britanija, bicikl s početka 20. stoljeća .....	19
Slika 13.	Dijelovi okvira .....	20
Slika 14.	Bicikl sa vratilom umjesto lančanika.....	21
Slika 15.	Dijelovi pogona.....	21
Slika 16.	Kaseta (set lančanika) na stražnjem kotaču.....	21
Slika 17.	Kočnice, varijante kočnica.....	21
Slika 18.	Prednja disketna kočnica montirana na prednju vilicu.....	22
Slika 19.	Čeljusti kočnica .....	22
Slika 20.	Dijelovi bicikla.....	23
Slika 21.	Papučice pedala.....	23
Slika 22.	Upravljač sa I-podom montiranim na gornju ramu.....	24
Slika 23.	Stablo bicikla .....	24
Slika 24.	Stablo kotača – dijelovi kotača .....	24
Slika 25.	Dijelovi kotača .....	25
Slika 26.	Inicijalni (početni oblik).....	35
Slika 27.	Oblikovno pravilo.....	35
Slika 28.	Oblikovanje u jeziku pomoću Froebelovih blokova (Knight, 2000.)	35

Slika 29.	Stablo bicikla_drugi korak .....	42
Slika 30.	Početni model za slaganje stabla sa tri sustava i podijeljenim komponentama .....	42
Slika 31.	Selektiranje komponenti bicikla za optimalno biranje terminala .....	43
Slika 32.	Smanjivanje broja komponenti .....	43
Slika 33.	Model za slaganje stabla proizvod – funkcije – komponente.....	46
Slika 34.	Gotovo stablo funkcija i komponentata spremno za slaganje gramatike .....	47
Slika 35.	Unos terminala u korisničkom sučelju programa.....	53
Slika 36.	Unos oznaka u korisničkom sučelju programa .....	53
Slika 37.	Unos neterminala u korisničkom sučelju programa.....	54
Slika 38.	Odabiranje inicijalnog elementa u korisničkom sučelju programa ...	55
Slika 39.	Crtanje „zrakastog” prikaza cijele gramatike proizvoda .....	55
Slika 40.	Crtanje „lančanog” prikaza cijele gramatike proizvoda.....	56
Slika 41.	Gramatika proizvoda za inicijalni element – kotač, prva stranica ....	56
Slika 42.	Gramatika proizvoda za inicijalni element – kotač, druga stranica ..	57
Slika 43.	Gramatika za odabrani neterminal cijev sjedala.....	58
Slika 44.	Gramatika bicikla za odabrani element cijev sjedala.....	63
Slika 45.	Nesređeno stablo bicikla za pravilo za cijev sjedala.....	64
Slika 46.	Sređeno stablo bicikla prema pravilu za cijev sjedala .....	65
Slika 47.	Gramatika bicikla za odabrani element lančanu cijev.....	66
Slika 48.	Nesređeno stablo bicikla prema pravilu za lančanu cijev .....	66
Slika 49.	Sređeno stablo bicikla prema pravilu za lančanu cijev .....	67
Slika 50.	Identificiranje istih komponenti na stablu bicikla prema pravilu za kotač.....	68
Slika 51.	Drugi korak u identificiranju istih komponenti u stablu.....	69
Slika 52.	Treći korak u identificiranju istih komponenti u stablu .....	70
Slika 53.	Konačno stablo bicikla prema pravilu za kotač.....	71
Slika 54.	Konačno stablo bicikla prema pravilu za kotač.....	73
Slika 55.	Stablo podfunkcija i komponentata za dječji bicikl.....	73
Slika 56.	Bicikl iz 1817. godine .....	74
Slika 57.	Stablo podfunkcija i komponentata za bicikl iz 1817. godine.....	74

Slika 58.	Bicikl iz 1885. godine .....	75
Slika 59.	Stablo podfunkcija i komponenata za bicikl iz 1855. godine.....	75
Slika 60.	Suvremeni bicikl .....	76
Slika 61.	Stablo podfunkcija i komponenata za suvremeni bicikl .....	77
Slika 62.	Stablo podfunkcija i komponenata za peti projekt .....	78
Slika 63.	Osnovna struktura bicikla .....	78
Slika 64.	Korisničko sučelje potprograma Generiranje varijanti .....	79
Slika 65.	Varijanta bicikla sa kočnicama .....	81
Slika 66.	Varijanta bicikla sa blatobranima.....	81
Slika 67.	Varijanta bicikla sa svjetlima .....	82
Slika 68.	Varijanta bicikla sa zvonom.....	82
Slika 69.	Varijanta bicikla sa okvirom.....	82
Slika 70.	Varijantno rješenje sa cijevi sjedala, donjom ramom, gornjom ramom i lančanom cijevi .....	83
Slika 71.	Varijantno rješenje sa mjenjačem .....	83

## POPIS TABLICA

Tablica 01.	Definicija gramatike, objašnjenje oznaka .....	31
Tablica 02.	Definicija gramatike oblika, objašnjenje oznaka .....	37
Tablica 03.	Dijagram (ili stablo) funkcija – 3 nivoa : prvi nivo je proces, drugi su glavne funkcije, treći su podfunkcije .....	45
Tablica 04.	Dijagram (ili stablo) komponenata (dijelova) – 3 nivoa: prvi nivo je proizvod, drugi su podsustavi, treći je komponente (ili dijelovi) bicikla .....	45
Tablica 05.	Ujedinjena tablica komponenti i funkcija.....	49
Tablica 06.	Rezultati pretrage projekata .....	80

## 1. Uvod

Početak rada posvećen je definiranju osnovnih pojmova i sužavanju područja strojarstva o kojem se govori u ovom diplomskom radu. Strojstvo kao inter- i intra- disciplinarno područje obuhvaća široki spektar djelatnosti, struka i područja, implicira suradnju među strukama i zanimanjima i na kraju prelazi granice podjela među njima. Ipak, nešto što je zajedničko svim strojarskim djelovanjima, poslovima i aktivnostima je postojanje proizvođačke djelatnosti kao glavnog pretendenta i načina da se ostvari suživot tehnologije, industrije, znanosti i pretvori u primijenjenu znanost ili industriju, tj. artefakt kao simbolički oblik napretka čovječanstva, društva i same struke. Ovakva vizija strojarstva kao načina ostvarivanja i realiziranja potreba društva je ustaljena već duže vrijeme i neke ekonomske teorije predlažu kriterije ostvarivosti, smisla, razloga i uzroka zašto proizvoditi.

Ovo viđenje strojarske djelatnosti prevladava i u užem dijelu strojarstva koje se naziva razvojem proizvoda. Engleski naziv *Research and Development* (R&D) u nekim poduzećima predstavlja odjel na kojem se obavlja razvoj proizvoda. Prema općenitom modelu proces razvoja proizvoda sastavljen je od različitih faza. Generiranje koncepata pojavljuje se u fazi konstruiranja kako bi se pronašla odgovarajuća koncepcijska rješenja proizvoda koja bi udovoljavala određenim zahtjevima kupaca i tržišta. Vrijednost postojanja različitih koncepcijskih rješenja proizvoda upravo je u mogućnosti da se izabere između različitih konstrukcijskih ili koncepcijskih rješenja, te oblikuje proizvod koji će najbolje odgovarati zahtjevima. Sa konstrukcijskog stajališta, prednost generiranja mnogobrojnih koncepcijskih rješenja je omogućiti inovativna i neočekivana rješenja proizvoda. U radu je prikazan način prikazivanja i opisivanja strukture

proizvoda, a za potrebe generiranja novih konceptijskih ili varijantnih rješenja proizvoda.

## 1.1. Struktura diplomskog rada

Opširnost zadatka diplomskog rada nalaže da se strogo definira područje razvoja proizvoda kojim se bavi ovaj rad. Može se reći da uključivanje primjene metode gramatike proizvoda nalaže interdisciplinarni pristup. Ona uključuje matematičku logiku, teoriju skupova, lingvistiku i slično na području govornih i pisanih jezika što vodi do programskih jezika, programiranja automata itd.

Diplomski rad na temu razvoja sustava za sintezu konceptijskih rješenja pomoću gramatike proizvoda na razini komponenata započinje definiranjem područja unutar strojarstva i strojarske struke kao i dijela proizvodnih industrijskih sustava. Zbog specifičnosti zadatka, u četvrtom poglavlju je dano objašnjenje povezanosti jezika sa lingvističkog stajališta i jezika koji je usko povezan sa gramatikom proizvoda na razini proizvoda. U tom poglavlju nastoji se definirati i odrediti kontekst u kojem egzistira gramatika proizvoda. Naglasak je na odnosu jezik – gramatika, a zbog daljnjeg razumijevanja važnosti metode za generiranje koncepata i to za zadani proizvod, tj. bicikl.

Dio rada posvećen je dosezima lingvista i ostalih stručnjaka koji su radili direktno na gramatici oblika koja je prednjačila konceptu gramatike proizvoda, tj. kako će u radu biti prikazana gramatika proizvoda. Značajke gramatike proizvoda kao metode za generiranje koncepata nastoje se objasniti na primjeru bicikla.

U nastavku je opisan rad u Microsoft Visual Studiu 2008 i razvoj programske aplikacije za generiranje koncepata koristeći se metodom gramatike proizvoda, a na nivou komponenti proizvoda. U zaključku su još jednom predstavljene glavne teze diplomskog rada i dan je kritički osvrt na mogućnosti i

potencijale metode gramatike proizvoda, te pregled eventualnih poboljšanja na tom području u bližoj i daljoj budućnosti.

Slijedi popis literature, opreme i programskih paketa koji su korišteni za izradu rada. U prilogu se nalazi CD na kojemu se nalaze svi programi, slike i materijali i koji se imaju smatrati regularnim dijelom diplomskog rada.

## 1.2. Motivacija za rad

Zadatak je oblikovati sustav za sintezu koncepcijskih rješenja pomoću gramatike proizvoda na nivou komponenti ili dijelova proizvoda. Područje primjene aplikacije su sustavi razvoja proizvoda, tj. radi se o specifičnom području razvoja proizvoda, dakle fazi konstruiranja.

Takav sustav uključuje i zabilješku odabranih koncepata, kao i način na koji su oni generirani. O pravilima koja je moguće generirati govori se nešto kasnije u radu, te će se pokazati da su ona najvažniji element gramatike proizvoda, odnosno te metode. Potpunim definiranjem programske aplikacije otvaraju se mogućnosti za učenje i prijenos informacija o proizvodu na lak, siguran i brz način uz razumijevanje svih uključenih interesnih skupina.

Kada govorimo o metodama gramatike oblika i proizvoda još uvijek je mali broj primjena ili su one tek eksperimentalne prirode. Razlog tomu su dug i naporan rad koji je nužan za okupljanje informacija o određenom proizvodu.

Zanimanje za primjenu formalnih gramatika prvotno se pojavilo prilikom istraživanja i proučavanja gramatike oblika. Iako teoretske osnove kojima se definira gramatika oblika i gramatika proizvoda proizlaze iz definicije formalne gramatike, ipak se te dvije metode razlikuju kada se govori o njihovoj primjeni. Gramatika oblika više se koristila u arhitekturi i građevini, dok se gramatika proizvoda koristi za neke primjene u automobilske industriji i može se koristiti u procesima razvoja proizvoda. U radu je naglasak na primjeni gramatike proizvoda u procesu razvoja proizvoda za potrebe generiranja koncepata ili varijantnih



rješenja proizvoda. Ovdje uvelike pogoduje činjenica da su unutar definicije gramatike sadržana pravila. Pravila se koriste kao način prikazivanja i opisivanja gramatike i nastoje se istražiti pogodnosti takvog pristupa za generiranje varijantnih rješenja proizvoda. Pretpostavka je da će pravila omogućiti konstruktoru bolji uvid u konfiguraciju proizvoda, te pomoći strukturiranju proizvoda na nivou komponenata proizvoda.

Pomoću gramatike proizvoda osim što se nastoji pronaći odgovarajući način prikazivanju informacija o proizvodu, nastoji se približiti ideji o oblikovanju sintakse proizvoda ili barem približavanju ideji o tome što bi sintaksa proizvoda predstavljala u procesu razvoja proizvoda. Oblikovanje sintaktičkog modela proizvoda prema pretpostavkama koje su predstavljene u radu moralo bi uključivati gramatiku proizvoda.

## 2. Uvod u područje razvoja proizvoda

„Glavni zadatak inženjera je primijeniti inženjersko znanje za rješenje tehničkih problema i zatim za optimiziranje tih rješenja unutar zahtjeva i ograničenja koji su zadani materijalom, tehnološki, ekonomski, pravno, okolinom i ljudskim faktorima. Problemi postaju konkretni zadaci nakon što inženjeri klasificiraju i definiraju probleme koji moraju biti riješeni da bi oblikovali nove tehničke proizvode (artefakte). To se događa tijekom individualnog rada inženjera, kao i timskim radom kako bi se ostvario razvoj proizvoda na interdisciplinarnoj razini. Virtualno oblikovanje novog proizvoda zadatak je konstruktora i inženjera koji rade na razvoju proizvoda, dok je fizička realizacija proizvoda zadatak inženjera u proizvodnji.”<sup>1</sup>

Citatom koji prethodi naglašene su osnovne smjernice kojima se utvrđuje odgovornost inženjera kao glavnog nositelja procesa razvoja proizvoda. Ujedno naglašen je odnos proizvod – artefakt koji se proizvodi jer se često u literaturi proizvod opisuje kao tehnički artefakt. Dalje je također naglasak na interdisciplinarnosti inženjerskog posla.

### 2.1. Razvoj proizvoda – ograničenja i primjena

Kao uvod u područje razvoja proizvoda bitno je razvrstati osnovne nositelje procesa razvoja proizvoda, te najvažnije elemente koji ga čine.

„Što se tiče osnovnih odgovornosti inženjera koji je zadužen za tehničke i vrijednosne ili ekonomske značajke proizvoda, kao i komercijalne značajke vremenski iskoristivog procesa razvoja proizvoda, važno je definirati procedure koje su oblikovne i kojima se nalaze dobra rješenja. Ove procedure moraju biti fleksibilne i u isto vrijeme pogodne da budu unaprijed planirane, optimizirane i odobrene. Takve procedure, doduše ne mogu biti realizirane ako inženjeri nemaju potrebno znanje u domeni koje se tiče tog proizvoda i ako nemaju sposobnost rada na sistematičan način. Dalje, upotreba takvih procedura trebala bi biti

---

<sup>1</sup> Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.-H.; **Engineering design – A Systematic Approach**, Third edition; London: Springer-Verlag; 2007., str. 1

potaknuta i podržana preko poduzeća ili organizacijskog tijela koje naručuje proizvod ili proces razvoja proizvoda.”<sup>2</sup>

Važnost organizacije poduzeća je u načinu na koji ono djeluje i resursima koji su pretpostavljeni na pojedinim aktivnostima ili zadacima projektnog tima ili inženjera. Stoga je indirektno preko organizacije poduzeća definiran način na koji će djelovati inženjeri, tj. konstruktorski projektni tim ili timovi.

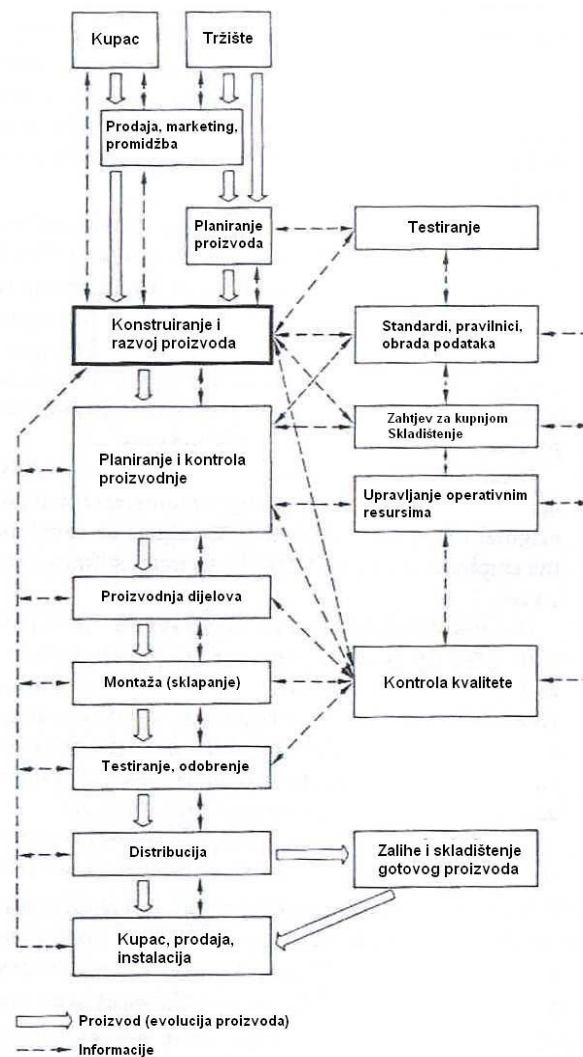
„Organizacija konstrukcijskog i razvojnog procesa ovisi na prvom mjestu o ukupnoj organizaciji poduzeća. U poduzećima sa organizacijskom strukturom koja je orijentirana na proizvod, odgovornost za razvoj proizvoda i proizvodnju koja slijedi je podijeljena između odvojenih odjela u poduzeću ovisno o tipu proizvoda...”<sup>3</sup>

Dakle, kada se spominje organizacija procesa razvoja proizvoda u poduzećima koja su orijentirana na proizvod, najčešće se govori o proizvodnim poduzećima. Uloga timova i strukture poduzeća je da prema strukturi razvoja proizvoda i organizaciji istog procesa razvijaju proizvod. Osim orijentiranosti na proizvod postoje i druge strukture poduzeća koje su *problem-oriented* ili orijentirane na rješavanje konkretnog problema ili pak na oblikovanje samo modula i sklopova ili drugo. Bitno je zaključiti da organizacija poduzeća u tom smislu izravno utječe na strukturu, odnose i organizaciju procesa razvoja proizvoda.

---

<sup>2</sup> Ibid., str. 9

<sup>3</sup> Ibid., str. 3



Slika 01. Tok podataka među odjelima u poduzeću<sup>4</sup>

Kada se govori o inženjerima direktno možemo govoriti o podjeli njihovog rada na rješavanje specifičnih zadataka ili aktivnosti. Pritom se izuzima faza planiranja koja prethodi sljedećim aktivnostima i fazama konstruiranja. Prema Pahl et al. (2007) aktivnosti inženjera mogu se ugrubo podijeliti na:

- Stvaranje koncepata, tj. traženje principijelnih rješenja... Metode koje se generalno koriste mogu se koristiti u kombinaciji sa nekim specijalističkim.
- Oblikovanje, tj. oblikovanje rješenja kroz definiranje preliminarnog oblika i materijala za sve dijelove.
- Detaljiranje, tj. finaliziranje rješenja.

<sup>4</sup> Ibid., str. 7

Tijekom svih faza razvojnog procesa prisutan je rad sa računalima, izračunavanje, prezentiranje i sakupljanje podataka i informacija o proizvodu.

„Najvažnije što se događa na području razvoja proizvoda i kod aktivnosti inženjera dolazi u obliku obrade podataka pomoću računala. Računalom podržani razvoj proizvoda (CAD)<sup>5</sup> utječe na metode oblikovanja, organizacijske strukture, podjelu rada, dakle aktivnostima inženjera koji rade na konceptualizaciji i detaljiranju, kao i kreativnim i mentalnim procesima koji se događaju na individualnoj razini.”<sup>6</sup>

Ovakav sistematičan pristup konstruiranju i čitavom procesu razvoja proizvoda ne znači izostanak kreativnosti na individualnoj razini (Hubka et al., 1988.). Pogotovo je to vidljivo i kod razvoja varijantnih rješenja proizvoda za koje predviđaju autori da će računala potpuno preuzeti taj dio inženjerskih aktivnosti, obveza i djelatnosti. To ostavlja više vremena i ostalih resursa inženjerima da se bave razvojem proizvoda koji su orijentirani k potrebama kupaca. Apsolutno sve zadaće na području razvoja proizvoda, tj. sve aktivnosti tog procesa nastoje se ostvariti putem računala i računalnih/informatičkih alata. Pojava informatizacije kao i trendovi uvođenja ekspertnih sustava (eng. *expert systems*) koji su složeni računalni sustavi odlučivanja, procesiranja informacija i podataka upravljani tzv. super računalima i uz pomoć umjetne inteligencije, može se očekivati i već je prisutna i na ovom području.

---

<sup>5</sup> CAD (eng. *Computer Aided Design*) – Računalom podržano konstruiranje

<sup>6</sup> Ibid., str. 6

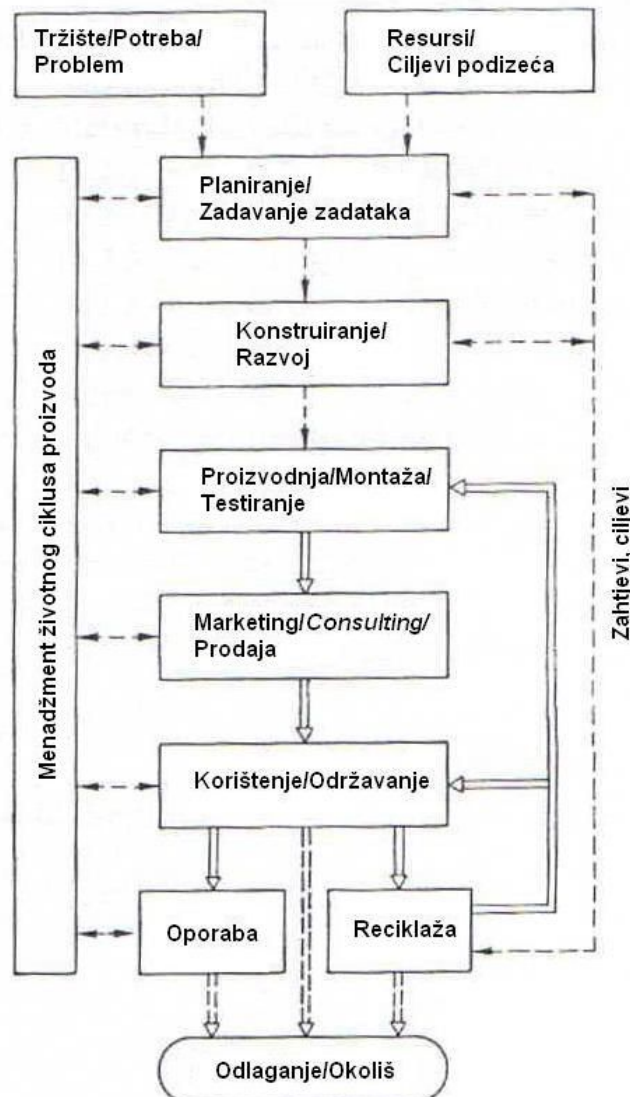


Slika 02. Poredak faza u konstruiranju i područja razvoja proizvoda sa kolegija Informacijski modeli proizvoda (Marjanović; Štorga, 2006/07.), FSB

„U organizacijskom smislu, konstruiranje je esencijalni dio životnog ciklusa proizvoda. On započinje zbog potreba tržišta ili nove ideje o proizvodu. Životni ciklus proizvoda počinje planiranjem proizvoda i završava kada je završena uporaba tog proizvoda od strane korisnika, odnosno završava recikliranjem ili za okoliš sigurnim odlaganjem...”<sup>7</sup>

Ovaj ciklus predstavlja proces pretvaranja sirovog materijala u ekonomski iskoristive proizvode više dodane vrijednosti. Inženjeri moraju obaviti vlastite zadatke u uskoj suradnji sa specijalistima sa mnogih područja ili disciplina i različitih vještina. Prema zadnjim trendovima u teoriji se proces razvoja proizvoda u organizacijskom smislu opisuje kao životni vijek proizvoda.

<sup>7</sup> Ibid., str. 2



Slika 03. Životni ciklus proizvoda prema Pahlu et al., (2007.)

## 2.2. Metodologija konstruiranja i pravila

„Metodologija konstruiranja za ulogu ima ponuditi inženjeru model, procedure i strategiju za rješavanje vlastitih zadataka kako bi se povećala vjerojatnost nalaženja pravog rješenja. Model procesa razvoja treba biti što je moguće razumljiv i uopćenog tipa kako bi udovoljavao rješavanju različitih problema.”<sup>8</sup> „Metodologija konstruiranja, doduše, je konkretna aktivnost inženjera

<sup>8</sup> Hubka, V., Andreasen, M. M., Eder, W. E.; **Practical Studies in Systematic Design**; Butterworths & Co. (Publishers) Ltd.; 1988., str. ix

koji se bavi oblikovanjem tehničkih sustava gdje se znanje derivira ili proizlazi iz znanosti o oblikovanju i kognitivne psihologije, te praktičnog iskustva u različitim domenama ili disciplinama. Ona uključuje planiranje aktivnosti koje su podijeljene u korake ili faze već prema sadržaju i načinu organizacije aktivnosti... Također, uključuje strategije, pravila i principe kako bi se ostvarili neki opći i specifični ciljevi... kao i metode za rješavanje individualnih problema koji se tiču konstrukcije ili pojedinog zadatka...<sup>9</sup>

Eng. *design methodology* ili metoda konstruiranja važna je upravo u tome što i izvan ovog konteksta egzistira opća ideja koja se citatom provlači i podupire razvoj metode gramatike proizvoda koja je predmet razmatranja ovog rada. Posebno je značajna ako se riječ pravilo (eng. *rule*) izvuče iz ovog konteksta i razmotri na način kako je to učinjeno u poglavljima koja slijede. Pokazalo se da je u metodologiji konstruiranja kao vrlo inženjerskog posla i aktivnosti, moguće definirati pravila kao način formaliziranja znanja o proizvodu. Upravo je u definiciji gramatike proizvoda i glavna prednost te metode što je moguće oblikovati pravila. Metoda potpuno podržava takav pravilima orijentirani pristup, iako u inženjerskoj praksi i teoriji nije uobičajeno opisivanje procesa konstruiranja sekvencijalnim (slijednim) i točno definiranim naredbama, uputama i pravilima.

### 2.3. Uvod u teoriju tehničkih sustava

„Od ideje da se tehnički artefakti mogu opisati kao sustavi, mali je korak do njene primjene na procese oblikovanja u obliku teorije tehničkih sustava i to pogotovo zbog toga što objektivni ciljevi teorije tehničkih sustava vrlo lako korespondiraju sa očekivanjima koje imamo o dobroj metodi oblikovanja...<sup>10</sup> „Mnogo se može zaključiti iz Hubkinog prijedloga... da se tehnički artefakti trebaju tretirati kao *sustavi* povezani s okolinom preko tokova, tj. *ulaza* i *izlaza*. Sustav se može podijeliti na podsustave. Ono što spada pod određeni sustav odijeljeno je *granicom sustava*. Ulazi i izlazi prelaze granicu sustava... Ovakvim pristupom

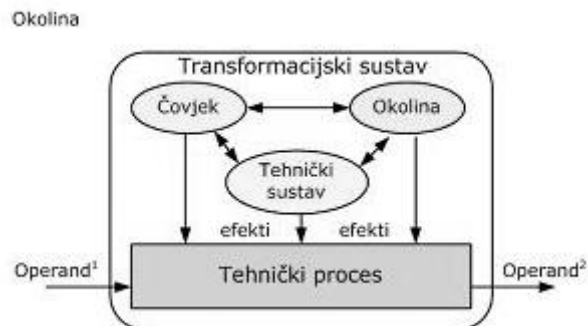
---

<sup>9</sup> Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.-H.; **Engineering design – A Systematic Approach**, Third edition; London: Springer-Verlag; 2007., str. 9

<sup>10</sup> Ibid., str. 15

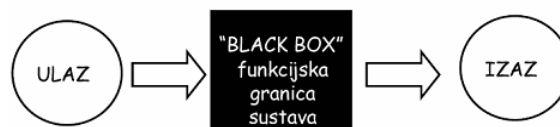


moгуće je definirati sustave na različitim nivoima apstrakcije, analize i klasifikacije. Prema pravilu, takvi su sustavi dio većih, superiornih sustava.”<sup>11</sup>

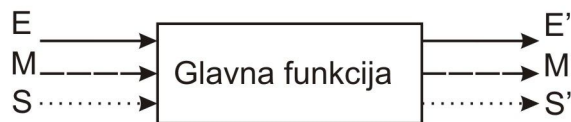


Slika 04. Opći model transformacijskog procesa

Nešto jednostavniji model koji se uvelike upotrebljava je *blackbox* pristup, tj. model „crne kutije.”



Slika 05. Blackbox pristup varijanta 1



Slika 06. Blackbox pristup varijanta 2

<sup>11</sup> Ibid., str. 27



*Slika 07. Način označavanja tokova energije, materijala i signala, te funkcija*

Dva oprečna pristupa temelje se na transformaciji u tehničkom procesu i transformaciji u tehničkom sustavu. Prema Hubka et. al., (1988.), tehnički sustav sastoji se od fizičkih elemenata ili dijelova i njihovih interakcija. Tehnički proces transformira operande ulaza iz jednog stanja u drugo konačno stanje, koje je potrebno dobiti. Transformacija je dakle, promjena stanja materije, energije i signala.

Transformacijom se operandima dodaju i nova svojstva ili kvalitete koje se nazivaju atributima tako da po završetku tehničkog procesa zadovoljavaju neke potrebe ili funkcionalne zahtjeve. Funkcija je svojstvo tehničkog sustava koja opisuje sposobnost tehničkog sustava da ispuni vlastitu svrhu ili zahtjeve zbog kojeg je načinjen. Razlikujemo radnu funkciju (eng. *overall function*) i pomoćne funkcije (eng. *subfunction*). Pomoćne funkcije imaju za ulogu da održavaju glavnu ili radnu funkciju.

## 2.4. Zahtjevi za proizvod

„Jednom kad smo razvili sliku o tome što kupac očekuje od proizvoda stvaramo model toga što je glavna funkcija proizvoda kako bi objasnili i započeli konstrukciju proizvodne arhitekture.“<sup>12</sup>

Iako unutar zadatka ovog rada nisu definirani zahtjevi za proizvod, oni proizlaze iz potražnje tržišta, zahtjeva kupaca i ostalog. Za početak razvoja bilo kojeg proizvoda mora postojati jasna i smisljena motivacija u vidu isplativosti, mogućnosti proizvođača i poduzeća itd.



*Slika 08. Rezultat procesa razvoja proizvoda trebao bi biti uspješan  
posao<sup>13</sup>*

Pretpostavimo da postoji očito zanimanje, interes i ekonomska podloga i odobravanje za razvoj bicikla. U vidu kuda će se razvoj kretati u smislu varijanti kasnije i do toga da se specijalizira proizvod u smislu zahtjeva određenih skupina tržišta bicikla i zanimanja kupaca. Treba predvidjeti trendove koji usmjeravaju razvoj bicikla... Uglavnom, u fazi konstruiranja treba pretpostaviti da je faza planiranja gotova, istraživanje tržišta obavljena, analiza potreba kupaca završena i ciljevi, te misija poduzeća definirana. Dva su glavna faktora: zahtjevi tržišta (definirana ciljana skupina korisnika, procijenjena ekonomska dobit...), te mogućnosti poduzeća (ekonomska, proizvoda, resursi poduzeća, strojevi, alati...) kao i u pogledu samog poduzeća (način rada, ljudski resursi, orijentiranost poduzeća...). Kao što je slučaj za bilo koji proizvod, na samom početku treba

<sup>12</sup> Otto, K. N., Wood, K. L.; Product Design – Techniques in Reverse Engineering and New Product Development; New Jersey: Prentice Hall; 2001., str. 148

<sup>13</sup> Andreasen, M.M., Hein, L.; **Integrated Product Development**; IFS Publications Ltd.; London: Springer-Verlag; 1987., str. 22

definirati ciljanu skupinu kupaca i procijeniti tržište u vidu kvantitativnog broja što je posao marketinga i ekonomista koji procjenjuju isplativost projekta.

Kada je ta faza planiranja gotova kreće se u fazu koncipiranja, te je ovaj rad orijentiran k razvoju i definiranju specifične metode koja generira koncepte na nivou komponenti temeljem postojeće strukture proizvoda i može poslužiti za njihov razvoj koji se kasnije optimira i usmjerava drugim metodama ka izboru boljeg rješenja (konstrukcijskog). No, kao što stoji u drugom dijelu citata prvo mora uslijediti funkcijska analiza proizvoda, u ovom slučaju bicikla.

Metode generiranja koncepata specifično se odobravaju unutar tima konstruktora. Proces od zahtjeva kupaca do oblikovanja konkretnih konstrukcijskih rješenja više se može smatrati umjetnošću nego znanstvenom metodom. Rješenja proizlaze iz smislenog, inženjerskog i praktičnog iskustva jer je to u duhu inženjerske struke i u suprotnom može rezultirati neostvarivim, neisplativim ili nerealnim proizvodom. Svaka odluka donesena u procesu konstruiranja mora biti argumentirana i odobrena.

Prema Ottu i Woodu (2001.) zahtjevi kupaca se smatraju kriterijima za evaluirane koncepata, a ne direktno za evaluiranje metode generiranja koncepata. Zahtjevi kupaca ne mogu se objasniti ili definirati nikako drukčije nego kao vlastite preferencije kupaca i na kraju krajeva radi se o statistički uređenim podacima. Primjerice, pri anketiranju kupaca mnogi faktori odlučuju o rezultatima, tj. zahtjevi ne moraju biti izričito ono što je u interesu kupaca ili optimalnog potencijala proizvoda u smislu odnosa kvaliteta – cijena – karakteristike proizvoda. Pomirenje tih odnosa također može biti u opisu posla konstruktora, tj. projektantskog tima.

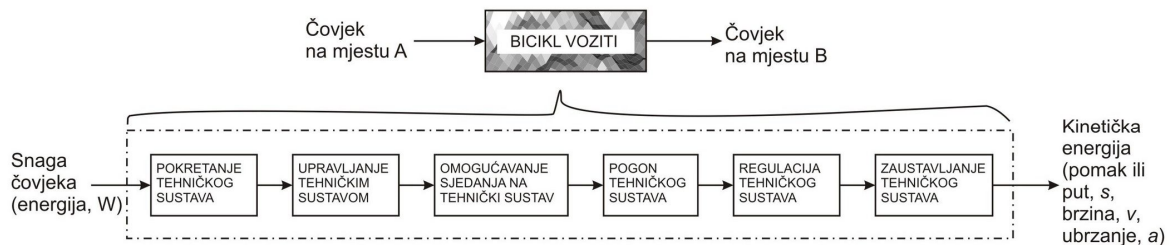
## **2.5. Funkcijsko modeliranje proizvoda**

„Kako bi se riješio tehnički problem, potreban je sustav sa jasno i lako definiranim odnosom između ulaza i izlaza... Takav odnos uvijek mora biti planiran, tj. takav da zadovoljava specifikacije proizvoda. Kako bi se opisao i riješio takav konstrukcijski problem, korisno je primijeniti termin funkcija na zadani odnos ulaza i izlaza sustava čija je svrha obavljanje određenog zadatka... Ako je

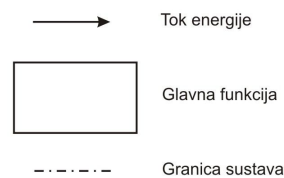
glavni zadatak definiran, tj. ako su ulazi i izlazi kvantitativno uključeni i njihove značajke poznate, tada je moguće specificirati *glavnu funkciju*.<sup>14</sup>

Eng. *overall function* je glavna funkcija i za bicikl ona glasi - bicikl voziti. Funkcija prema definiciji zadovoljava formu „imenica + glagol.”

Kombinacija smislene i odgovarajuće kombinacije pomoćnih ili podfunkcija u jedinstvenu funkciju rezultira tzv. *funkcijskom strukturom*. Zatim se pristupa stvaranju blok dijagrama u kojima se procesi i podsustavi smještaju unutar zadanog bloka (eng. *blackbox*) i inicijalno zanemaruju. Slikom 10. objašnjene su oznake i simboli koji su korišteni za definiranje glavnih funkcija i *blackboxa* sa Slike 09.



Slika 09. Tehnički proces i glavne funkcije bicikla



Slika 10. Legenda sa Slike 09.

Sljedeće glavne ili osnovne funkcije proizlaze iz modeliranja procesa:

- Pokretanje teh. sustava
- Upravljanje teh. sustavom
- Omogućavanje sjedanja na teh. sustav
- Pogon teh. sustava
- Regulacija teh. sustava
- Zaustavljanje teh. sustava.

<sup>14</sup> Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.-H.; **Engineering design – A Systematic Approach**, Third edition; London: Springer-Verlag; 2007., str. 31

Svaka funkcija može biti ostvarena kroz spektar različitih rješenja, te se odabire određeno rješenje za svaku funkciju. Rješenje funkcije može biti podsustav koji se sastoji od više komponentata ili dijelova. Takve komponente ili dijelovi najčešće se slažu u sklopove, te se može raditi o jednom ili više sklopova koji čine rješenje funkcije. Također, rješenje funkcije može biti i u obliku jedne jedine komponente proizvoda ili dijela. Skup svih rješenja glavnih funkcija čini strukturu proizvoda. Više o prikazivanju strukture proizvoda u obliku stabla (eng. *tree structure*) u sljedećem poglavlju.

### 3. O biciklu

U ovom poglavlju dolazimo do općenite slike bicikla. Ta slika proistječe iz povijesti razvoja bicikla, općenitog pogleda na bicikl kao vozilo u današnjem vremenu, kao i očekivanjima koje današnji kupac ima od bicikla. Istraživanje je provedeno na internetu kao i ostalim dostupnim informacijama o biciklu.

#### 3.1. Povijest bicikla

Biciklom se danas smatra vozilo koje je pogonjeno snagom čovjeka, na pedalni pogon, sa dva kotača koja su pričvršćena na okvir. Bicikl je predstavljen u 19. stoljeću, a danas se broji oko  $10^9$  primjeraka diljem svijeta. Vrlo često se koriste kao transportno sredstvo. Također se vožnja bicikla smatra popularnim oblikom rekreacije, a mnoge varijante su u obliku dječjih igraćaka, sportske namjene ili služe u javnim službama.

Osnovni oblik i konfiguracija tipične konstrukcije bicikla malo se mijenjala od 1885. kada je primijenjen prvi lančani pogon na bicikl. Mnogi detalji od tada su unaprijeđeni, pogotovo pojavom novih materijala i sofisticiranih načina izrade. Varijantnost proizvoda kao što je bicikl razmjerno je rasla pojavom različitih sportskih vještina.

Mnogobrojni inovatori i izumitelji pogodovali su razvoju bicikla u obliku kojeg danas poznajemo. Prethodnici bicikla bila su razni oblici vozila koji je pogonjen isključivo ljudskom snagom. Oni primjerci koji postoje u dokumentiranom obliku putem fotografija ili slika poznati su primjerice kao bicikli na guranje, odnosno tip bicikla koji je bio prisutan u Sjevernoj Americi i pogon se ostvarivao guranjem bicikla. Nakon Nijemca baruna Karla von Drais-a koji je u Mannheimu 1817. i Parizu godinu kasnije predstavio vlastitu verziju bicikla čiji je vozač sjedio na drvenom okviru i gurao bicikl snagom vlastitih nogu dok je upravljao prednjim kotačem, zanimljivo viđenje bicikla dogodilo se tek 1860-tih godina.

Francuzi Pierre Michaux i Pierre Lallement pokrenuli su sasvim novi trend u dizajnu bicikla dodavši mehaničku osovinu, tj. pogon na pedale. Taj bicikl imao je znatno veći prednji kotač od stražnjeg.



*Slika 11. Fotografija bicikla s kraja 19. stoljeća iz Škodinog muzeja u Češkoj*

1869. bicikl je dobio čelični okvir, te kotače sa žbicama i vanjskim obručem od prave gume.



*Slika 12. Velika Britanija, bicikl s početka 20. stoljeća*

Uskoro se pokazala tendencija da se smanji promjer prednjeg kotača, te je to postignuto tek primjenom lančanog prijenosa od strane J. K. Starleya i J. H. Lawsona. Ovi su bicikli bili poznati kao patuljasti ili sigurnosni bicikli zbog nižeg položaja sjedala i bolje distribucije težine. Starleyev Rover iz 1885. smatra se prvim prepoznatljivim modernim biciklom. Uskoro je dodana cijev sjedala što je rezultiralo i dan danas poznatim modelom duplih trokuta modernog bicikla.

Inovacije su bile usmjerene k povećanju udobnosti što je rezultiralo tome da su 1890-te bile poznate kao zlatno doba bicikla. Škot John Boyd Dunlop



uveo je pneumatske gume koje su uskoro postale univerzalni model za sve kotače.

Bicikle možemo kategorizirati na nekoliko načina: prema funkciji, broju vozača, prema općoj konstrukciji, prema dodatnoj opremi ili načinima pokretanja ili pogona.

### 3.2. Konstruiranje stabla i dijelovi bicikla

Prosječan kupac okarakterizirati će bicikl kao vozilo, uz pogon na pedaliranje snagom čovjeka kojim se prelazi neki put, te uz prijenos snage čovjeka preko specifičnog lančanog prijenosa na dva kotača. Većina današnjih bicikla ima okvir specifičnog oblika koji se sastoji od dva trokuta zavarenih zajedno sa sjedalom do kojeg vodi cijev sjedala. Razlikujemo glavni i pomoćni trokut kojemu je zajednička cijev sjedala.

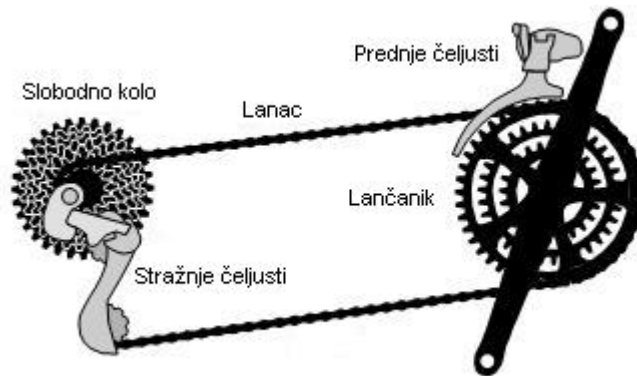


Slika 13. Dijelovi okvira

Prema Slici 14. nazvane su određene cijevi, rame ili tube šupljeg ili punog poprečnog presjeka. Lančana cijev paralelna je sa lancem već prema Slikama 14. i 16. Na Slici 15. prikazan je model bicikla bez lančanog prijenosa, a sa vratilom umjesto njega.



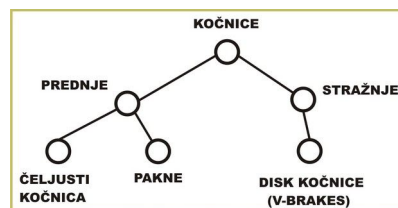
Slika 14. Bicikl sa vratilom umjesto lančanika



Slika 15. Dijelovi pogona



Slika 16. Kaset (set lančanika) na stražnjem kotaču



Slika 17. Kočnice, varijante kočnica



*Slika 18. Prednja disketna kočnica montirana na prednju vilicu*



*Slika 19. Čeljusti kočnica*

Kao što je rečeno, većina bicikla ima tzv. dijamantni oblik okvira, tj. sastoji se od dva trokuta, prednjeg ili glavnog i stražnjeg ili pomoćnog trokuta. Glavni trokut sastoji se od prednje cijevi, gornje cijevi, donje cijevi i cijevi sjedala. Cijevi su tube ili nekad se nazivaju rame. Glavnu podjelu koja je općenita i u obliku stabla moguće je promotriti na Slici 24.



*Slika 20. Dijelovi bicikla*

Pogon i prijenos ljudske snage pedaliranja na kotače započinje papučicama pedala prikazanima na Slici 22.



*Slika 21. Papučice pedala*

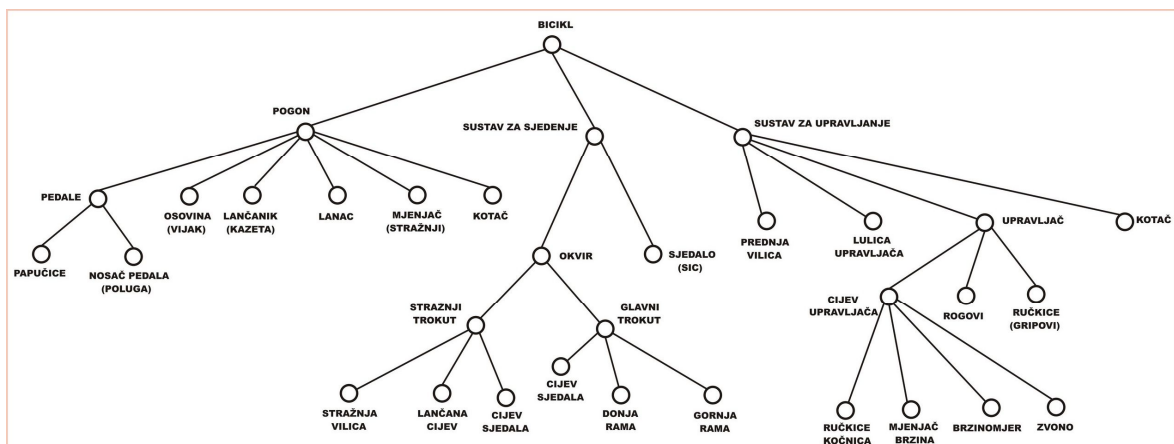
Nosač pedala priključen je na lančanik na način kako je to prikazano na Slici 15. Kod većine bicikla prijenos snage obavlja se na stražnji kotač i to preko lanca. Uz mjenjač koji može biti stražnji ako se radi o kaseti ili skupu lančanika ili prednji, a najčešće je oboje, imamo i ručkice kočnica koje su smještene na upravljaču. Podjela kočnica prikazana je na Slici 18.



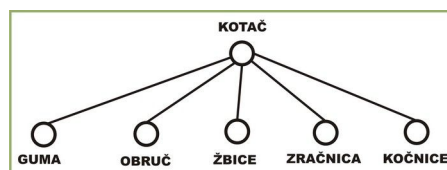
Slika 22. Upravljač sa I-podom montiranim na gornju ramu

Osnovni koncept bicikla do današnjih dana nije se bitno mijenjao, osim što je tehnološki napredak donio primjenu kvalitetnijih materijala u izradi, te su današnji bicikli daleko upravljiviji i sigurniji.

Stablo bicikla konstruirano je analizom bicikla koji kao proizvod već dugo postoji na tržištu.

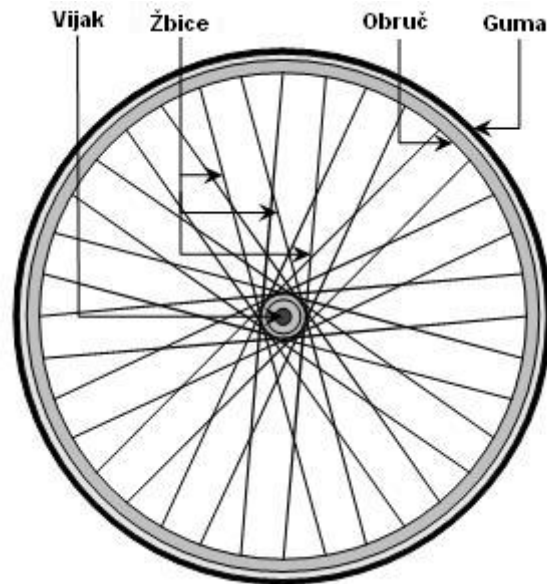


Slika 23. Stablo bicikla



Slika 24. Stablo kotača – dijelovi kotača

Kotač se dalje može podijeliti na još samostalnih dijelova, no zbog smanjenja komponenti ili dijelova bicikla odabran je cijeli kotač kao samostalni modul.



*Slika 25. Dijelovi kotača*

## 4. Gramatika proizvoda

Gramatika proizvoda nova je metodologija proizašla iz gramatike oblika čijem razvoju su uvelike pripomogli profesori s MIT-a<sup>15</sup> George Stiny i James Gips. U ovom poglavlju razmatraju se najvažnije značajke metode i stvara osnova za iduće poglavlje u kojem će metoda gramatike proizvoda biti primijenjena na primjeru bicikla.

### 4.1. Općenito o gramatici

Gramatika je dio lingvistike ili jezikoslovlja, općenite discipline koja proučava jezik. Prema „Velikom rječniku stranih riječi” definirana je kao: „gramatika (grammatikē – azbuka; jezična obrazovanost) 1. nauka o sistemu nekog jezika i njegovim znakovima (može biti *opisna*, *usporedna* i *historijska*); 2. knjiga koja izlaže sistem i zakone nekog jezika; dijeli se na fonetiku, morfologiju, sintaksu, semantiku, stilistiku i dr.” (Klaić, 1974.). Nešto informativnija i opširnija definicija i opis pojma glasi:

„Gramatika (grč. *γραμματική τέχνη*: vještina pisanja). 1. U običnoj upotrebi, skup pravila koja upućuju kako se neki jezik govori i piše. 2. Grana lingvistike koja utvrđuje pravilnosti nekoga jezika (jezične zakone) otkrivajući glasovne osobine, sustav i funkciju raznih jezičnih sredstava, tj. pojedinih riječi, njihovih skupova, veza i rečenica. Dijeli se obično na *fonetiku* (nauku o glasovima), *morfologiju* (nauku o oblicima riječi) i *sintaksu* (nauku o povezivanju riječi i o njihovim odnosima i funkcijama u rečenici).” (Šentija et al., 1977.).

U matematici, logici i računarstvu, pojam gramatike nalazimo u obliku formalne gramatike. Primjerice, u računarstvu je sintaksa svakog programskog jezika definirana formalnom gramatikom. Glavni cilj lingvističke teorije je oblikovati i definirati formalizme kojima se može opisati, kreirati i definirati jezik. U teoretskom računarstvu i sličnim disciplinama razvijen je velik broj takvih formalizama (Gibbon, 1997.), a formalna gramatika jedna je od njih.

---

<sup>15</sup> MIT – Massachusetts Institute of Technology, poznati američki fakultet

## 4.2. Formalna gramatika i jezik

Što je jezik do sredstvo sporazumijevanja u društvu među jedinkama tog društva, tj. način komunikacije, prijenosa znanja informacija i učenja. Logična je stoga primjena u slične svrhe i u strojarstvu. Često je citirana rečenica velikog filozofa Leibnitza da jezik nije ništa drugo do „ogledalo duše.”

Jezik u općenitom smislu smatra se konačnim ili beskonačnim skupom rečenica, od kojih je svaka konačne dužine i svaka je sastavljena od konačnog broja (skupa) elemenata (Chomsky, 2002., str. 13). Dok ovo vrijedi i za prirodne jezike, u radu je naglasak samo na formalnim jezicima. „Svi govorni jezici, bilo u govornom, bilo u pisanom obliku, jezici su u smislu da svaki prirodni jezik ima konačan broj fonema ili slova svoje abecede, a svaka rečenica može se predstaviti kao konačan niz elemenata, iako je broj rečenica beskonačan.”<sup>16</sup> Time se objašnjava odnos jezika, rečenice, riječi i slova. „Na sličan način skup „rečenica” nekog formalnog matematičkog sustava možemo smatrati jezikom.”<sup>17</sup>

Formalni jezik definiran je pomoću formalne gramatike. Formalna gramatika je konačna forma. To je skup pravila po kojima se generiraju riječi formalnog jezika. Formalni jezik, koji se još naziva i umjetni jezik (Kiš, 2000.), najčešće označavan sa  $L$  (eng. *language*) sastoji se od skupa konačnih sljedova elemenata konačnog skupa  $\Sigma$ . Kao i kod prirodnih jezika, formalni jezik  $L$  može se sastojati i od samo jedne rečenice, tj. može biti skup riječi. U tom slučaju skup  $\Sigma$  je rječnik ili abeceda (Chomsky, 2002., str. 109) formalnog jezika  $L$ , tj. skup stringova, znakova ili simbola, a riječi su elementi jezika  $L$ . Skup  $\Sigma$  često se u literaturi označava kao  $\Sigma$ . Ako je najmanja strukturalna jedinica jezika riječ, taj skup se naziva vokabularom ili leksikonom, a elementi jezika  $L$  su rečenice.

Gramatika jezika  $L$  stoga je mehanizam za generiranje svih gramatičkih nizova iz  $L$  i negiranje negramatičnih nizova. Osnovne teze generativne gramatike čijim se tvorcem smatra Noam Chomsky i njegovo djelo „Sintaksičke strukture” iz 1957. godine i one o gramatici sa lingvističkog stajališta

---

<sup>16</sup> Ibid, str. 1

<sup>17</sup> Ibid., str. 1



nalazimo u brojnim priručnicima i knjigama o generativnoj gramatici, kao i sljedeća stajališta:

„Zadatak je lingvističke teorije eksplicitno prikazivanje znanja koje posjeduju govornici nekoga jezika koji taj jezik stvaralački upotrebljavaju, tj. izrada preciznoga modela sposobnosti koju je stekao izvorni govornik. Takav model govornikove sposobnosti zovemo gramatikom. Gramatika je ujedno i teorija jezika koji opisuje... Gramatika mora biti jasno i precizno formulirana. Samo precizna formulacija omogućuje temeljit uvid u činjenice kao i usporedbu teorije s drugim teorijama i otkrivanje njezine neprikladnosti. Drugim riječima, gramatika mora biti formalan uređaj... Takva gramatika ujedno je i idealizacija. Da bi se formulirala gramatika načela i pojave, moraju se zanemariti mnoge „nevažne” pojave u jezičnoj uporabi...”<sup>18</sup>

### 4.3. Osnove teorije formalnih jezika i gramatike

Teorija formalnih jezika kao disciplina se razvija tek od pedesetih godina prošlog stoljeća i započinje radom Noama Chomskyja iz 1956. kada je američki lingvist i pisac pokušao opisati strukturu prirodnih jezika koristeći se jednostavnim i preciznim matematičkim pravilima. Kasnije su se ustanovile pogodnosti koje takav pristup može pridonijeti u područjima programiranja, pogotovo za definiranje sintakse programskih jezika preko Chomskyjevog gramatičkog modela koji se naziva *context-free grammar* ili kontekstno nezavisna gramatika. Mnogo ranije matematičari poput Axela Thuea proučavali su svojstva nizova binarnih brojeva, te je njegov rad nadahnuo i ostale kao što su Emil Post i Stephen Kleene da se nastave baviti matematičkim svojstvima skupova, između ostaloga i stringova i simbola (Jiang et al., n.d., str. 1, 9).

#### 4.3.1. Definicija 1

Abeceda je konačan puni skup simbola ili znakova. Simboli se smatraju nedjeljivima. Oznaka za abecedu je  $\Sigma$ .

---

<sup>18</sup> Mihaljević, M.; **Generativna sintaksa i semantika**; Zagreb: Hrvatsko filološko društvo; 1998., str. 9

#### 4.3.2. Definicija 2

Skupina znakova ili riječ (eng. *string*) sastavljena iz abecede  $\Sigma$  je konačan niz simbola  $\Sigma$ . Konačan broj simbola u stringu  $x$  je duljina (eng. *length*), a oznaka za duljinu stringa je  $|x|$ . Prazan string je string duljine 0 i ne sadrži simbole. Često se označava kao  $e$ ,  $\varepsilon$  ili  $\Lambda$ , a u nastavku teksta će se koristiti oznaka  $\varepsilon$ .

#### 4.3.3. Definicija 3

Operacija ulančavanja (eng. *concatenation*) dva stringa izvodi se na sljedeći način. Ako su  $x = a_1a_2\dots a_n$  i  $y = b_1b_2\dots b_m$ , onda je oznaka za operaciju ulančavanja  $xy$ , a novi string nastao ulančavanjem je  $xy = a_1a_2\dots a_nb_1b_2\dots b_m$ .

Za bilo koji string  $x$  vrijedi  $\varepsilon x = x\varepsilon = x$ . Za bilo koji string  $x$  i cijeli broj  $n \geq 0$  koristi se oznaka  $x^n$  za izraz za sekvencijalno ulančavanje stringa  $x$   $n$  puta.

#### 4.3.4. Definicija 4

Niz svih znakova preko abecede  $\Sigma$  je  $\Sigma^*$ , a niz svih nepraznih znakova iz abecede  $\Sigma$  je  $\Sigma^+$ .

$\Sigma^*$  je skup svih mogućih nizova znakova iz skupa  $\Sigma$  koji mogu biti načinjeni ulančavanjem nijednog i/ili više nizova znakova, uključujući i prazni niz, tj. prazni simbol. Dakle, radi se o svim mogućim kombinacijama slaganja simbola iz abecede kojima nastaje string ili riječ. Operator „ $*$ ” je Kleeneov operator (eng. *Kleene star* ili *Kleene closure*).

$$\Sigma^* = \bigcup_{k \geq 0} \Sigma^k = \{\varepsilon\} \cup \Sigma \cup \Sigma^2 \cup \Sigma^3 \dots \Sigma^n \quad (1)$$

#### 4.3.5. Definicija 5

Za bio koju abecedu  $\Sigma$ , jezik preko abecede  $\Sigma$  je skup ili niz znakova (stringova) građenih od elemenata iz abecede  $\Sigma$ . Iako je abeceda konačan skup i svaka riječ je konačne duljine, jezik može imati beskonačno mnogo rečenica.

Kako su jezici zapravo samo skupovi, standardne operacije nad skupovima kao što su unija (eng. *union*), razdvajanje (eng. *intersection*) i dopuna

skupa (eng. *complementation*) mogu se primjenjivati. Također, ulančavanje i Kleenovo zatvaranje (eng. *Kleen closure*).

#### 4.3.6. Definicija 6

Ako je  $L$  jezik preko  $\Sigma$ , vrijede definicije  $L^0 = \{\varepsilon\}$  i  $L^i = LL^{i-1}$  za  $i \geq 1$ .

Kleenova operacija nad  $L$  (oznaka je  $L^*$ ) je jezik

$$L^* = \bigcup_{i \geq 0} L^i. \quad (2)$$

Operacijom pozitivnog zatvaranja (eng. *positive closure*) nad jezikom  $L$  (označava se sa  $L^+$ ) je jezik

$$L^+ = \bigcup_{i \geq 1} L^i. \quad (3)$$

Općenito govoreći, jezik  $L$  preko abecede  $\Sigma$  je podskup od  $\Sigma^*$ . No, to još nije dovoljno za definiciju nekog jezika  $L$ . Uvode se sistematične metode kojima se definiraju pravila kojima je moguće opisati jezik. Samo je metodom gramatike moguće specificirati jednostavna pravila za opisivanje svih elemenata jezika  $L$  koji bi se teoretski mogao sastojati od beskonačno mnogo elemenata (Jiang et al., n.d., str. 4). Pojam formalnih jezika općenito se odnosi na jezike koje je moguće opisati takvim sustavom pravila.

#### 4.3.7. Definicija 7

Gramatika je četverac (eng. *quadruple*):

$$G = (\Sigma, V, S, P). \quad (4)$$

Oznaka	Objašnjenje
$\Sigma$	Konačni neprazni skup - terminalna abeceda ili ukupni vokabular. Elementi skupa $\Sigma$ nazivaju se terminali.

$V$	Konačni neprazni neterminalni skup. Elementi skupa $V$ nazivaju se neterminali ili varijable.
$S$	Neterminalni element, $S \in V$ . Naziva se startnim simbolom i čini početni (inicijalni) vokabular.
$P$	Konačni skup produkcija ili pravila oblika $\alpha \rightarrow \beta$ .

Tablica 01. Definicija gramatike, objašnjenje oznaka

Skupovi  $\Sigma$  i  $V$  nemaju zajedničkih elemenata, tj. vrijedi  $\Sigma \cap V = \emptyset$ . Svaka gramatika ima specijalni simbol koji se naziva startni simbol, te mora postojati barem jedna produkcija kod koje se lijeva strana pravila sastoji samo od startnog simbola  $S$  ( $S \in V$ ). Radi se o tzv. startnim, početnim ili inicijalnim stringovima ili riječima kojima se započinje stvaranje novih riječi.

Kompleksnost gramatike je definirana preko ograničenja nad tipovima stringova, te ona predstavljaju pravila formalne gramatike. Pravilo gramatike (eng. *rewriting rule*) oblika je  $\alpha \rightarrow \beta$ , naziva se produkcija i može se čitati kao: „ $\alpha$  producira  $\beta$ ” ili „ $\alpha$  zamjenjuje  $\beta$ ”. Produkcija je vrsta preslikavanja ili zamjene stringova.  $\alpha$  i  $\beta$  predstavljaju stringove ili riječi sastavljene od simbola ili terminala iz abecede  $\Sigma$  i neterminala iz skupa  $V$ .  $\alpha$  je string nastao od terminala i neterminala koji sadrži barem jedan neterminal. Ako se uvede nova relacija  $N = \Sigma \cup V$ , može se skraćeno pisati  $\alpha \in N^+$ .  $\beta$  je string sastavljen od terminala i neterminala, te vrijedi  $\beta \in (\Sigma \cup V)^*$ , tj.  $\beta \in N^*$ .

#### 4.3.8. Definicija 8

Ako je gramatika jednaka  $G = (\Sigma, V, S, P)$ , generirani jezik je  $L(G)$ . Dakle,  $L(G)$  je oznaka za jezik koji je definiran gramatikom  $G$ . Gramatika  $G$  tvori određene skupove stringova, tj. jezik.

### 4.4. Klasifikacija gramatika

„Gramatike su jedna od najznačajnijih klasa generatora jezika.”<sup>19</sup> Razmatrane klase gramatika ponekad se nazivaju Chomskyjevim hijerarhijama ili gramatikama fraznih struktura. „Gramatike se mogu klasificirati prema obliku svojih produkcija.”<sup>20</sup> Prema obliku ili formi njezinih produkcija, gramatiku je moguće podijeliti u četiri različite skupine.

Chomskyjeva hijerarhija particionira formalne gramatike u klase ili skupine, sa povećavajuće izražajnim moćima, tj. svaka sukcesivna klasa generira širi skup formalnih jezika od prethodne.

$$\text{Tip } 3 \subset \text{Tip } 2 \subset \text{Tip } 1 \subset \text{Tip } 0 \quad (5)$$

#### 4.4.1. Gramatika tipa 0

Jezik je bez ograničenja (eng. *unrestricted grammar*) ili tipa 0 ako produkcije nisu ograničene dodatnim uvjetima i dozvoljavaju sva moguća pravila. Jezik koji se generira gramatikom tipa 0 prisutan je kod Turingovih mašina, a dozvoljava sve produkcije obika

$$\alpha \rightarrow \beta, \quad (6)$$

gdje su  $\alpha, \beta$  elementi vokabulara  $\Sigma$ .  $\alpha$  ne može biti prazan string, tj. vrijedi da je  $\alpha \neq \varepsilon$ .

#### 4.4.2. Gramatika tipa 1

Gramatika je kontekstno zavisna gramatika (eng. *context-sensitive grammar*) ili tipa 1 ako zadovoljava produkciju oblika

<sup>19</sup> Dovedan, Z.; **Formalni jezici – sintaksna analiza**; Zavod za informacijske studije Odsjeka za informacijske znanosti Filozofskog fakulteta u Zagrebu; Zagreb: Inter; 2003., str. 25

<sup>20</sup> Ibid., str. 28

$$\alpha \rightarrow \beta, \quad (7)$$

uz uvjet da je

$$|\alpha| \leq |\beta|. \quad (8)$$

Ako se uzme za primjer da su  $A$  i  $B$  neterminali vrijedi produkcija

$$A \rightarrow B, \text{ te vrijedi da je} \quad (9)$$

$$A, B \in V. \quad (10)$$

Inače je pravilo da se neterminali označavaju velikim tiskanim, a terminali malim tiskanim slovima. Za ovu gramatiku je dozvoljeno da postoji produkcija  $A \rightarrow \varepsilon$ , s uvjetom da se  $A$  ne pojavljuje na desnoj strani pravila. U tom slučaju  $A$  se uzima da je startni ili inicijalni simbol  $S$ . Pravila se mogu pojaviti u obliku forme

$$\alpha A \beta \rightarrow \alpha y \beta \text{ gdje je} \quad (11)$$

$$A \in V, \quad (12)$$

$$\alpha, \beta \in (\Sigma \cup V)^*, \text{ a} \quad (13)$$

$$y \in (\Sigma \cup V)^+. \quad (14)$$

Jezici definirani gramatikom tipa 1 pojavljuju se kod programiranja linearnih automata (eng. *linear bounded automata*).

#### 4.4.3. Gramatika tipa 2

Kontekstno nezavisna gramatika (eng. *context-free grammar*) ili tipa 2 ako vrijedi da je  $|\alpha|=1$  odnosno ako je  $\alpha$  jednostruki neterminal, te vrijedi produkcija  $P$  oblika

$$A \rightarrow B, \quad (15)$$

te ako je

$$A \in V \text{ i} \quad (16)$$

$$B \in (\Sigma \cup V)^*. \quad (17)$$

Prema ovoj definiciji dopušteno je da  $B$  bude prazan string, tj.  $\varepsilon$ . Tip kontekstno nezavisnih gramatika jednak je tipu jezika koji su kontekstno nezavisni i prepoznaju ih eng. *pushdown* automati koji su nedeterminističke mašine koje

spremaju podatke u stogove neograničene duljine. Produkcije kojima se bavi ovaj rad su kontekstno nezavisne gramatike tj. tipa 2.

#### 4.4.4. Gramatika tipa 3

Regularna gramatika (eng. *regular grammar*) je generirana gramatikom tipa 3 i ona je linearna zdesna.

$$A \rightarrow aB \text{ ili } A \rightarrow a, \text{ te vrijedi} \quad (18)$$

$$A, B \in V \text{ i} \quad (19)$$

$$a \in \Sigma. \quad (20)$$

Također gramatika generirana tipom 3 može biti linearna slijeva.

$$A \rightarrow Ba \quad (21)$$

$$A, B \in V \quad (22)$$

$$a \in \Sigma \quad (23)$$

Dopuštena je produkcija tipa

$$A \rightarrow \varepsilon \quad (24)$$

i to zato jer vrijedi da je kod svih produkcija oblika

$$A \rightarrow a \quad (25)$$

$$a \in (\Sigma \cup \varepsilon). \quad (26)$$

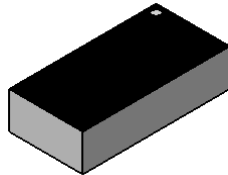
Regularnom gramatikom definiraju se regularni jezici koji se mogu programirati konačnim automatima (eng. *finite automata*).

#### 4.5. Gramatika oblika

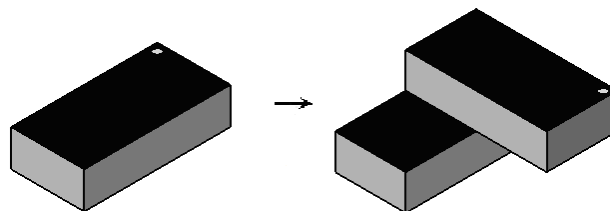
Iako u radovima prije 1980. uvelike spominju i istražuju gramatiku oblika (doduše samo na području slikarstva), do Stinyjevog rada „Kindergarten grammars: designing with Froebel’s building gifts” nije postojalo upotrebljivo objašnjenje metode, barem što se znanstvene zajednice tiče. Detaljniji pristup gramatici oblika dan je tek tim Stinyjevim radom.

U njemu Stiny navodi da postoji analogija između metode oblikovanja Fredericka Froebela (tzv. kindergarten metoda) i oblikovanja u tadašnjim dizajnerskim studijima, te predlaže alternativu tom procesu u obliku intuitivnog načina oblikovanja, te uporabu računala. Koristi Froebelove blokove kao elemente

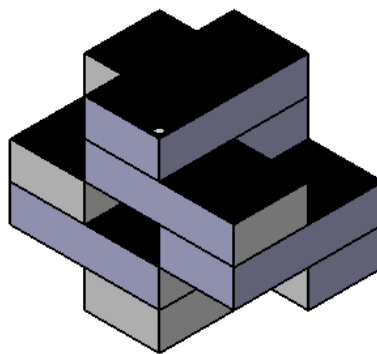
koji na jednostavan i elegantan način tvore gramatiku oblika. Ti su blokovi prvi primjer gramatike oblika trodimenzionalnih elemenata, te se taj Stinyjev rad smatra prvim primjerom trodimenzionalne gramatike oblika koji se kasnije uvelike koriste u arhitektonskom oblikovanju.



Slika 26. Inicijalni (početni oblik)



Slika 27. Oblikovno pravilo



Slika 28. Oblikovanje u jeziku pomoću Froebelovih blokova (Knight, 2000.)<sup>21</sup>

Zanimljivo je kako su gramatiku oblika najprije razmatrali George Stiny i James Gips 1972. u radu „Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture,” da bi kasnije potpuno zanemarili metodu do 1975. i objavljivanja radova Jamesa Gipsa „Shape Grammars and their Uses” i „Pictorial and Formal Aspects of Shape and Shape Grammars”. Uslijedila je još jedna suradnja Stinyja i Gipsa 1978. na knjizi „Algorithmic Aesthetics” koja također

<sup>21</sup> [http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset\\_history\\_design\\_sg.htm](http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_history_design_sg.htm)



ilustrira gramatiku oblika na primjerima iz slikarstva. U tim radovima gramatika oblika uglavnom se koristi za interpretaciju i evaluaciju likovnih djela, tj. djela s područja umjetnosti.

Kada se govori o gramatici oblika i primjeni te metode, primjeri se svode na korištenje metode za analizu u svrhu boljeg razumijevanja već postojeće konstrukcije. Na početku se uglavnom radilo o radovima prof. Stinyja koji bi služili u svrhu vježbi koje su se mogle vizualno prikazati na papiru.

#### 4.6. Definicija gramatike oblika

Prvi službeni rad o gramatici oblika predstavlja rad „Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture” autora Georgea Stinyja i Jamesa Gipsa koji je objavljen 1972. godine. U radu je dano formalno objašnjenje gramatika oblika na primjerima likovnih radova poput slika i skulptura koji su nastali tim pristupom promatranja oblika i ostvarivanja oblika.

Dok se formalna gramatika koristi za opisivanje strukture ili sintakse rečenica u prirodnim i umjetnim jezicima, gramatika oblika je geometrijska i dizajnerska adaptacija Chomskyjeve formalne gramatike i njome je moguće razviti jezike koji nemaju ograničenja u smislu da im je moguće stalno dodavati vokabular i pravila. Zato se gramatika oblika najčešće opisuje kao način opisivanja dizajna u jeziku.

Isticana je sličnost gramatike oblika sa gramatikom generiranja izraza i rečenica sa strukturnog stajališta u lingvističkoj praksi koju je predstavio Noam Chomsky u svom radu „Sintaksičke strukture”. Dok je strukturna gramatika tvorbe izraza definirana preko skupa simbola (vokabular ili abeceda) kojima se generiraju jednodimenzionalni tipovi podataka – stringovi, gramatika oblika definirana je vokabularom ili abecedom koja se sastoji od oblika, te je pomoću nje moguće generirati n-dimenzionalne oblike, odnosno jezike oblika. Za inženjerske potrebe dovoljno je definirati trodimenzionalne oblike. Tako je uzorom na strukturnu gramatiku tvorbe izraza nastala i definicija gramatike oblika. Gramatika oblika (SG) je enterac sa četiri osnovna člana:

$$SG = (V_T, V_M, R, I). \quad (27)$$

Odabrana notacija potječe od Stinyja i Gipsa (1972.). Vrlo sličnu notaciju ili oznake prisutne su kod Wellsa (1994.), Argwala i Cagana (2000.), Gera, Louisa i Kundua (1994.), Gera i Louisa (1995.), te Spellera, Whitneya i Crawleya (2007.).

Oznaka	Objašnjenje
$V_T$	Konačni neprazni skup - terminalna abeceda oblika. Elementi skupa $V_T$ nazivaju se terminali.
$V_M$	Elementi skupa $V_M$ nazivaju se neterminali ili oznake.
$R$	Konačni skup produkcija ili pravila oblika $u \rightarrow v$ .
$I$	Neterminalni element, $I \in V_M$ . Naziva se startnim simbolom.

Tablica 02. Definicija gramatike oblika, objašnjenje oznaka

Terminali se smatraju nedjeljivima, dok su neterminali nastali od drugih neterminala ili terminala ili njihovom kombinacijom tih dvaju elemenata. Neterminali su stoga promjenjivi u toku stvaranja gramatike oblika, a terminali su nepromjenjivi.

$V_T$  i  $V_M$  su skupovi primitivnih oblikovnih elemenata gramatike oblika (Gero; Louis, n.d.). Oni su konačni i neprazni. Elementi iz skupa  $V_M$  nazivaju se ne-završnim oblicima ili oznakama (eng. *markers*), takav da vrijedi  $V_T^* \cap V_M = \emptyset$ . Elementi iz skupa  $V_T^*$  formiraju se od elementa ili elemenata iz skupa  $V_T$  iz kojeg se svaki element može koristiti višestruki broj puta i bilo koje veličine ili orijentacije.

$$V_T^* = \bigcup_{k \geq 0} V_T^k = \{\varepsilon\} \cup V_T \cup V_T^2 \cup V_T^3 \dots V_T^n \quad (28)$$

Elementi iz  $V_T^*$  skupa koji se pojavljuju u  $(u, v)$  ili  $R$  ili  $I$  skupovima nazivaju se krajnjim, finalnim ili završnim elementima i oblicima (eng. *terminals*). Elementi  $(u, v)$  iz skupa  $R$  nazivaju se oblikovnim pravilima ili naredbama (eng. *shape rules*) i simbolički su opisani relacijom:

$$u \rightarrow v. \quad (29)$$

Svaka strana  $R$  pravila sastoji se od elemenata iz skupa  $V_T \cup V_M$ .  $R$  je konačan skup uređenih parova  $(u, v)$ , takvih da je  $u$  oblik koji se sastoji od elemenata iz  $V_T^*$  kombiniranih sa elementima iz  $V_M$ , a  $v$  oblik koji se sastoji od:

(A) Elementa iz  $V_T^*$  koji su sadržani u  $u$  ili

(B) Elementa iz  $V_T^*$  koji su sadržani u  $u$  kombinirani sa elementima

$V_M$  ili

(C) Elementa iz  $V_T^*$  sadržanih u  $u$  kombiniranih sa dodatnim elementom iz  $V_T^*$  i elementom iz  $V_M$  (Stiny; Gips, 1972.).

$I$  je inicijalni ili početni oblik (eng. *initial shape*) i sastoji se od elemenata iz  $V_T^*$  i  $V_M$ , tj. najčešće sadržava  $u$  elemente.

Oblik se generira iz gramatike oblika počevši sa inicijalnim ili početnim oblikom i rekurzivno primjenjujući oblikovna pravila. Rezultat primjene oblikovnog pravila nad zadanim oblikom je novi oblik koji se sastoji od zadanog oblika sa dodanim desnim dijelom pravila u odnosu na dio oblika ili oblik koji odgovara lijevom dijelu pravila.

Algoritam primjene pravila na oblik izgleda ovako:

1. Odaberi oblik koji je geometrijom sličan opisu s lijeve strane pravila i za završne i ne-završne oblike.

2. Nađi odgovarajuću geometrijsku transformaciju (skaliranje, translacija, rotacija, zrcaljenje) takvu da lijeva strana pravila odgovara odgovarajućem dijelu oblika.

3. Provedi transformacije na desnu stranu pravila i zamijeni desnu stranu pravila sa odgovarajućim oblikom.

Ma kako god se činilo komplicirano, ovaj proces jednostavan je za računalo. Tijekom procesa oblikovanja, željeni oblik cijelo vrijeme se uspoređuje sa postojećim, te se sekvencijalnim ponavljanjem pravila korak po korak dolazi do željenog oblika, a sve birajući iz dostupne abecede oblika, tj. svojevrsne početne baze oblika i novih baza oblika ili skupa oblika  $V_T^*$  koji raste svakom novom transformacijom.

Kada je završni element na lijevoj strani oblikovnog pravila jednak desnoj strani oblikovnog pravila, on se dodaje obliku i ne može se izbrisati. Proces oblikovanja i stvaranja novih oblika je završen kada su primijenjena sva pravila gramatike.

Jezik koji je definiran gramatikom oblika ( $L(SG)$ ) je skup oblika generiranih pomoću gramatike koji ne sadrži niti jedan element iz skupa  $V_M$ . Dakle, jezik gramatike oblika teoretski se sastoji od beskonačnog skupa konačnih elemenata.

Gramatika oblika spada u kontekstno nezavisne gramatike (Yaner, 2007., str. 19).

Kako gramatika oblika definira jezik koji može brojiti beskonačan broj oblika, a oblici mogu biti vrlo jednostavni do vrlo kompleksni, mora postojati mehanizam za selekciju oblika (eng. *selection rule*). Razvijen je koncept prema kojem se definira razina koja se kao značajka pridaje generiranom obliku.

Razina (eng. *level*) opisuje stupanj terminacije ili gotovosti oblika, kao što je sastavni dio rečenice definiran kontekstom strukturne gramatike. Dodjeljivanje razina odvija se prema sljedećem postupku:

1. Stupanj terminacije inicijalnog ili početnog oblika je 0.
2. Ako je oblikovno pravilo primijenjeno i ako je najveća razina dodijeljena bilo kojem obliku što odgovara lijevoj strani pravila i iznosi N, onda:
  - a. Ako je pravilo tipa A, tj. bilo kojem obliku koji je dio skupa  $V_M$  i nalazi se na lijevoj strani oblikovnog pravila, dodjeljuje se razina N.

b. Ako je pravilo tipa B, tj. bilo kojem obliku koji je dio skupa  $V_M$  i nalazi se na lijevoj strani oblikovnog pravila, dodjeljuje se razina N i bilo kojem obliku koji je dio skupa  $V_M$  i nalazi se na desnoj strani oblikovnog pravila, dodjeljuje se razina N+1.

c. Ako je pravilo tipa C, dodjeljuje se razina N+1

3. Ne dodjeljuju se druge razine.

Pravilo selekcije može se koristiti kao mehanizam zaustavljanja procesa generacije oblika. Isto tako, olakšava se odabir klase ili skupa oblika sa istim željenim iznosom razine.

## 5. Rad sa gramatikom proizvoda na primjeru bicikla

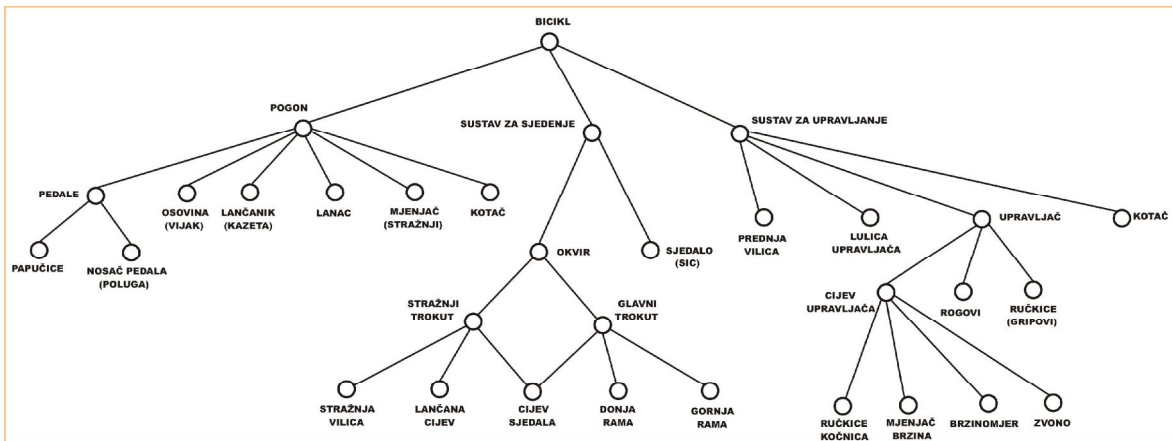
Razvoj metodologije kojom bi se omogućilo oblikovanje proizvoda na razini dijelova proizvoda i proizvoda kao cjeline predstavlja veliki izazov konstruktorima i proizvođačima. Problem koji se javlja kod proizvoda kao što su automobili ili kućanski aparati je konstruiranje proizvoda suradnjom više različitih djelatnosti koje bi trebale biti izravno uključene u proces razvoja kao što su strojarstvo, dizajn, proizvodnja i marketing. Naglasak je na kritičkom odlučivanju o pravilima konstruiranja i njihovom utjecaju na razvoj proizvoda. Traži se sistematičnost i nepristranost u odlučivanju između različitih konstrukcijskih rješenja.

Uključivanjem ergonomske, strukturne, aerodinamične i proizvodne zahtjeva u koncipiranje novog proizvoda nastaje kompleksna stablo-struktura proizvoda koja je hijerarhijski organizirana. Takva je struktura povoljna za parametarsko oblikovanje podsklopova, kao i zamjenu tih jedinica drugima kako bi se pronašlo rješenje koje bi zadovoljilo zahtjeve postavljene od strane konstruktora ili ostalih osoba uključenih u proces razvoja proizvoda.

Gramatika proizvoda (eng. *product grammar*) po uzoru na gramatiku oblika sastoji se od triju komponenti: početnog ili inicijalnog elementa, vokabulara elementarnih komponenti i skupa podsklopovnih pravila zamjene. Početni element je bilo koji odabrani element bez obzira na njegovu strukturu. Rješenje jezika koji je određen gramatikom izvodi se rekurzivnim primjenjivanjem pravila zamjene sa početnim elementom. Pomoću metode gramatike oblika generira se veliki broj različitih konstrukcijskih rješenja koja se kasnije mogu evaluirati. Gramatika proizvoda analogna je metodi gramatike oblika kojom se vrši sinteza dobivenih rješenja.

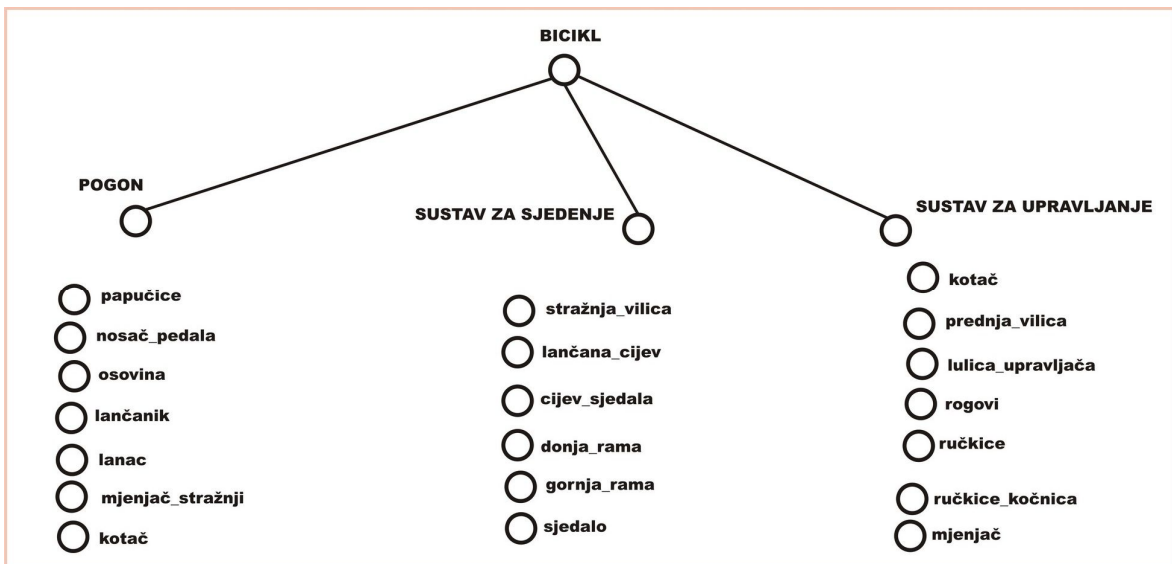
## 5.1. Kreiranje strukture stabla

Prva stablo-struktura opisana je Slikom 24. Sljedeći prikaz stablo strukture ima za funkciju spriječiti dupliranje dijelova bicikla kako bi se nastavila funkcionalna analiza i kompozicija stabla.

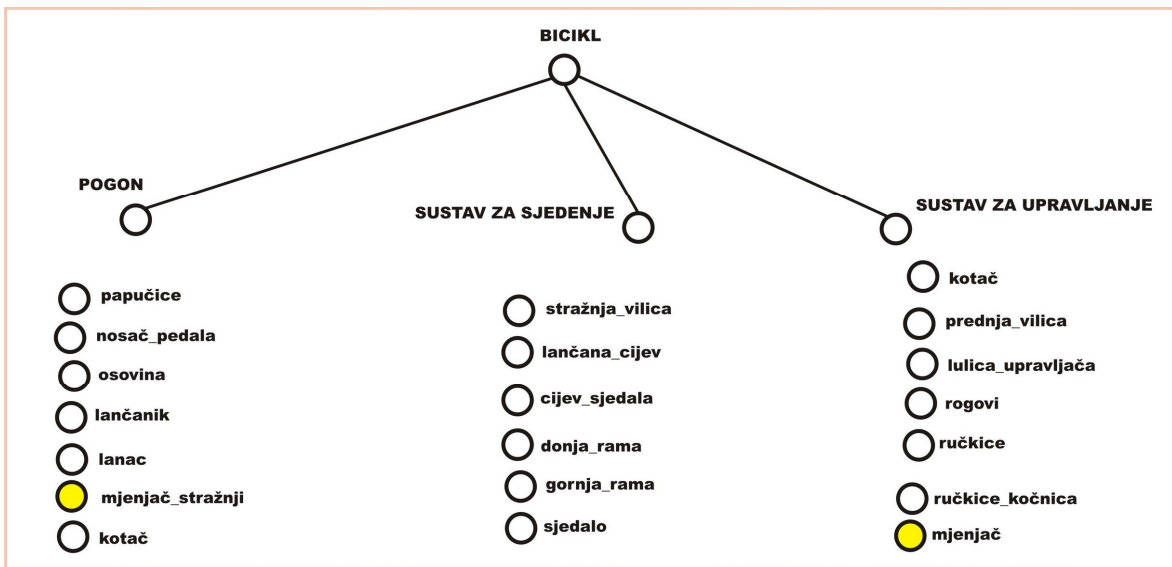


Slika 29. Stablo bicikla\_drugi korak

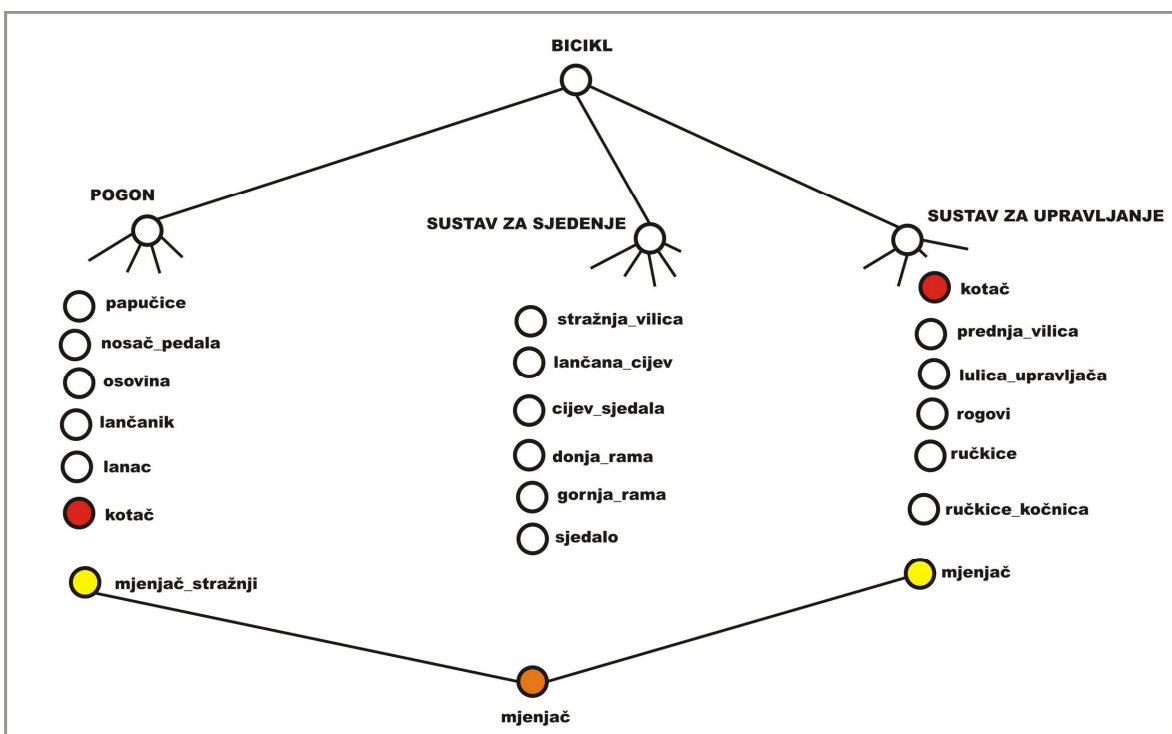
Isti se postupak može primijeniti i na *kotač* kao što je to učinjeno sa *cijevi sjedala*.



Slika 30. Početni model za slaganje stabla sa tri sustava i podijeljenim komponentama



Slika 31. Selektiranje komponenti bicikla za optimalno biranje terminala



Slika 32. Smanjivanje broja komponenti

Na Slici 33. prikazan je način smanjivanja broja komponenti, dakle ujedinjavanje komponenti prema funkcijama kako bi se optimirao, tj. smanjio broj terminala, tj. dijelova bicikla. Isto se obavlja sa elementom terminala koji je *kotač*.

Struktura komponenti, funkcija i podfunkcija u obliku stabla može se programirati na različite načine koji su u biti neovisni o gramatici koju razvijamo.



Za gramatiku proizvoda bitno je odabrati kvantitativno i kvalitativno odgovarajuće elemente kao elemente skupova  $V_T$  i  $V_M$ . Za svaki se konkretni proizvod posebno, odnosno proizvod kao izlaz karakterističnog proizvodnog procesa određuje koji će to elementi biti. Za proizvod bicikl je karakterističan odnos dijelova (komponenti) i funkcija istih, te na nivou definicije proizvoda postoje nedoumice oko toga koje komponente kao direktna rješenja funkcija (posljedično je moguće naći i podfunkcije) trebaju biti odabrane. Sintezom, te kombinacijom induktivno-deduktivnih postupaka došlo se do osamnaest komponenata i šest pripadajućih funkcija. Kombinacijom analitičkog postupka kompozicije proizvoda u 3. poglavlju, te što je važnije sinteze, nađeno je normativno rješenje problema.

Svaka funkcija može biti ostvarena kroz spektar različitih rješenja, te se odabire određeno rješenje za svaku funkciju. Rješenje može biti u slučaju proizvoda u obliku sustava (sustava koji se sastoji od više komponenata, tj. sklopnog rješenja) ili čak jedne jedine komponente (komponenta je u tom smislu fizički dio bicikla). Te izabrane komponente ili dijelovi nalaze se na najnižim dijelovima stabla i nemaju potomaka u tom stablu. Znači za svaku osnovnu funkciju postoji spektar različitih konceptijskih ili drugih rješenja, a sva odgovaraju na pitanje kako zadovoljiti funkciju.

Osamnaest izabranih dijelova su:

- papučice
- nosač pedala (poluga)
- osovina (vijak)
- lančanik (kazeta)
- lanac
- mjenjač
- kotač
- stražnja vilica
- lančana cijev
- cijev sjedala
- donja rama
- gornja rama
- sjedalo (sic)

- prednja vilica
- lulica upravljača
- rogovi
- ručkice (gripovi)
- ručkice kočnica.

Tih osamnaest dijelova nužni su da proizvod bude prepoznat kao bicikl do čega se došlo analizom očekivanja o proizvodu, povijesti bicikla i drugih istraživanja na internetu, kao i istraživanja tržišta. Ujedno, svih osamnaest dijelova dio su skupa terminala, tj. skupa  $V_T$ .

Ono što slijedi je definiranje dva moguća dijagrama, a to su dijagram funkcija i dijagram komponenata. Moći će se primijetiti da rješenja u obliku podsustava kao što su sustav za pokretanje, sustav za zaustavljanje i drugi odgovaraju glavnim funkcijama bicikla. Zapravo, nivoi tih stabala ili dijagrama s razlogom su isti. Dakle, bicikl je odgovor na pitanje kako ostvariti vožnju bicikla, odnosno o kojem se sustavu radi.

VOŽNJA BIKIKLA					
pokretanje	upravljanje	omogućavanje sjedanja	pogon	regulacija	zaustavljanje
...	...	...	...	...	...

*Tablica 03. Dijagram (ili stablo) funkcija – 3 nivoa :  
prvi nivo je proces, drugi su glavne funkcije, treći su podfunkcije*

BIKIKL					
sustav za pokretanje	sustav za upravljanje	sustav za sjedanje	pogon	regulacija	sustav za zaustavljanje
...	...	...	...	...	...

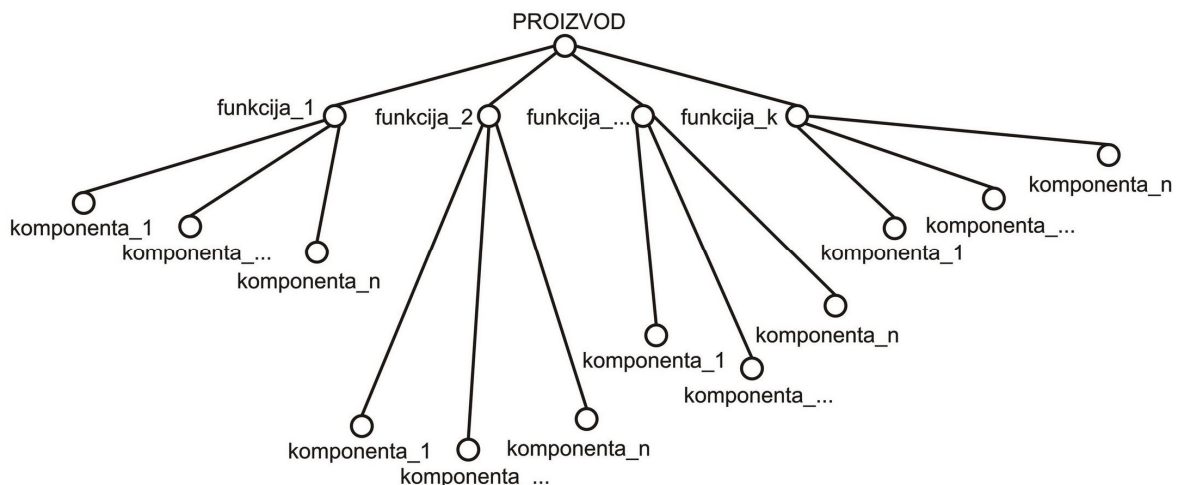
*Tablica 04. Dijagram (ili stablo) komponenata (dijelova) – 3 nivoa: prvi nivo je proizvod, drugi su podsustavi, treći je komponente (ili dijelovi) bicikla*

Komponente i pripadajuće funkcije čine skup neterminala tj. skup  $V_M$ . Sljedeći je korak ujedinjavanje dva dijagrama ili stabla u jednu tablicu, tj. dijagram ili stablo.

## 5.2. Skupovi

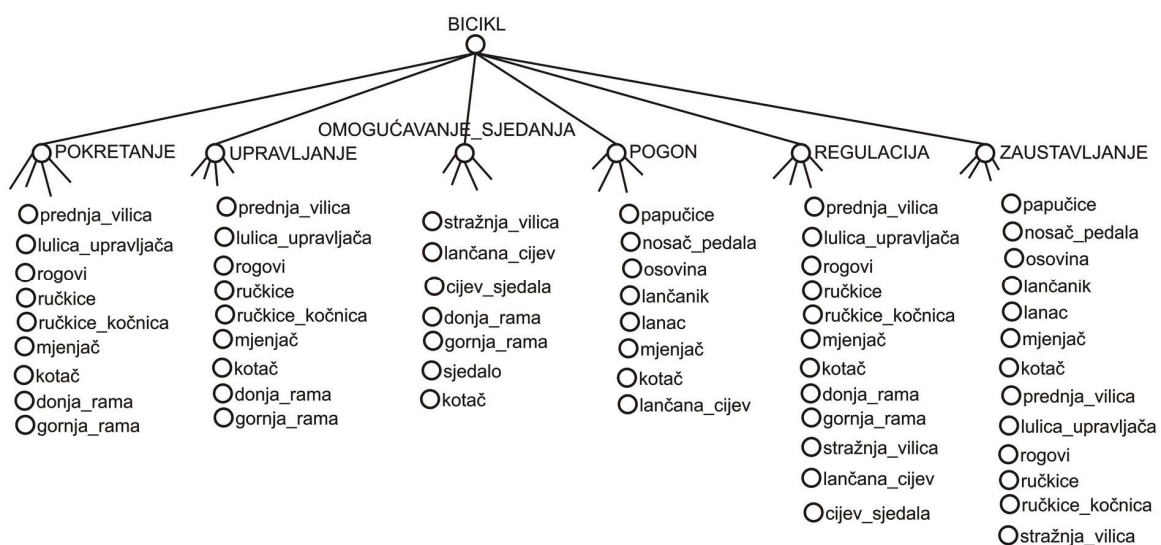
„Skup intuitivno shvaćamo kao kolekciju elemenata (ili članova) koji posjeduju izvjesna svojstva.”<sup>22</sup> Za sada nas zanimaju skupovi terminala  $V_T$  i skup neterminala  $V_M$ .

$V_T = \{ \text{papučice, nosač_pedala, osovina, lančanik, lanac, mjenjač, kotač, stražnja_vilica, lančana_cijev, cijev_sjedala, donja_rama, gornja_rama, sjedalo, prednja_vilica, lulica_upravljača, rogovi, ručkice, ručkice_kočnica} \}$  (30)



Slika 33. Model za slaganje stabla proizvod – funkcije – komponente

<sup>22</sup> Dovedan, Z.; **Formalni jezici – sintaksna analiza**; Zavod za informacijske studije Odsjeka za informacijske znanosti Filozofskog fakulteta u Zagrebu; Inter; Zagreb; 2003., str. 3



Slika 34. Gotovo stablo funkcija i komponentata spremno za slaganje gramatike

Broj	Komponenta bicikla (dio)	Pripadajuće funkcije (funkcije koje se ostvaruju tim dijelom)	Simbolička oznaka
1	kotač	pokretanje	kotač.pokretanje
		upravljanje	kotač.upravljanje
		omogućavanje sjedanja	kotač.omogućavanje_sjedanja
		pogon	kotač.pogon
		regulacija	kotač.regulacija
		zaustavljanje	kotač.zaustavljanje
2	papučice	pogon	papučice.pogon
		zaustavljanje	papučice.zaustavljanje
3	nosač pedala (poluga)	pogon	nosač_pedala.pogon
		zaustavljanje	nosač_pedala.zaustavljanje
4	osovina (vijak)	pogon	osovina.pogon
		zaustavljanje	osovina.zaustavljanje
5	lančanik (kazeta)	pogon	lančanik.pogon
		zaustavljanje	lančanik.zaustavljanje

6	lanac	pogon	lanac.pogon
		zaustavljanje	lanac.zaustavljanje
7	mjenjač	pokretanje	mjenjač .pokretanje
		upravljanje	mjenjač.upravljanje
		pogon	mjenjač.pogon
		regulacija	mjenjač.regulacija
8	stražnja vilica	omogućavanje sjedanja	stražnja_vilica. omogućavanje_sjedanja
		zaustavljanje	stražnja_vilica.zaustavljanje
9	lančana cijev	omogućavanje sjedanja	lančana_cijev. omogućavanje_sjedanja
		pogon	lančana_cijev.pogon
		regulacija	lančana_cijev.regulacija
10	cijev sjedala	omogućavanje sjedanja	cijev_sjedala. omogućavanje_sjedanja
		regulacija	cijev_sjedala.regulacija
11	donja rama	pokretanje	donja_rama.pokretanje
		upravljanje	donja_rama.upravljanje
		omogućavanje sjedanja	donja_rama. omogućavanje_sjedanja
		regulacija	donja_rama.regulacija
12	gornja rama	pokretanje	gornja_rama.pokretanje
		upravljanje	gornja_rama.upravljanje
		omogućavanje sjedanja	gornja_rama. omogućavanje_sjedanja
		regulacija	gornja_rama.regulacija
13	sjedalo (sic)	omogućavanje sjedanja	sjedalo.omogućavanje_sjedanja
14	prednja vilica	pokretanje	prednja_vilica.pokretanje
		upravljanje	prednja_vilica.upravljanje

		omogućavanje sjedanja	prednja_vilica. omogućavanje_sjedanja
		regulacija	prednja_vilica.regulacija
		zaustavljanje	prednja_vilica.zaustavljanje
15	lulica upravljača	pokretanje	lulica_upravljača.pokretanje
		upravljanje	lulica_upravljača.upravljanje
		regulacija	lulica_upravljača.regulacija
		zaustavljanje	lulica_upravljača.zaustavljanje
16	rogovi	pokretanje	rogovi.pokretanje
		upravljanje	rogovi.upravljanje
		regulacija	rogovi.regulacija
		zaustavljanje	rogovi.zaustavljanje
17	ručnice (gripovi)	pokretanje	ručnice.pokretanje
		upravljanje	ručnice.upravljanje
		regulacija	ručnice.regulacija
		zaustavljanje	ručnice.zaustavljanje
18	ručnice kočnica	pokretanje	ručnice_kočnica.pokretanje
		upravljanje	ručnice_kočnica.upravljanje
		regulacija	ručnice_kočnica.regulacija
		zaustavljanje	ručnice_kočnica.zaustavljanje

*Tablica 05. Ujedinjena tablica komponenti i funkcija*

$V_M = \{ \varepsilon, \text{kotač, kotač.pokretanje, kotač.upravljanje, kotač.omogućavanje\_sjedanja, kotač.pogon, kotač.regulacija, kotač.zaustavljanje, \dots, ručkice\_kočnica, ručkice\_kočnica.pokretanje, ručkice\_kočnica.upravljanje, ručkice\_kočnica.regulacija, ručkice\_kočnica.zaustavljanje} \}$ 
( 31 )

Definicija  $V_M$  skupa neterminala jedna je od bitnijih u procesu. Simboličke oznake u Tablici 05. stvaraju dobar način definiranja neterminala jer se komponente tj. terminali vežu preko funkcija kao oznaka. Skup  $V_M$  započinje praznim skupom, sadrži i terminale kao regularni dio skupa, kao i nove elemente označene simboličkim oznakama.

Za inicijalni element može biti izabran bilo koji element iz skupa  $V_M$ . No, za slučaj bicikla bilo bi zanimljivo izabrati element *kotač* jer on ima neterminale sa oznakama svih šestoro funkcija. Općenito govoreći kotač je najznačajnija komponenta za proizvod bicikla.

$$I = \{ \text{kotač} \} \quad (32)$$

## 6. Razvoj računalnog sustava za sintezu koncepcijskih rješenja

Računalni program pod nazivom Gramatika Proizvoda napravljen je u Microsoft Visual Studiu 2008, tj. njegovom modulu Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition. U programskoj aplikaciji Gramatika Proizvoda definiraju se skupovi koji služe za proračunavanje gramatike proizvoda na nivou komponenti, te je njegov izlazni rezultat grafički prikaz pravila gramatike proizvoda bicikla.

### 6.1. Opis programa

Računalni program Gramatika Proizvoda sastoji se od dva potprograma. Prvi je Gramatika Proizvoda u kojem se kreiraju projekti proizvoda, te se kao izlazni podatak generira grafički prikaz pravila. Drugi dio programa zapravo je pretraživač projekata, odnosno elemenata tih projektnih datoteka. Za kreiranje projektne datoteke proizvoda u korisničkom sučelju Gramatika Proizvoda potrebno je definirati i unijeti nekoliko skupova podataka. Za početak je potrebno definirati terminale (komponente proizvoda) i oznake (funkcije proizvoda). Zatim je iz skupa terminala potrebno odabrati inicijalni terminal, te definirati neterminale koji nastaju odabirom jednog terminala i jedne oznake. Svi podaci u programu definirani su kao stringovi. Pravila su prikazana na grafički specifičan način, a temelje se na prepoznavanju istih stringova u skupu neterminala i grupiranju istih već ovisno o tome da li se stringovi pojavljuju kao terminali ili oznake. Za svaki terminal i pripadajuću oznaku koji su sadržani u obliku neterminala, pretražuju se ostali terminali s kojima dijele istu oznaku. Zatim se grafički ispisuju pravila za svaki terminal i njegovu oznaku zasebno.

Projektne datoteka ima ekstenziju .IDA i sadrži podatke o stanju korisničkog sučelja u trenutku spremanja projekta. Ove se datoteke pozivaju u potprogramu Generiranje varijabli koje je drugo korisničko sučelje i služi uspoređivanju projekata i izdvajanju određenih elemenata projekata. Uz pozivanje minimalno dvije projektne datoteke, potrebno je dati popis neterminala koje projektne datoteke trebaju sadržavati. Izlazna datoteka ekstenzije .LOG daje



informacije o traženim neterminalima i kod projekata koji zadovoljavaju uvjete specificirane preko neterminala, sadrži i popis ostalih neterminala u projektu. Ta izlazna datoteka otvara se kao bilo koja .TXT datoteka. Osim neterminala koji nisu navedeni u uvjetima danima od strane korisnika u izlaznu datoteku zapisuju se i neke informacije o terminalima. Sve te zapisane informacije zapravo govore o varijantama proizvoda.

## 6.2. Rad u programu

Pokretanjem programske aplikacije Gramatika Proizvoda otvara se istoimena forma u kojoj se definiraju skupovi koji su nužni za stvaranje gramatike proizvoda. Nakon definicije projekta koji je bicikl kreće se u definiranje skupa terminala za taj isti bicikl. Terminali se upisuju iz definicije (23) gdje se upisuju osamnaest dijelova bicikla nužnih za analizu. Sljedeći korak je definiranje oznaka, tj. pomoćnih stringova koji su zapravo glavne funkcije bicikla. Radi se o šest definiranih glavnih funkcija bicikla prema Tablici 03.

Dalje se pristupa definiranju neterminala koji se mogu generirati na formi upotrebom padajućeg izbornika i liste sa desne strane forme. Tzv. „križanjem” tih dviju veličina u obliku stringa generiraju se neterminali iz definicije (24). U svakom trenutku obavljanja unošenja ovih skupova cijeli projekt je moguće spremati za daljnji rad u obliku datoteke s ekstenzijom .IDA. Ovo olakšava spremanje neterminala za buduće projekte nakon što se jednom unesu. Naime, broj neterminala je izrazito velik, tj. radi se o čak pedeset i sedam neterminala.

Unos novog dijela (terminala):

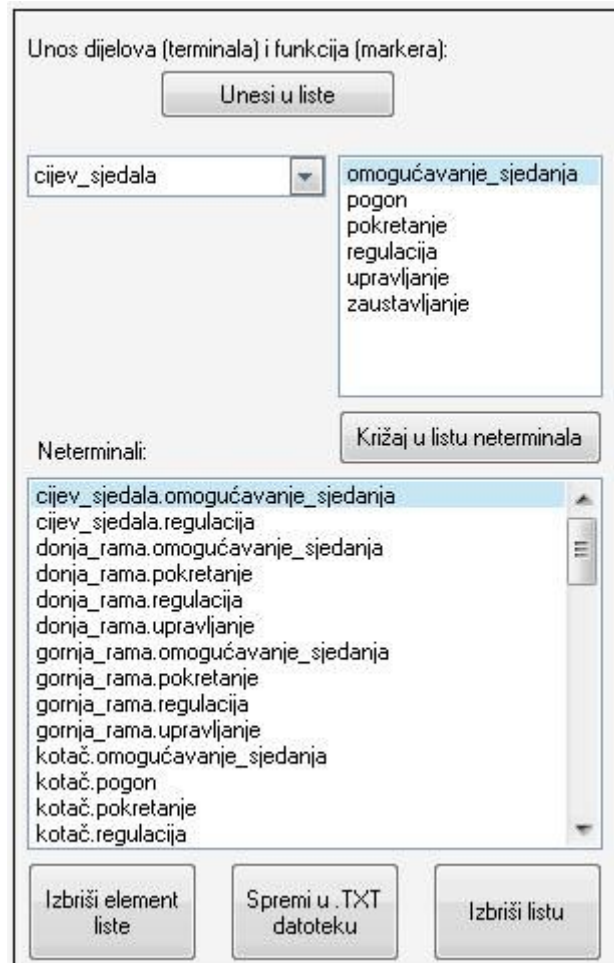
kotač  
 papučice  
 nosač\_pedala  
 osovina  
 lančanik  
 lanac  
 mjenjač  
 stražnja\_vilica  
 lančana\_cijev  
 cijev\_sjedala  
 donja\_rama  
 gornja\_rama  
 sjedalo  
 prednja\_vilica  
 lulica\_upravljača  
 rogovi  
 ručkice  
 ručkice\_kočnica

Slika 35. Unos terminala u korisničkom sučelju programa

Unos nove funkcije (markera):

pokretanje  
 upravljanje  
 omogućavanje\_sjedanja  
 pogon  
 regulacija  
 zaustavljanje

Slika 36. Unos oznaka u korisničkom sučelju programa



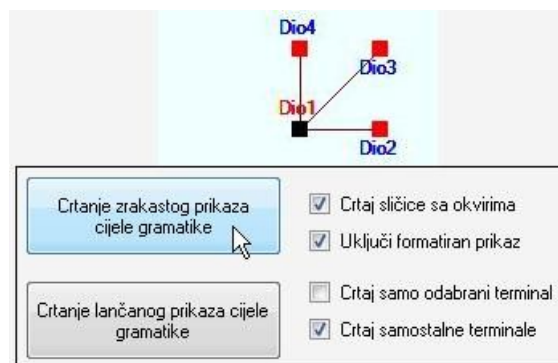
Slika 37. Unos neterminala u korisničkom sučelju programa

### 6.3. Rezultati

Nakon što je unesen i odabran inicijalni element može se nastaviti sa grafičkim prikazivanjem svih veza između terminala, tj. moguće je prikazati gramatiku proizvoda na nivou komponenti. Postoje dva tipa grafičkog prikazivanja gramatike proizvoda. Jedno je tzv. „zrakasto” prikazivanje, a drugo je tzv. „lančano” prikazivanje.



Slika 38. Odabiranje inicijalnog elementa u korisničkom sučelju programa



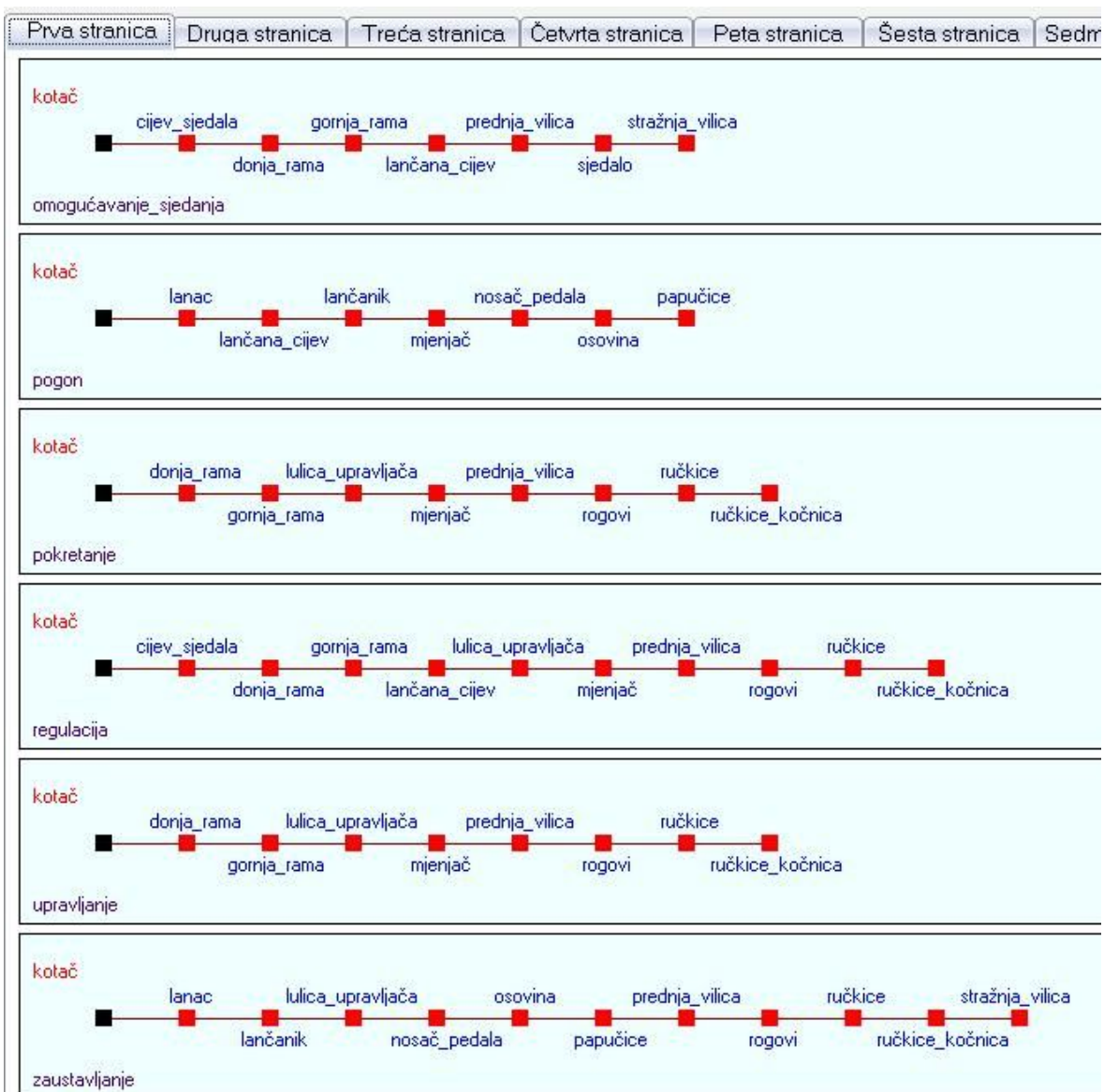
Slika 39. Crtanje „zrakastog” prikaza cijele gramatike proizvoda

Tzv. „zrakasti” prikaz je izgleda kao na Slici 40. što je i ilustrirano na samoj formi. Zbog nemogućnosti da se iscrta više od devet terminala na jednoj sličici, što je slučaj za ove postavke bicikla, program će pokušati iscrtaati „lančani” prikaz. Potrebno je uključiti i tzv. neformatirani prikaz jer program podržava do šezdeset sličica gramatike proizvoda.



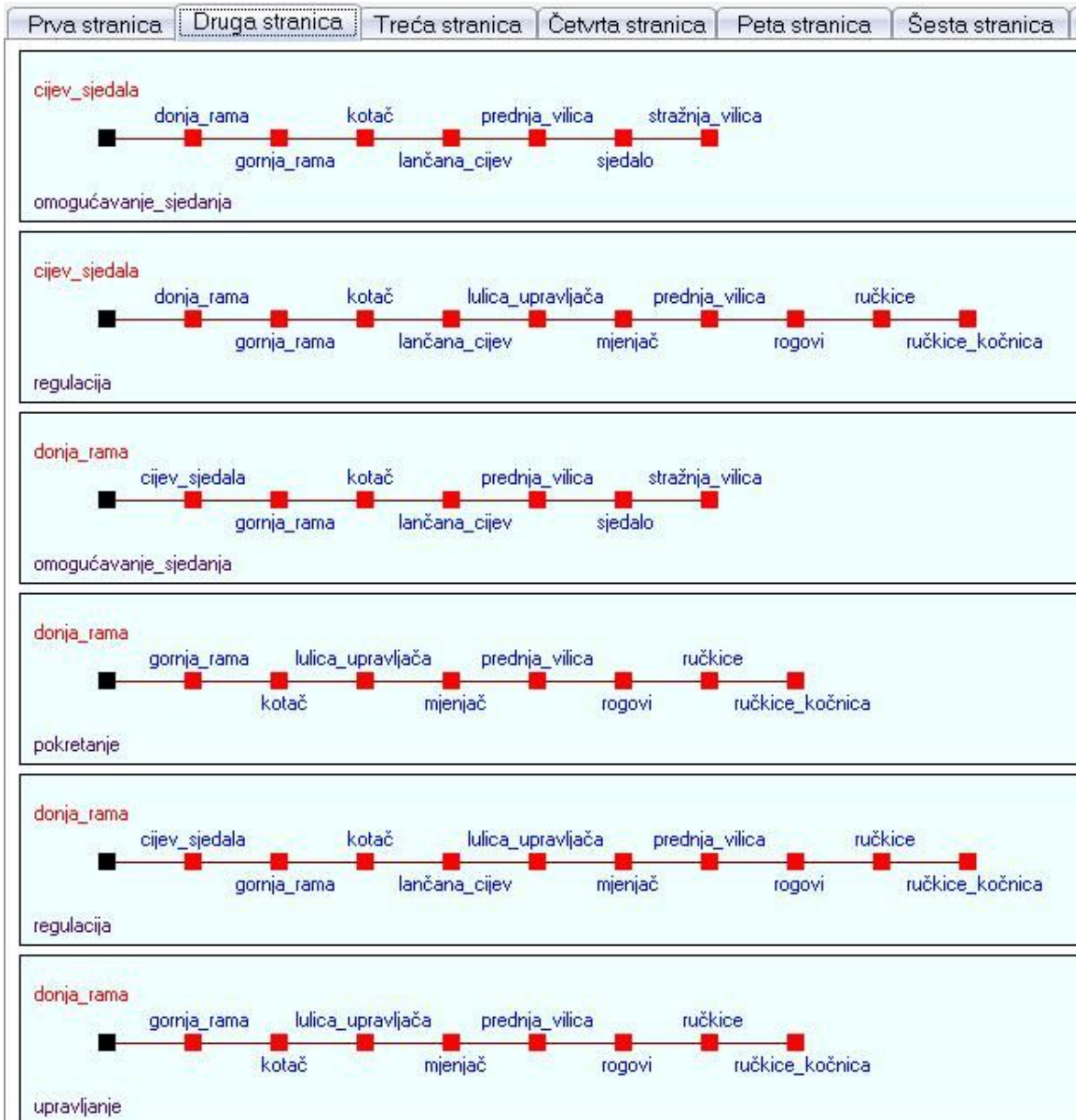
Slika 40. Crtanje „lančanog” prikaza cijele gramatike proizvoda

Sada je sve spremno za prikazivanje cijele gramatike proizvoda na nivou komponenti koja će biti grafički prikazana u novom prozoru.



Slika 41. Gramatika proizvoda za inicijalni element – kotač, prva stranica

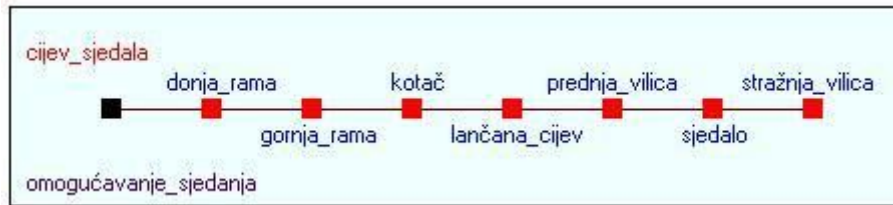
Ostatak gramatike bicikla na nivou komponenti moguće je pregledati na istom prozoru i na ukupno deset stranica.



Slika 42. Gramatika proizvoda za inicijalni element – kotač, druga stranica

Prema definiciji gramatike tipa 2 ili kontekstno nezavisne gramatike produkcije ili pravila su oblika  $u \rightarrow v$ . Pritom je  $u \in (V_T \cup V_M)^+$ , tj.  $u$  je skup terminala i neterminala. Sa desne strane pravila nalaze se elementi koji su dio skupa unije terminala i neterminala, tj. vrijedi da je  $v \in (V_T \cup V_M)^*$ . Pravila koja se

generiraju gramatikom su mnogobrojna, te će se na primjeru cijevi sjedala objasniti način na koji su ona izvedena.



Slika 43. Gramatika za odabrani neterminal cijev sjedala

Odabran je neterminal, tj. dio skupa  $V_M$  koji je cijev\_sjedala.omogućavanje\_sjedanja. Neterminal se sastoji od terminala cijev\_sjedala i oznake omogućavanje\_sjedanja. Simbolički su u nazivu neterminala točkom naznačena ta dva strukturno bitna dijela neterminala. Prilikom stvaranja gramatike preko dijela neterminala koji je oznaka, tj. njegovog dijela koji je u nazivu desno od točke, program pretražuje sve neterminale. Pritom uzima samo neterminale kod kojih se u nazivu desno od točke pojavljuje ista oznaka kao kod odabranog neterminala. Za cijev\_sjedala program je pronašao ukupno sedam neterminala. Pravila se smiještaju u podskup  $v_{sj_1}$ .

$$v_{sj_1} = \{ \text{cijev\_sjedala.omogućavanje\_sjedanja} \cup \text{donja\_rama.omogućavanje\_sjedanja}, \text{cijev\_sjedala.omogućavanje\_sjedanja} \cup \text{gornja\_rama.omogućavanje\_sjedanja}, \text{cijev\_sjedala.omogućavanje\_sjedanja} \cup \text{kotač.omogućavanje\_sjedanja}, \dots \} \quad (33)$$

Ovako zapravo pravila izgledaju prije nego što ih program obradi, te je u konačnici podskup  $v_{sj_1}$  jednak

$$v_{sj_1} = \{ \text{cijev\_sjedala.omogućavanje\_sjedanja} \cup \text{donja\_rama}, \text{cijev\_sjedala.omogućavanje\_sjedanja} \cup \text{gornja\_rama}, \text{cijev\_sjedala.omogućavanje\_sjedanja} \cup \text{kotač}, \dots \} \quad (34)$$

Može se primijetiti da je desna strana primjerice pravila *cijev\_sjedala.omogućavanje\_sjedanja* → *donja\_rama* zapravo terminal *donja\_rama* što je u potpunosti u skladu sa definicijom kontekstno nezavisne gramatike, tj. gramatike tipa 2.

Skup  $v$  sastoji se od više podskupova pravila oblika  $v_{i,j}$  gdje je  $i$  redni broj ili naziv terminala, a  $j$  redni broj neterminala koji je nastao od tog terminala. Tako terminal *cijev\_sjedala* ima primjerice dva neterminala, a kotač čak šest. Dopusšteno je da element iz skupa  $v_{i,j}$  bude prazan, tj.  $\varepsilon$ . To bi bio slučaj za primjerice neki neterminal za koji program ne bi pronašao odgovarajuću istu oznaku kod nekog drugog neterminala.

$$v = \bigcup_{i \geq 1, j \geq 1} v_{i,j} \quad (35)$$

U skupu  $v$  zapravo se nalaze rješenja koja su neterminali. Gramatika grupira neterminale istih oznaka oko neterminala koji je odabran programom i sprema ih u podskup. Time se dobije logička skupina dijelova koji su povezani oznakama, tj. ostvaruju istu funkciju. Logičke skupine komponenti ili dijelova koje se sastoje dakle od neterminala prikazani su „lančanim prikazom” gdje prvi neterminal s lijeva predstavlja neterminal oko kojega su grupirani ostali neterminali. Kako se radi o linearnom prikazu neterminali su abecednim redom poredani u „lanac” iza odabranog neterminala. Kada bi se definirao neki drugi kriterij, a ne abecedni kako je za ovaj program slučaj, redosljed slaganja neterminala bi bio drugačiji.

Grafički prikaz gramatike u programu Gramatika Proizvoda prikazuje samo najveću moguću uniju terminala i neterminala. Pravilo sa Slike 43. u konačnici je  $R_{s_{j_1}}$  koje je zapravo skraćeno pisano na sljedeći način:

$$R_{s_{j_1}} = \{ \text{cijev\_sjedala} \rightarrow \text{cijev\_sjedala.omogućavanje\_sjedanja} \cup \text{donja\_rama} \cup \text{gornja\_rama} \cup \text{kotač} \cup \text{lančana\_cijev} \cup \text{prednja\_vilica} \cup \text{sjedalo} \cup \text{stražnja\_vilica} \} \quad (36)$$



Sa lijeve strane pravila u ovom slučaju nalazi se terminal cijev\_sjedala. Iako je dozvoljeno da lijeva strana pravila tj.  $u$  bude neterminal, glavnu ulogu u opisivanju strukture proizvoda ipak imaju komponente ili terminali. Neterminali su u tom slučaju samo pomoćni elementi pomoću kojih se generiraju pravila, a terminali su nositelji informacija o proizvodu.

#### 6.4. Generiranje varijanti

Osim stvaranja novih projekata tj. proizvoda računalni program Gramatika Proizvoda sadrži još jedno korisničko sučelje za pripremu i generiranje datoteke u koju se zapisuju podaci sa informacijama o varijantama proizvoda. U tu svrhu potrebno je prvo učitati prethodno spremljene projekte od kojih svaki ima vlastite i pohranjene informacije o komponentama proizvoda (terminalima), funkcijama proizvoda (oznakama), te neterminalima. Nakon učitavanja projekata koje se želi pretražiti potrebno je navesti neterminale ili tzv. uvjete. Skup neterminala ili uvjeta predstavljaju zahtjeve ili specifikacije koje proizvod mora sadržavati. Tako će se pretraživanjem odabranih projekata izdvojiti oni koji imaju pohranjene navedene neterminale od onih koji ih nemaju. Za potrebe generiranja varijantnih rješenja proizvoda koji odgovara zadanim specifikacijama pretražuju se odabrani projekti.

Varijantna rješenja predstavljena su neterminalima iz projekata koji se ne nalaze u popisu specifikacija ili uvjeta koji zadaje korisnik. Kako su neterminali sastavljeni od terminala i oznaka, tj. kombinacija su komponenta i funkcija proizvoda, u projektu mogu biti sadržani i terminali tj. komponente koje nisu dio neterminala. Radi se o komponentama koje ne zadovoljavaju niti jednu od glavnih funkcija proizvoda, ali svejedno se nalaze na popisu terminala. Oni ostvaruju neku od dodatnih funkcija, te su kao takve prisutne i kod generiranja varijantnih rješenja. Sva varijantna rješenja uključuju osnovnu strukturu proizvoda koja je zapisana u obliku neterminala koji su specifikacije ili uvjeti koji su zadani od strane korisnika. Svako sljedeće varijantno rješenje uključuje redom svaki sljedeći neterminal ili novi neterminal složen od komponente i dodatne funkcije. Broj mogućih varijantnih rješenja ovisi o broju mogućih kombinacija komponenta ili terminala i novih

komponentata ili terminala. Broj varijantnih rješenja određen je sljedećom relacijom:

$$n = 2^{(k+k_1)}, \quad (37)$$

gdje je  $n$  broj varijantnih rješenja,  $k$  broj terminala pronađenih u projektima koji zadovoljavaju uvjete, a  $k_1$  broj novih terminala ili komponentata koji sa sobom nose i dodatne funkcije.

## 7. Sinteza pravila gramatike proizvoda

Nakon što su generirana pravila kojima se opisuje proizvod, te je definirana gramatika proizvoda, pravila mogu poslužiti za daljnju dekompoziciju proizvoda i definiranje buduće strukture proizvoda. Dekompozicija proizvoda provodi se hijerarhijski, stablom koje prikazuje strukturu proizvoda na nivou njegovih komponenti koje korespondiraju definiranim funkcijama proizvoda. Dobivena gramatika proizvoda prikazana putem pravila podvrgava se sintezi kako bi se prikazala struktura proizvoda na nivou komponenti, a razlikuje se od prvotno složene strukture po tome što su komponente oblikovane tako da odgovaraju određenim logičkim sklopnim cjelinama komponenti unutar strukture proizvoda. Sintezom se tako još dodatno pridonosi integriranju komponenti unutar njegove strukture proizvoda.

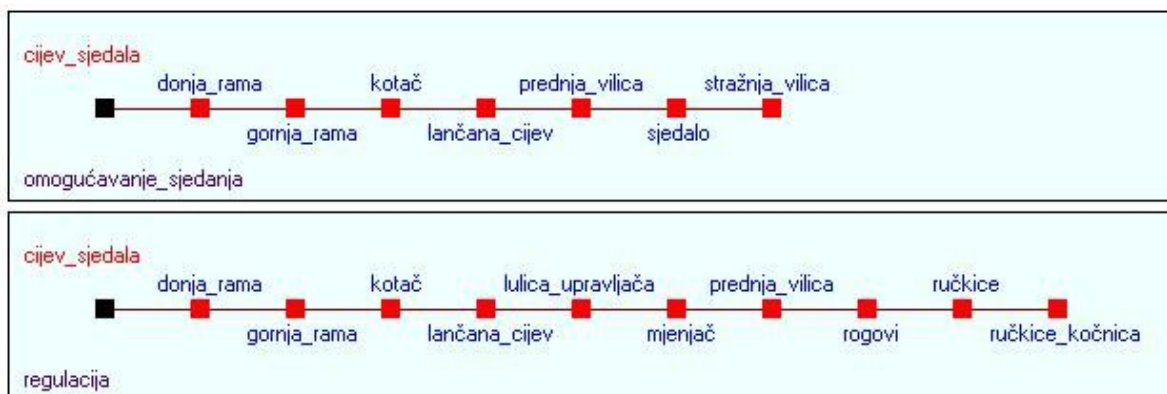
Struktura proizvoda prikazuje se u obliku stabla (eng. *tree structure*) koje se sastoji od nekoliko razina (eng. *level*) i grana stabla. Struktura u obliku stabla koja se oblikuje sastoji se uglavnom od jednog pravila, te je orijentirano i organizirano prvenstveno s obzirom na funkcije proizvoda da bi u donjim razinama sadržavalo komponente proizvoda. Oblikovanje takve komplicirane strukture započinje jednostavnim stablom sa samo nekoliko grana, te se postupno dopunjava tvoreći kompleksniju sintaksu proizvoda. Zbog orijentiranosti ovakvog prikaza proizvoda u obliku stabla baziranog uglavnom na komponentama proizvoda, naglasak je na povezanosti i uređenju grana stabla, a ne na njegovim razinama. Nova konstrukcijska rješenja deriviraju se dodavanjem apstraktnih poopćenih opisa komponenata, zamjenom određenih grana stabla i uključivanjem standardiziranih dijelova proizvoda. Ukratko, sinteza prilikom stvaranja sintakse proizvoda prikazana hijerarhijski organiziranom strukturom pomoću stabla, a orijentirana isključivo na generirana pravila uključuje sljedeće korake ili etape oblikovanja:

- apstrakcija poopćenih opisa komponenata proizvoda,
- povezivanje i standardizacija komponenata proizvoda i logičkih sklopnih cjelina komponenata,

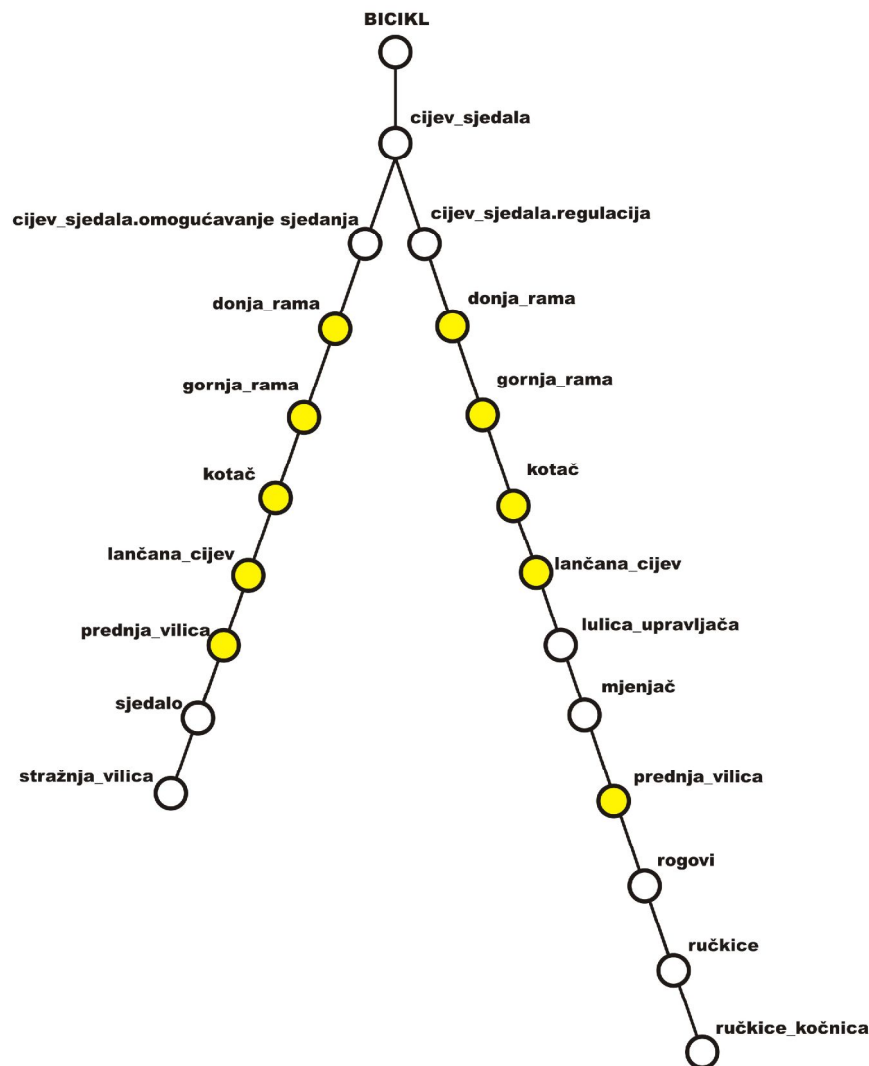
- primjena pravila zamjene čvorova.

Dobivena konfiguracija strukture proizvoda ima za cilj eliminirati ponavljanje istih komponenti u strukturi proizvoda, podržati standardizaciju elemenata i bolje prikazati strukturu proizvoda koja je orijentirana na identificiranje logičkih sklopnih cjelina komponenata koji u tako složenom rješenju bolje opisuju funkcije i podfunkcije komponenata unutar strukture proizvoda. Ovakva sinteza proizvoda na određeni način bolje prikazuje pravila koja su generirana gramatikom, tj. usmjerava uređenje strukture proizvoda kako bi se njome prikazale nove i inovativne konfiguracije proizvoda ili sintaksa proizvoda.

Nakon što je generirana gramatika proizvoda na nivou komponenti koja uključuje grafički prikaz pravila gramatike za sve terminale pristupa se odabiru jednog terminala za koji se crta zasebno stablo koje prikazuje strukturu proizvoda. Takva struktura u obliku stabla uključuje samo elemente gramatike koji su vezani za odabranu komponentu ili dio bicikla. Za prvi primjer odabran je kao inicijalni terminal cijev sjedala, te promatramo samo pravilo gramatike za taj terminal.

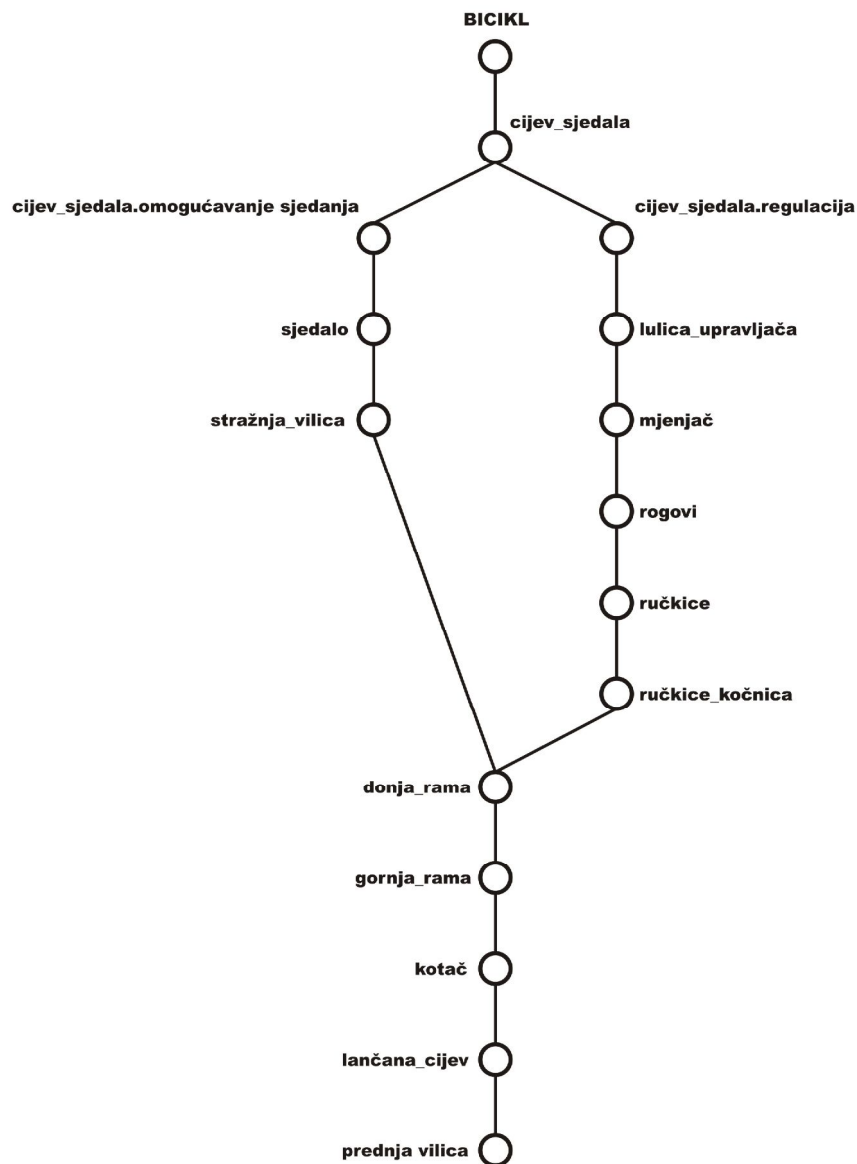


Slika 44. Gramatika bicikla za odabrani element cijev sjedala



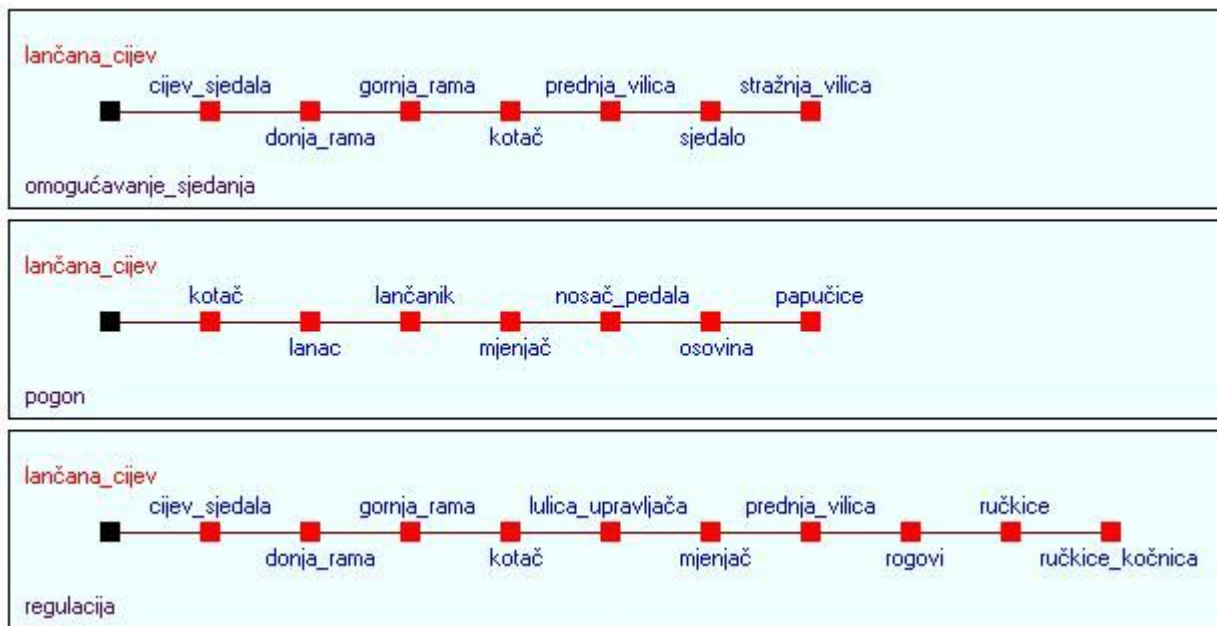
Slika 45. Nesređeno stablo bicikla za pravilo za cijev sjedala

Stablo bicikla započinje odabranim inicijalnim elementom – cijevi bicikla koji je izabran iz skupa terminala. Prema Tablici 05. iz terminala koji je cijev bicikla može se preko dvije oznake koje su funkcije omogućavanje sjedanja i regulacija izvesti dva neterminala koji rezultiraju time da postoje dvije odvojene grane stabla. Prvo je potrebno odrediti koje se komponente ponavljaju u granama, te ih izdvojiti na način kako je to prikazano na Slici 46.

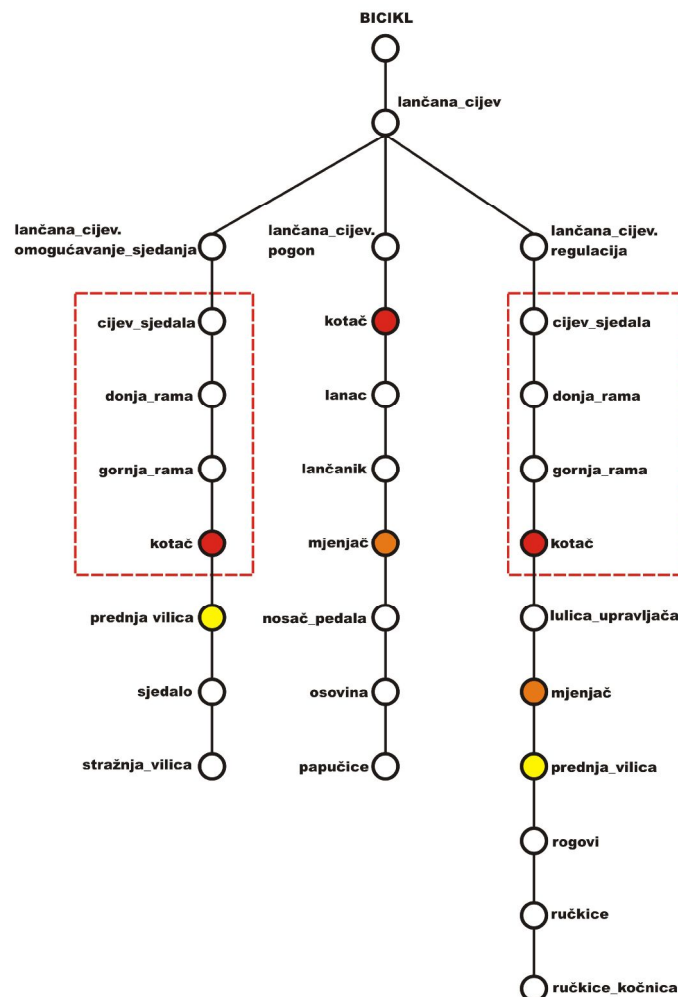


Slika 46. Sređeno stablo bicikla prema pravilu za cijev sjedala

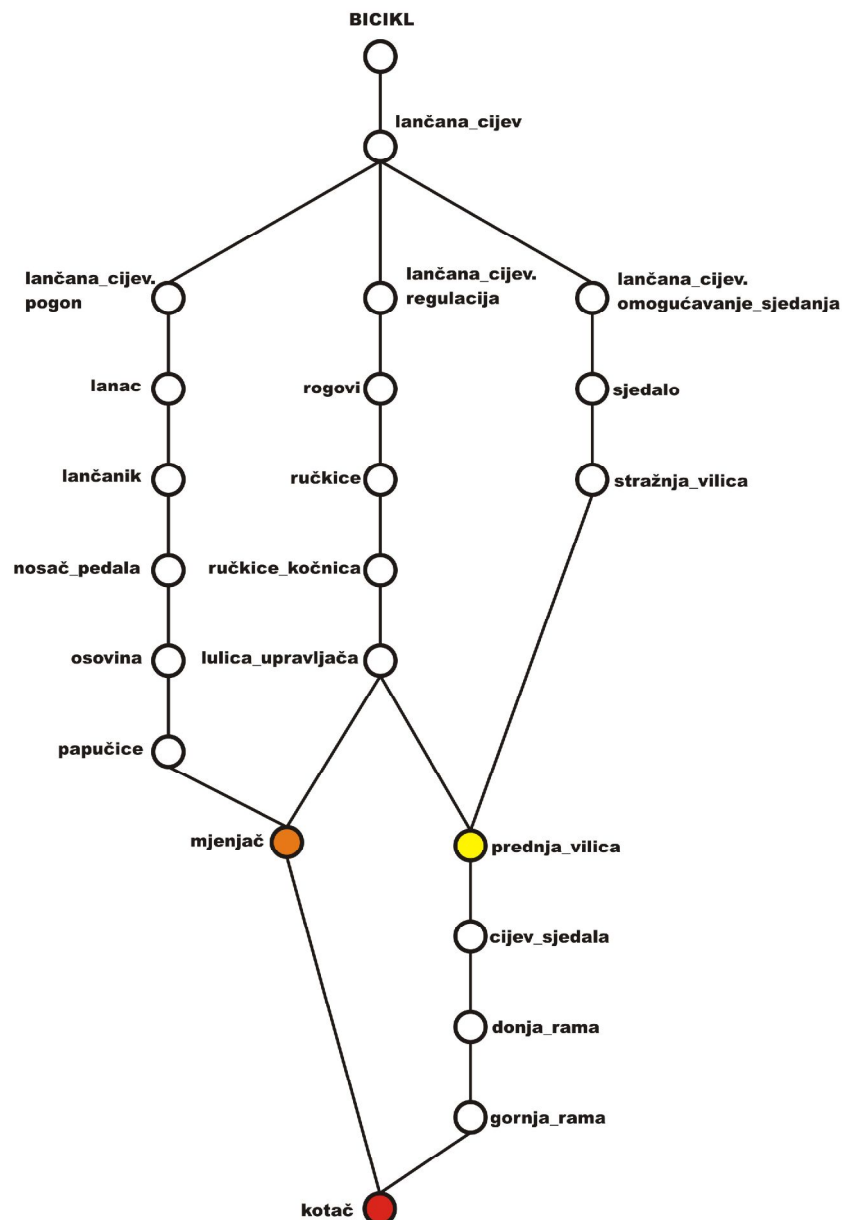
Na sličan način može se nacrtati i stablo za bicikl prema pravilima za ostale komponente. Za drugi primjer odabrana je komponenta lančana cijev.



Slika 47. Gramatika bicikla za odabrani element lančanu cijev



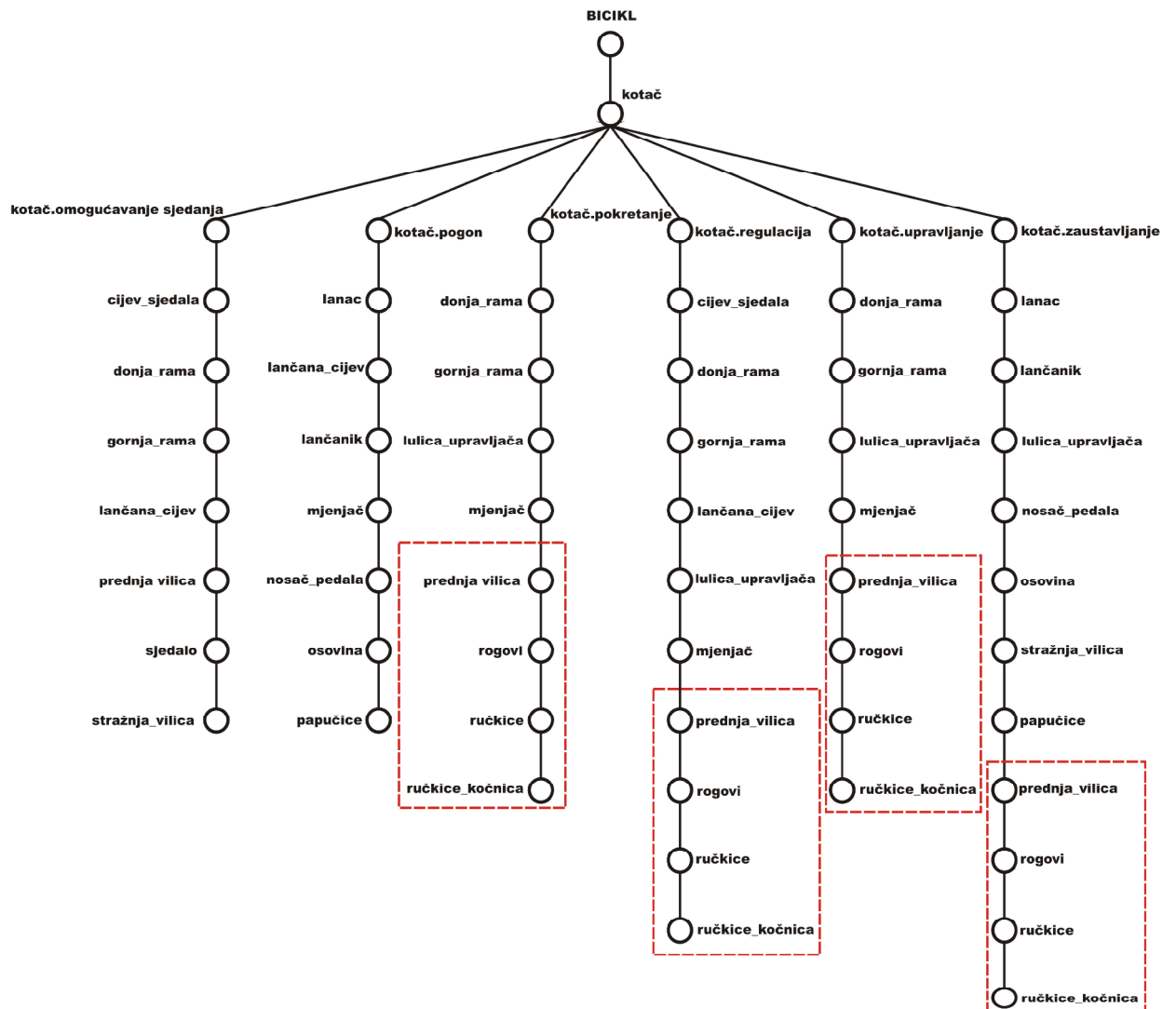
Slika 48. Nesređeno stablo bicikla prema pravilu za lančanu cijev



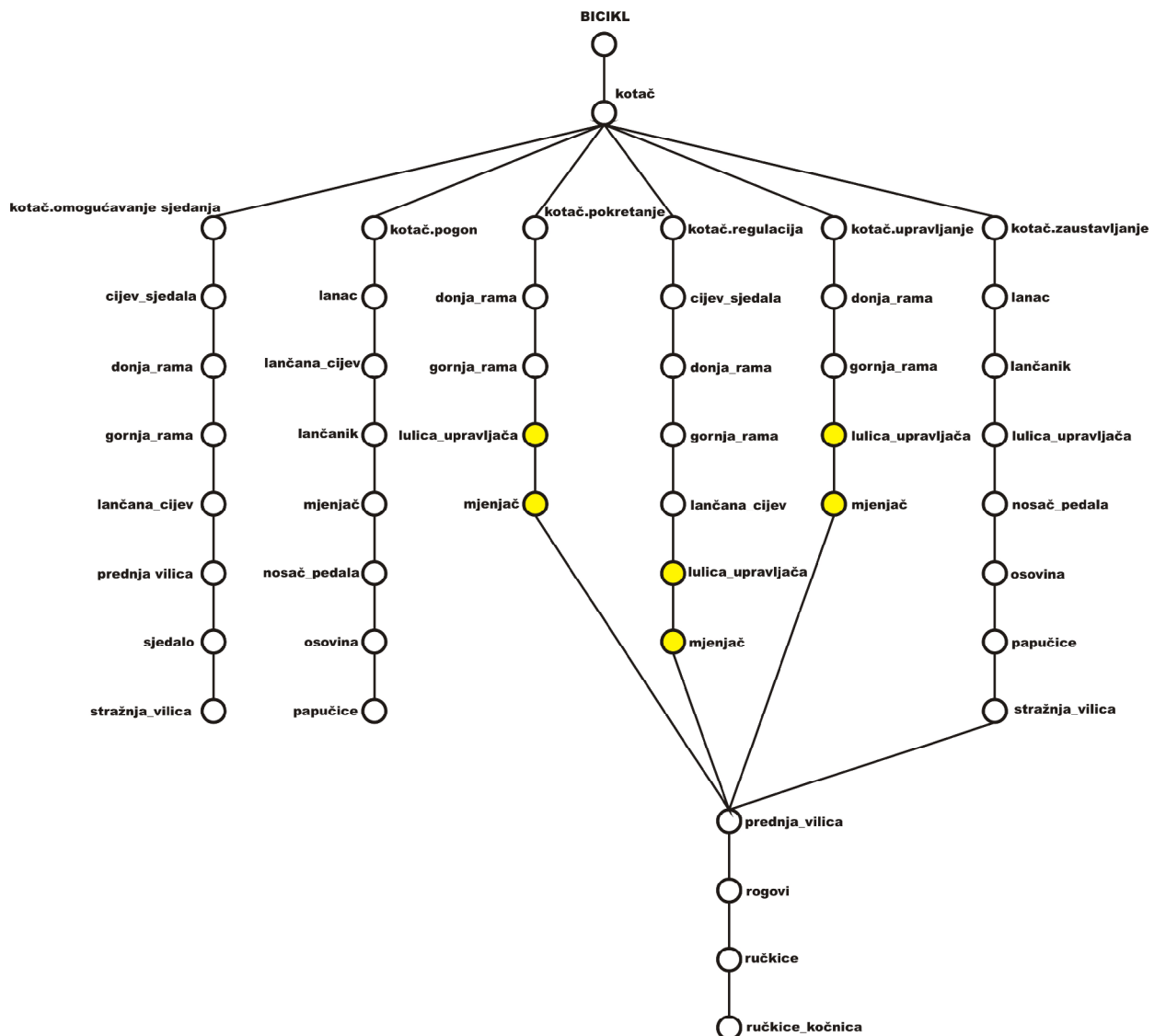
Slika 49. Sređeno stablo bicikla prema pravilu za lančanu cijev

Najkompliciraniji primjer odnosi se na stablo bicikla kod kojeg je za inicijalni element odabran kotač stoga što se za kotač izvode neterminali kojih ima šest. Moguće je primijetiti da što više neterminala se izvodi iz jednog jedinog terminala to je za očekivati kompliciranije i složenije stablo proizvoda. Gramatika proizvoda za inicijalni element koji je kotač prikazana je na Slici 41.

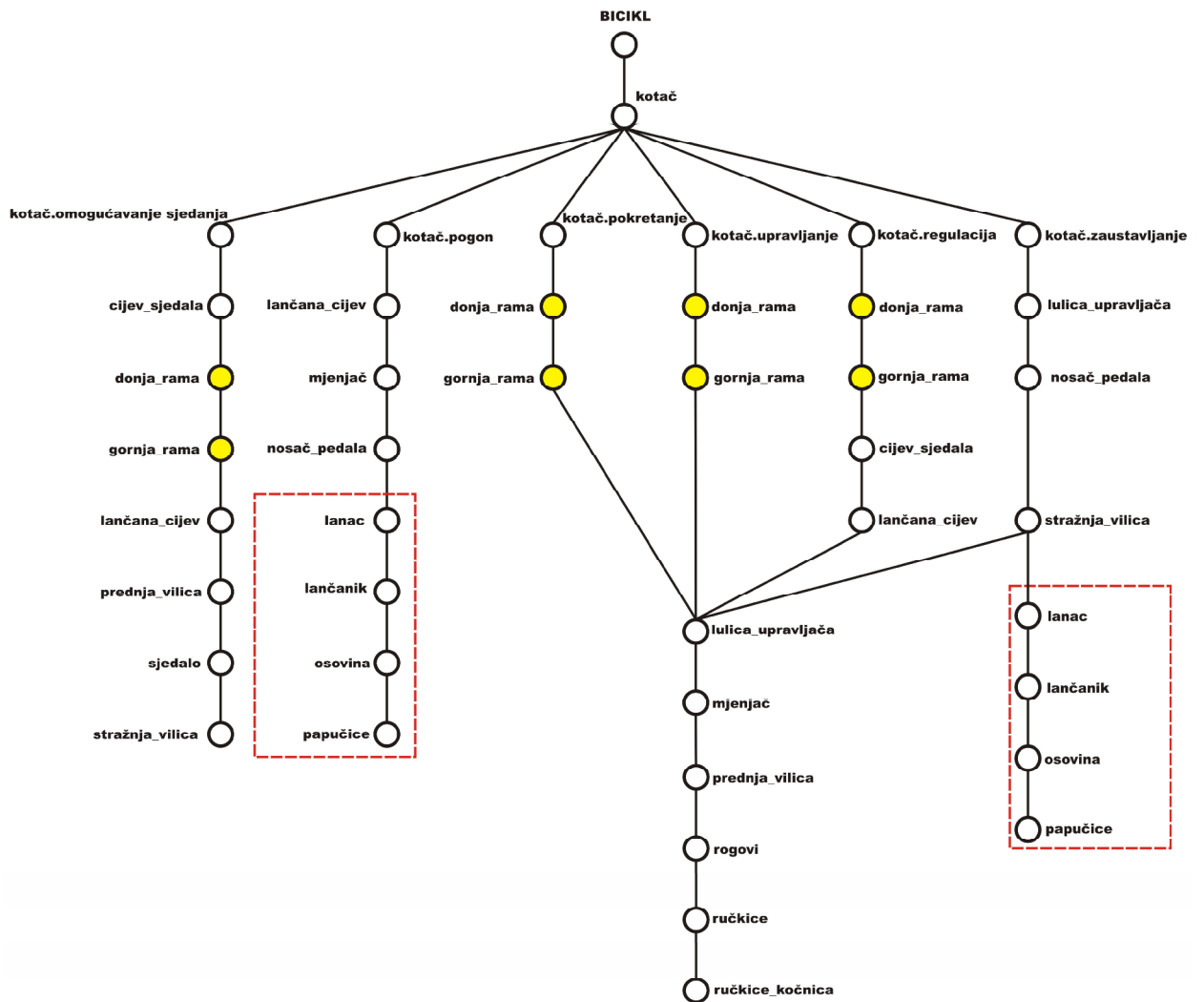




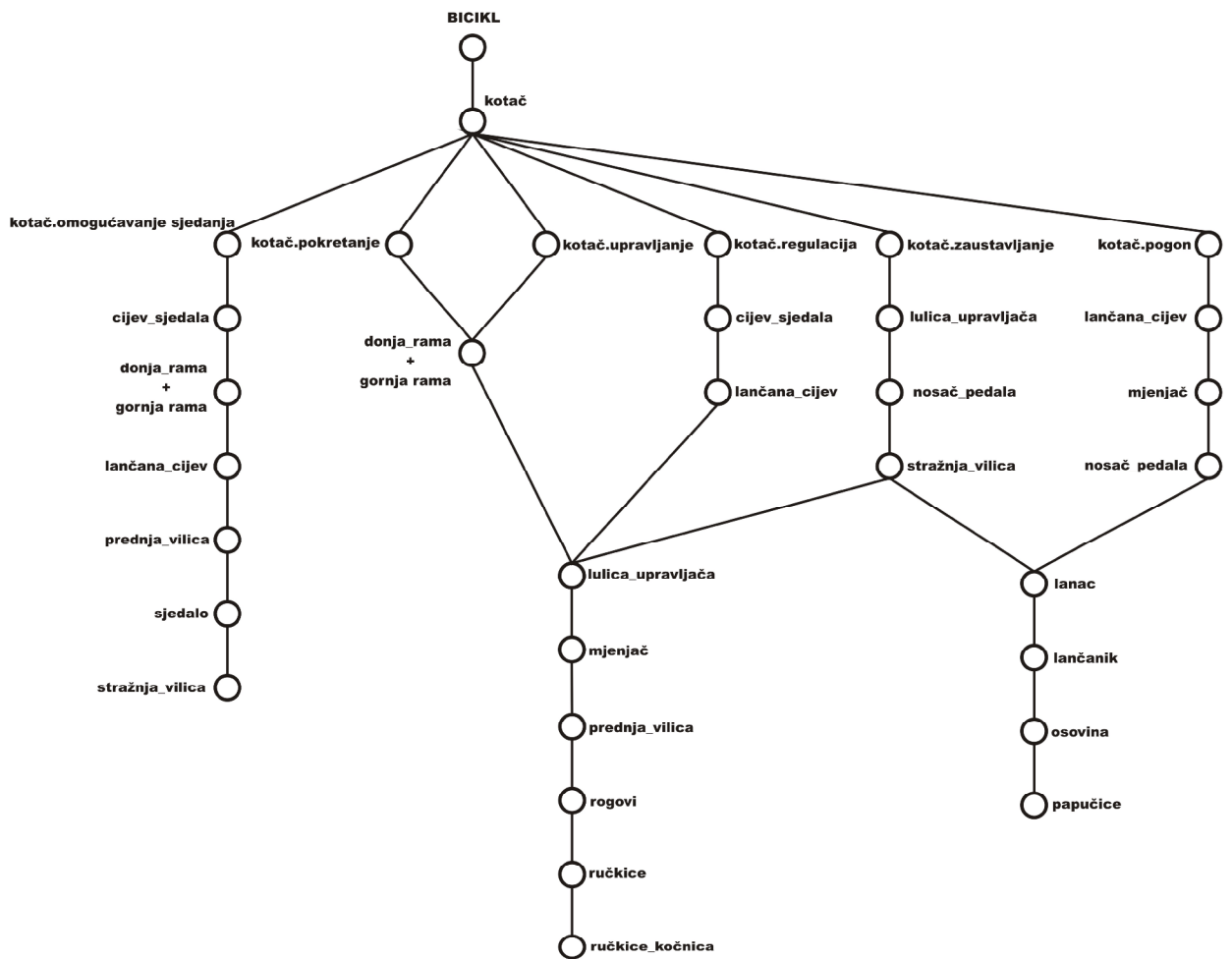
Slika 50. Identificiranje istih komponenti na stablu bicikla prema pravilu za kotač



Slika 51. Drugi korak u identificiranju istih komponenti u stablu



Slika 52. Treći korak u identificiranju istih komponenti u stablu



Slika 53. Konačno stablo bicikla prema pravilu za kotač

## 8. Primjer generiranja varijanata proizvoda

Koncept predstavlja mentalni model tehničkog sustava,<sup>23</sup> te stoga takvo rješenje proizlazi iz funkcionalne strukture proizvoda. Različita koncepcijska rješenja omogućavaju da se u procesu razvoja proizvoda nađe mjesta i za različita konstrukcijska rješenja budućeg proizvoda. Koncepcijska ili varijantna rješenja za određeni proizvod omogućavaju da se uz zadane specifikacije proizvoda omogući pretraživanje istih koncepata ili varijanata. U različitim fazama razvoja proizvoda time se otvaraju mogućnosti odabira između velikog broja rješenja koja na strukturalnoj razini opisuju proizvod.

### 8.1. Kreiranje različitih projekata za proizvod bicikl

Projekti koji opisuju proizvod za potrebe rada u programu Gramatika Proizvoda pohranjeni su u datoteke sa ekstenzijom .IDA. Kreirani projekti za proizvod bicikl prikazuju vrste bicikla koje su se pojavljivale kroz povijest ili pak neke od tipova bicikla koji su najčešće prisutni na tržištu. Za definirane projekte u nastavku poglavlja prikazan je rad u korisničkom sučelju za generiranje varijantnih rješenja.

Jedan od najjednostavnijih vrsta bicikla je dječji bicikl. Dječji bicikl prikazan na Slici 54. nema kočnica i pedala, a okvir mu je puno jednostavniji nego kod modela bicikla koji je opisan ranije u radu.

---

<sup>23</sup> Hubka, V., Andreasen, M. M., Eder, W. E.; **Practical Studies in Systematic Design**; Butterworths & Co. (Publishers) Ltd.; 1988., str. xiv

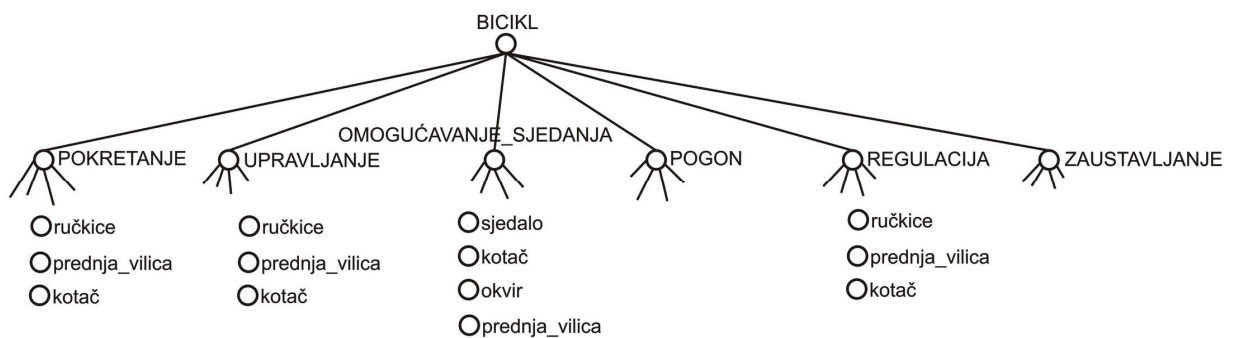


Slika 54. Konačno stablo bicikla prema pravilu za kotač

Komponente ili dijelovi bicikla za ovaj projekt i skup terminala za dječji bicikl su sljedeći:

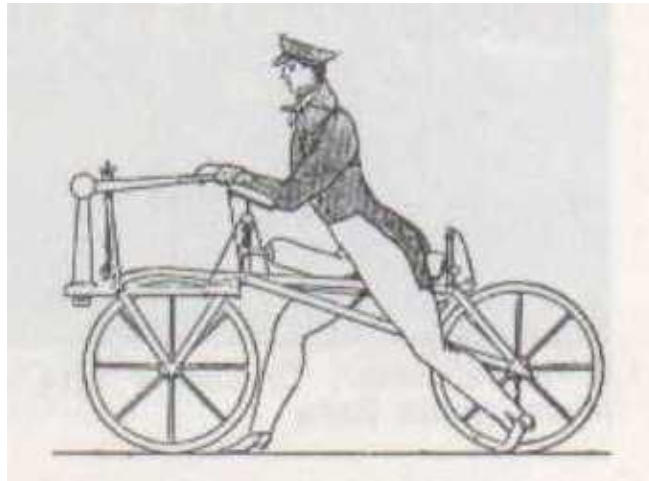
- kotač
- ručkice
- sjedalo
- prednja vilica
- okvir.

Glavna funkcija bicikla ostaje ista za sve bicikle kao i podfunkcije bicikla, no za određene varijante bicikla će se pokazati da neke podfunkcije nisu podržane preko komponenata ili dijelova bicikla, već je za ostvarivanje tih podfunkcija odgovoran korisnik, tj. čovjek u interakciji sa okolinom (tlom).



Slika 55. Stablo podfunkcija i komponenata za dječji bicikl

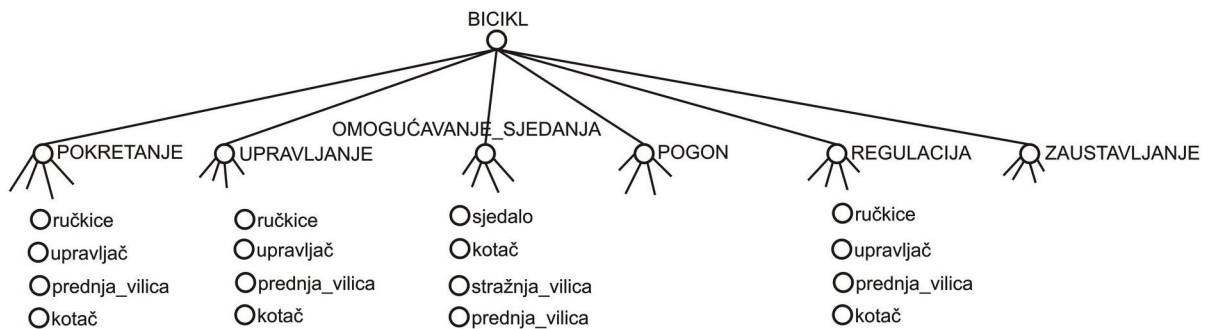
Sljedeći projekt kreira se prema postavkama za bicikl iz 1817. godine koji po mnogočemu slični dječjem biciklu. Prema svojoj konfiguraciji i strukturi bicikl iz 1817. godine nije imao pedale ni kočnice.



Slika 56. Bicikl iz 1817. godine

Dijelovi bicikla iz 1817. godine, te skup terminala za tu verziju bicikla su:

- kotač
- stražnja vilica
- sjedalo
- prednja vilica
- upravljač
- ručkice.



Slika 57. Stablo podfunkcija i komponenata za bicikl iz 1817. godine

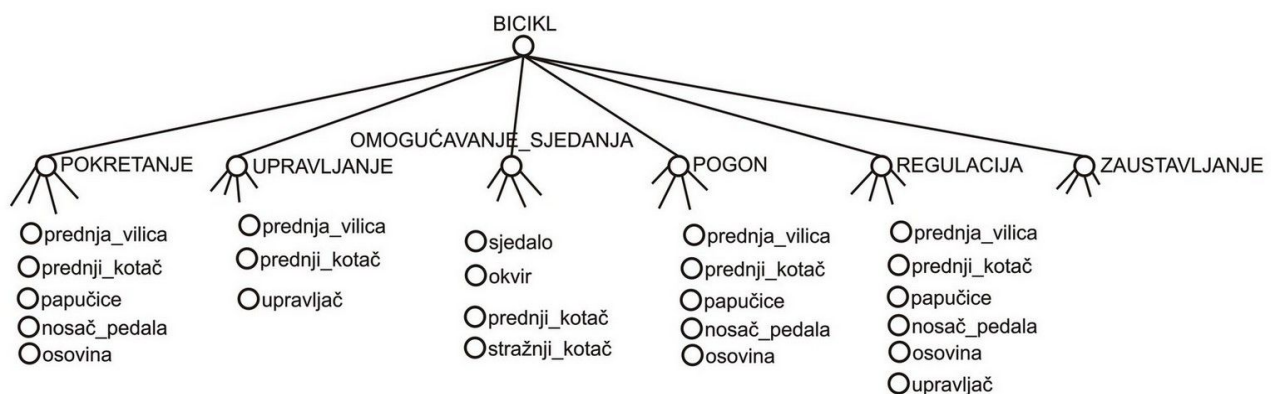
Sljedeći projekt bicikla je bicikl kod kojeg se prednji kotač razlikuje od stražnjeg zbog uvođenja pogona na pedale. Može se primijetiti da je prednji kotač znatno veći od stražnjeg, te se svojom konstrukcijom razlikuje od stražnjeg. Zbog toga će se u listi komponenata prvi puta pojaviti prednji i stražnji kotač kao različite komponente bicikla.



Slika 58. Bicikl iz 1885. godine

Komponente bicikla za treći projekt su:

- papučice
- nosač pedala
- osovina
- prednji kotač
- stražnji kotač
- okvir
- prednja vilica
- sjedalo
- upravljač.



Slika 59. Stablo podfunkcija i komponenata za bicikl iz 1885. godine



Za četvrti projekt bicikla odabran je standardni model suvremenog bicikla.



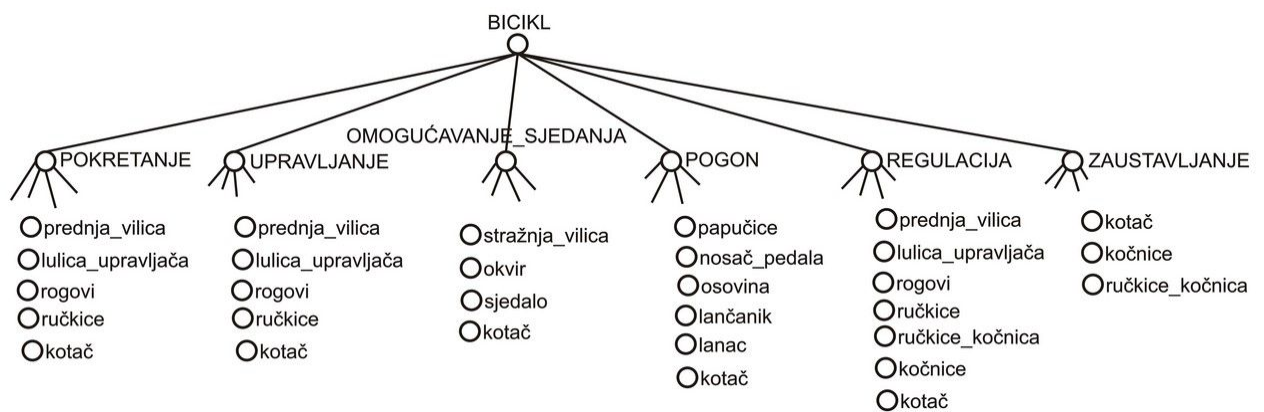
*Slika 60. Suvremeni bicikl*

Najvažnije komponente suvremenog bicikla kakav je prikazan na Slici 77. ujedno su i skup terminala, a on je sljedeći:

- papučice
- nosač pedala
- osovina
- lančanik
- lanac
- kotač
- stražnja vilica
- okvir
- sjedalo
- prednja vilica
- lulica upravljača
- rogovi
- ručkice
- ručkice kočnica
- kočnice
- blatobrani

- svjetla
- zvono.

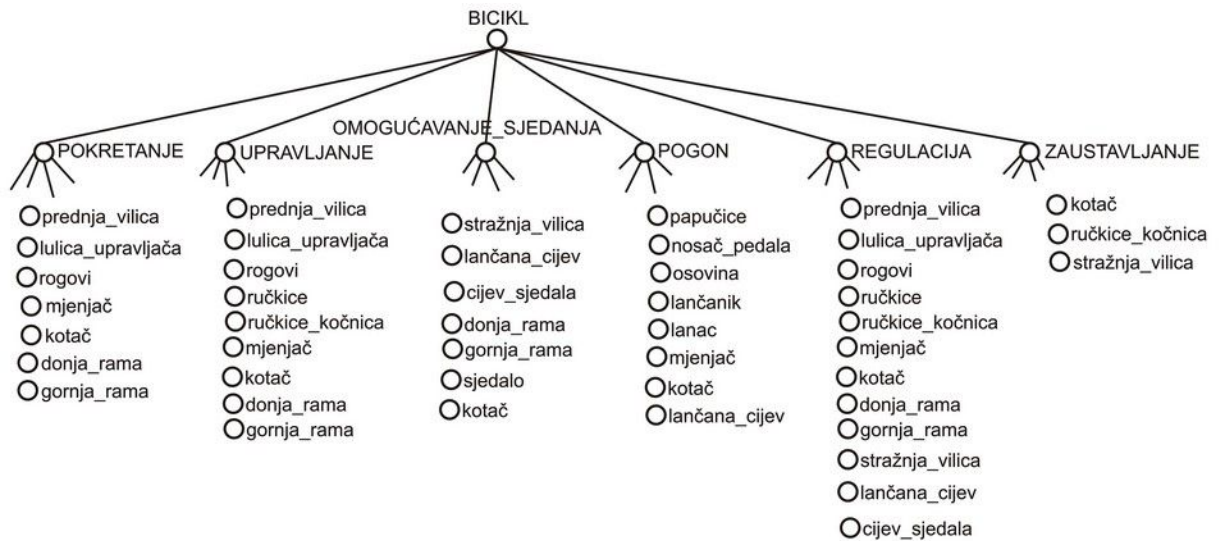
Kod ovog modela bicikla pojavljuju se kočnice dok na prijašnjim projektima nije bilo kočnica, te se podfunkcija zaustavljanja nije mogla ostvarivati. Na primjeru bicikla koji se spominje prilikom opisivanja rada u programu Gramatika Proizvoda, pretpostavljeno je da su kočnice sastavni dijelovi kotača, te nisu spominjane. Također nije spominjana niti dodatna oprema bicikla kao što su blatobrani, svjetla i zvono na biciklu.



Slika 61. Stablo podfunkcija i komponenata za suvremeni bicikl

Kako bi se varijantna rješenja razlikovala mora postojati i razlika u barem jednome od skupova koja definiraju gramatiku odnosno mora postojati razlika među kreiranim projektima proizvoda. Program generira varijantna rješenja nakon što korisnik učitava projekte proizvoda i samostalno definira neterminale, odnosno uvjete ili specifikacije proizvoda. Potrebno je da korisnik samostalno odluči koje komponente koje želi uvrstiti u rješenje bicikla kao i njihove interakcije s funkcijama bicikla.

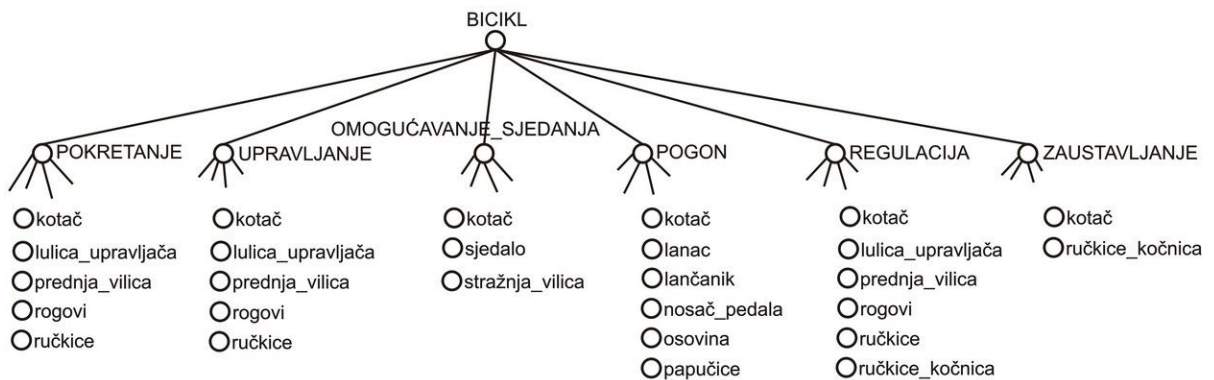
Peti projekt kreiran je prema projektu za proizvod bicikl koji je opisan u poglavlju rada koji je posvećen radu sa korisničkim sučeljem Gramatike Proizvoda, a prema funkcijskom oblikovanju bicikla.



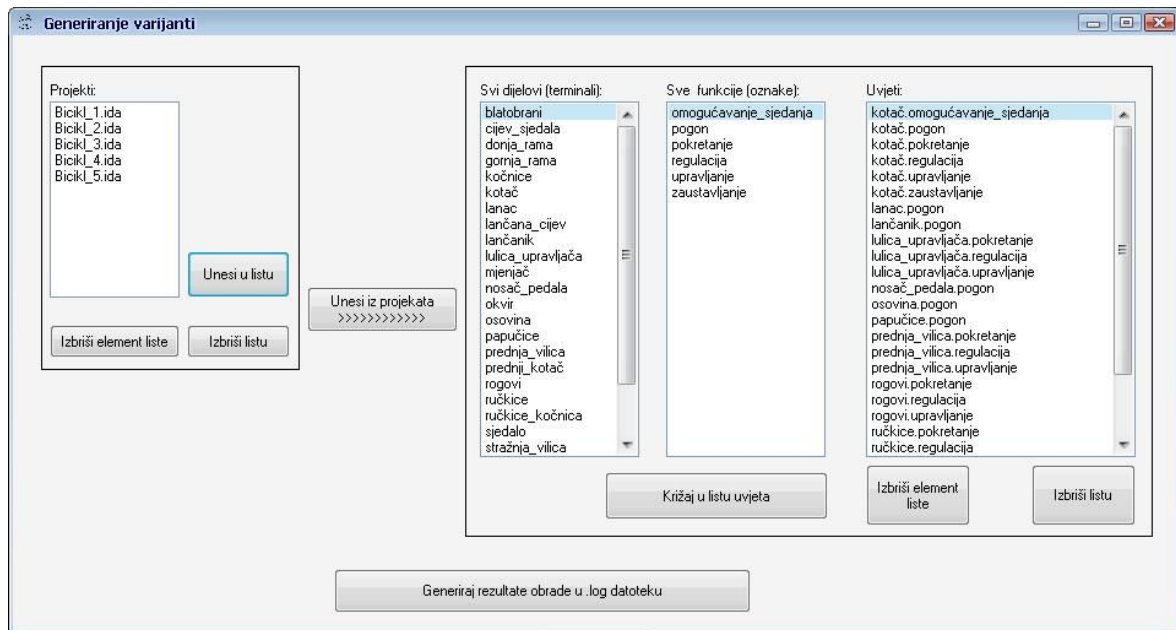
Slika 62. Stablo podfunkcija i komponenata za peti projekt

## 8.2. Varijante bicikla

U nastavku su predstavljene varijante bicikla koje su generirane potprogramom Generiranje varijanti računalnog programa Gramatika Proizvoda. U korisničko sučelje programa učitano je pet različitih projekata bicikla koji predstavljaju različita viđenja bicikla kroz povijest, ali i sa nekih konceptualnih stajališta. Sljedeći korak je definirati osnovnu strukturu proizvoda za koji je moguće ustvrditi da čini bicikl. Zapravo se radi o definiranju minimalnih specifikacija ili uvjeta koji uključuju utvrđivanje potrebnih komponenata i funkcija bicikla, te definiranje odnosa između komponenata i funkcija. Te minimalne specifikacije ili uvjeti predstavljeni su stablom koje prikazuje strukturu bicikla.



Slika 63. Osnovna struktura bicikla



Slika 64. Korisničko sučelje potprograma Generiranje varijanti

Izvešće sa informacijama o pretraživanju projekata, minimalnim specifikacijama proizvoda, te traženim varijantama proizvoda generira se u datoteku sa ekstenzijom .LOG i naziva datoteke koju daje sam korisnik. Struktura generiranog izvješća sastoji se od nekoliko bitnih elemenata. Nakon što se u datoteku zapišu osnovni podaci o samoj datoteci kao što su naziv programa kojim je generirana, upisuju se minimalne specifikacije ili uvjeti koje je naveo korisnik prije samog pretraživanja. Zatim se za svaki projekt koji zadovoljava minimalne specifikacije proizvoda ispisuje naziv projekta, te putanja do mjesta gdje je datoteka projekta pohranjena. Za svaki projekt se posebno upisuju informacije o varijantama proizvoda, tj. neterminali.

Projekti koji zadovoljavaju specifikacije proizvoda ili uvjete:	Neterminali:
Bicikl_4	kočnice.regulacija kočnice.zaustavljanje okvir.omogućavanje_sjedanja blatobrani.dodatna_funkcija_1 svjetla.dodatna_funkcija_2 zvono.dodatna_funkcija_3
Bicikl_5	cijev_sjedala.omogućavanje_sjedanja cijev_sjedala.regulacija donja_rama.omogućavanje_sjedanja donja_rama.pokretanje donja_rama.regulacija donja_rama.upravljanje gornja_rama.omogućavanje_sjedanja gornja_rama.pokretanje gornja_rama.regulacija gornja_rama.upravljanje lančana_cijev.omogućavanje_sjedanja lančana_cijev.pogon lančana_cijev.regulacija mjenjač.pogon mjenjač.pokretanje mjenjač.regulacija mjenjač.upravljanje prednja_vilica.omogućavanje_sjedanja ručkice_kočnica.upravljanje stražnja_vilica.zaustavljanje

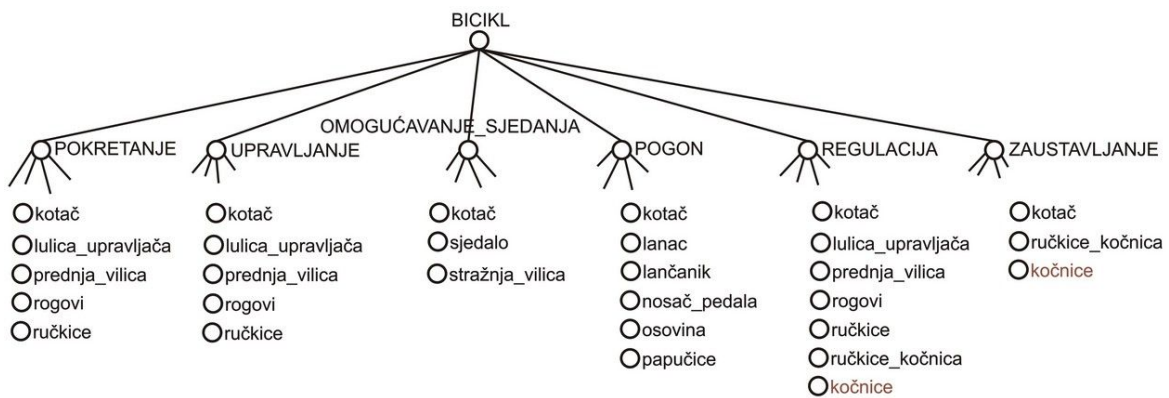
*Tablica 06. Rezultati pretrage projekata*

Varijante se sastoje od osnovne strukture bicikla, tj. specifikacija proizvoda ili uvjeta i različitih kombinacija neterminala koji su dani Tablicom 06.

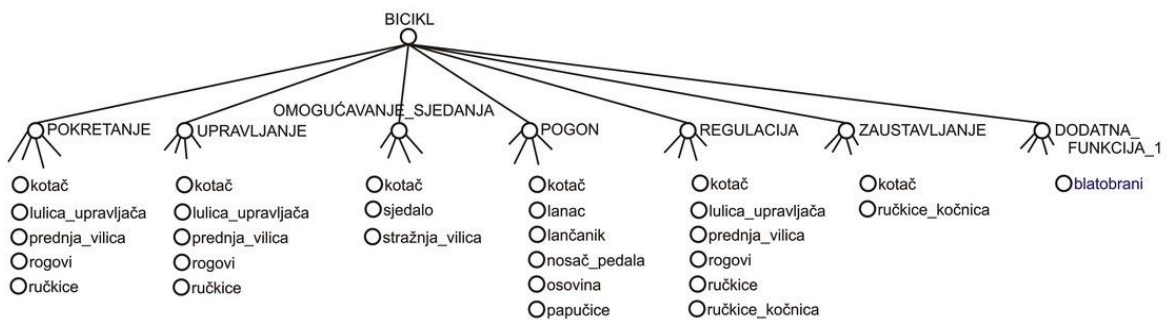
Različita varijantna rješenja uključuju sve moguće kombinacije pronađenih novih komponenata bicikla ili terminala. Te nove komponente za ovo pretraživanje su: kočnice, okvir, blatobrani, svjetla, zvono, cijev sjedala, donja rama, gornja rama, lančana cijev i mjenjač. Radi se o ukupno osam novih komponenti pronađenih pretraživanjem, te se kao broj novih mogućih varijantnih rješenja izračunava da je:

$$n = 2^8 = 32 \quad (38)$$

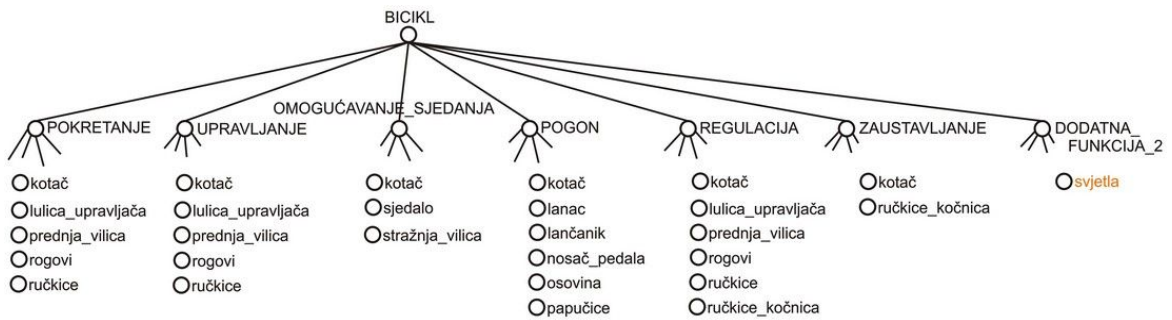
Neterminali koji se u Tablici 06. pojavljuju na zadnja tri mjesta ne mogu se smatrati dijelom novih varijantnih rješenja jer te komponente već postoje u strukturi koja je zadana kao osnovna struktura, odnosno navedena u specifikacijama ili uvjetima. Broj varijantnih rješenja je velik jer rješenja uključuju varijante od toga da uzimaju samo po jedan neterminal ili novu komponentu, sa svim kombinacijama između, do toga da uključuju sve neterminale ili komponente. U nastavku su prikazane samo neke od varijanata bicikla. Neke su varijante zanimljive jer kao rješenje uvode nove dodatne podfunkcije bicikla, a neke daju različita rješenja za realizaciju okvira bicikla.



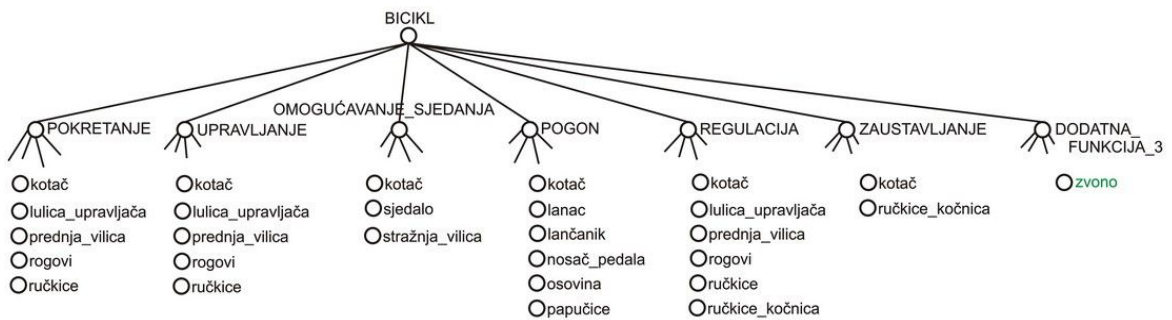
Slika 65. Varijanta bicikla sa kočnicama



Slika 66. Varijanta bicikla sa blatobranima

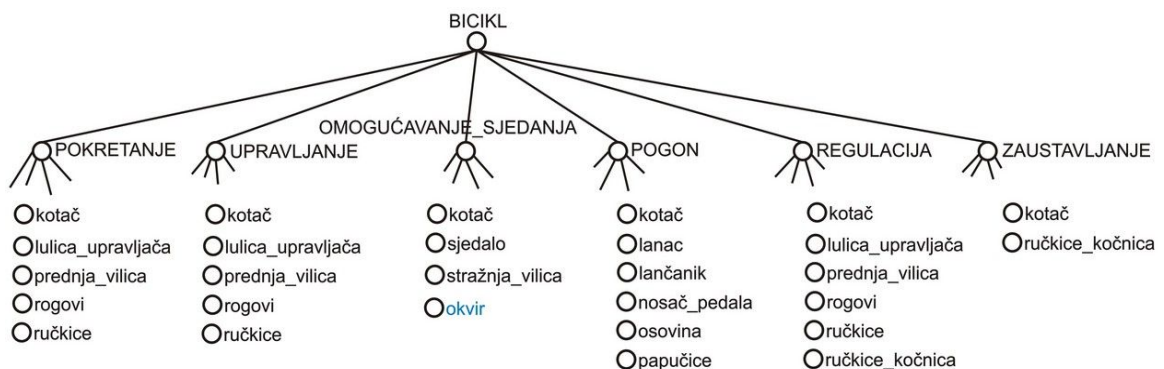


Slika 67. Varijanta bicikla sa svjetlima

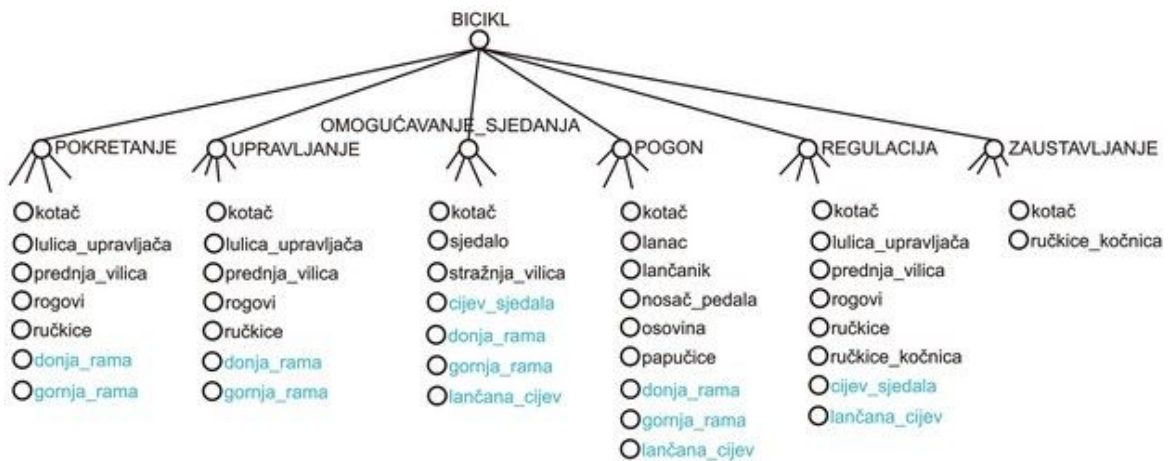


Slika 68. Varijanta bicikla sa zvonom

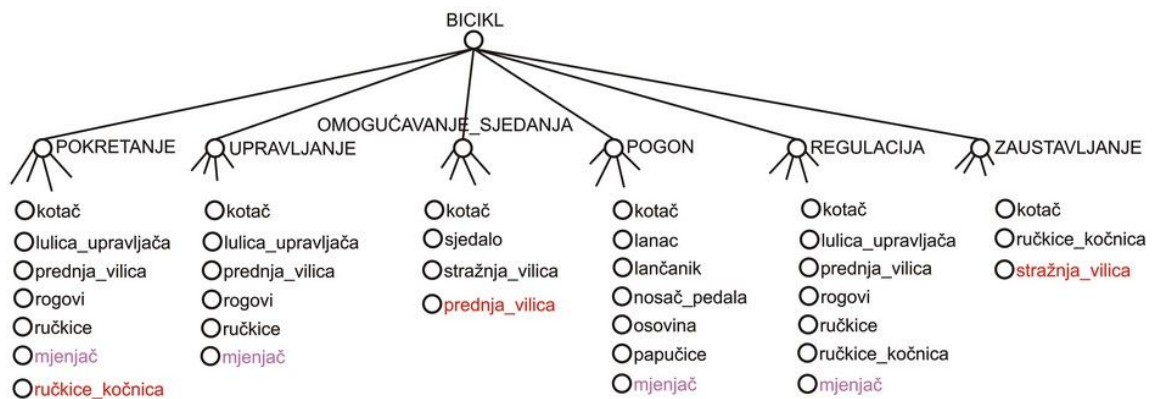
Varijante bicikla sa blatobranom, svjetlima i zvonom uvode nove podfunkcije bicikla koje su nazvane dodatnim funkcijama. Postoje kombinacije varijantnih rješenja koje uključuju i sve tri dodatne funkcije zajedno kao i kombinacije sa po dvije dodatne funkcije. Ostala varijantna rješenja uključuju te kombinacije sa ostalim terminalima.



Slika 69. Varijanta bicikla sa okvirom



Slika 70. Varijantno rješenje sa cijevi sjedala, donjom ramom, gornjom ramom i lančanom cijevi



Slika 71. Varijantno rješenje sa mjenjačem

Na slici koja prikazuje strukturu varijantnog rješenja sa mjenjačem prikazane su i tri komponente bicikla koji se već pojavljuju u osnovnoj strukturi bicikla ili specifikacijama proizvoda. Takve komponente mogu se, ali i nemoraju pojavljivati u strukturama varijantnih rješenja, jer ne daju nikakve nove informacije na razini komponenata proizvoda već prikazuju dodatne informacije na strukturalnoj razini.



## 9. Zaključak

Ovaj rad rezultat je višemjesečnog proučavanja i istraživanja formalne gramatike, gramatike oblika i gramatike proizvoda. U radu je dano teoretsko i praktično rješenje računalnog programa koji generira konceptijska rješenja proizvoda uz prethodno definirane komponente proizvoda i njegove podfunkcije i grafički ih prikazuje pomoću pravila gramatike.

Temeljne teoretske postavke rada sadržane su u definiciji formalne gramatike i jezika, a koja je uobličena pomoću teorije skupova, te potkrijepljena matematičkom logikom i rječnikom informatike. Kao temeljna nit vodilja ovog rada uzima se definicija (27) koja daje jasnu i preciznu definiciju gramatike. Ta definicija proizlazi iz definicije jezične gramatike u lingvistici. Gramatika je skup pravila kojima se opisuje i definira jezik. To je način slaganja rečenica unutar zadanog vokabulara.

Prema gramatici proizvoda treba se odnositi kao što se jezična gramatika odnosi na jezik. U radu je naglasak na definiranju pravila koja su definirana gramatikom proizvoda, a opisuju konceptijska rješenja proizvoda. Pravilima se dakle utvrđuje što je u jeziku, a što nije u jeziku proizvoda. Pravila predstavljaju način na koji je moguće formalizirati znanje o proizvodu na razini njegovih komponenti.

U radu je opisan novi program Gramatika Proizvoda razvijen za potrebe ovog rada. Radi se o računalnom programu za generiranje gramatike proizvoda na nivou komponenata proizvoda. Korisničko sučelje programa prilagođeno je za upis komponenata proizvoda i njegovih podfunkcija, te još nekih postavka koje omogućavaju da program generira gramatiku proizvoda. Gramatika proizvoda prikazana je na grafički specifičan način, te je iz takvog prikaza moguće pregledati pravila. Time je izbjegnuto direktno upisivanje pravila u programu. Program može poslužiti kao dio sustava za stvaranje novih varijantnih rješenja proizvoda i osim bicikla moguće je napraviti prikaze gramatike i za druge proizvode uz uvjet da se prethodno provede funkcionalna analiza proizvoda. Rad u programu ilustriran je na primjeru bicikla, te je na primjeru troje odabranih komponenata prikazano kako se oblikuje struktura proizvoda u obliku stabla uz uključenu standardizaciju i

apstrakciju dijelova, te zamjenu čvorova. Taj dio rada napravljen je ručno, bez intervencije programa, te stoga postoji ideja da se i taj dio gramatike proizvoda izvodi putem računalnog programa. Poboljšanja bi se mogla napraviti na dijelu programa koji se tiče samog grafičkog prikazivanja gramatike, jer se kod proizvoda sa većim brojem dijelova i podfunkcija radi i o većem broju potrebnih „sličica” na kojima se iscrtava gramatika u programu. Iako se nastojalo da rad u programu bude pojednostavljen za korisnika koliko je to moguće, ipak je na korisniku da prije upotrebe programa provede analizu proizvoda i identificira komponente i funkcije proizvoda.

Generiranje varijanti može se smatrati potprogramom Gramatike Proizvoda. Generiranje varijantnih rješenja zapravo se svodi na pretraživanje projekata kreiranih za potrebe ponovnog učitavanja, izmjena i spremanja različitih proizvoda u programu. Za daljnji rad na području generiranja varijantnih rješenja potrebno je razmotriti mogućnosti prezentacije varijanti, kao i metoda odabira varijanti. Za te potrebe mogu se upotrebljavati razni upiti koji bi identificirali tražene varijante na temelju nekih kvantitativnih ili kvalitativnih svojstava pojedinih varijantnih rješenja. Primjerice, upit bi mogao uključivati informacije o broju komponenti ili podfunkcija proizvoda.

U radu je dan potpun pregled računalnog programa Gramatika Proizvoda, kao i njegovog potprograma Generiranje varijanti. Rad u programu ilustriran je primjerima za zadani proizvod bicikl.

## 10. Popis korištenih računalnih programa

U diplomskom radu korišteni su sljedeći softverski paketi i programi:

- Microsoft Visual Studio 2008 (Visual Basic 2008)
- Corel Draw X3

U radu su korišteni i besplatni softverski programi:

- Gadwin PrintScreen 4.3
- Help Maker 7.3.10
- Fast Stone Image Viewer for Windows 3.4

## 11. Literatura i popis web-izvora

- [I] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.-H.; **Engineering design – A Systematic Approach**, Third edition; London: Springer-Verlag; 2007.
- [II] Hubka, V., Andreasen, M. M., Eder, W. E.; **Practical Studies in Systematic Design**; Butterworths & Co. (Publishers) Ltd.; 1988.
- [III] Marjanović, D., Štorga, M.; **Informacijski modeli proizvoda**, predavanja; Zagreb: Katedra za konstruiranje Fakulteta strojarstva i brodogradnje; 2006./2007.
- [IV] Otto, K. N., Wood, K. L.; **Product Design – Techniques in Reverse Engineering and New Product Development**; New Jersey: Prentice Hall; 2001.
- [V] Andreasen, M.M., Hein, L.; **Integrated Product Development**; IFS Publications Ltd.; London: Springer-Verlag; 1987.
- [VI] Klaić, B.; **Veliki rječnik stranih riječi**; Zagreb: Zora; 1974., str. 469.
- [VII] Šentija, J. eds.; **Opća enciklopedija**; Zagreb: Jugoslavenski leksikografski zavod; 1977., str. 243.
- [VIII] Gibbon, D.; **Introduction to Computational Phonology AMU English Department, Poznan 1-3 December 1997**. [Internet], <raspoloživo na: <http://coral.lili.uni-bielefeld.de/Classes/Winter97/IntroCompPhon/compophon/compophon.html>>, [pristupljeno 30.09.2008.]
- [IX] Chomsky, N.; **Knowledge of Language: its nature, origin and use**; Westport; London : Praeger; 1986.
- [X] Chomsky, N.; **Syntactic Structures**, Second Edition; Berlin: Mouton and Co., The Hague; 2002.
- [XI] Mihaljević, M.; **Generativna sintaksa i semantika**; Zagreb: Hrvatsko filološko društvo; 1998.
- [XII] Kiš, M.; **Englesko-hrvatski i hrvatsko-engleski informatički rječnik**; Zagreb: Naklada Ljevak; 2000., str. 399.

- [XIII] Jiang, T. et al.; **Formal Grammars and Languages**; [Internet], <raspoloživo na: <http://www.cs.ucr.edu/~jiang/cs215/tao-new.pdf>>, [pristupljeno 02.09.2008.].
- [XIV] Dovedan, Z.; **Formalni jezici – sintaksna analiza**; Zavod za informacijske studije Odsjeka za informacijske znanosti Filozofskog fakulteta u Zagrebu; Zagreb: Inter; 2003.
- [XV] Stiny, G.; **Two exercises in formal composition**, Environment and Planning B: Planning and Design, 3; 1976., str. 187.-210.
- [XVI] Knight, T.W.; **Shape grammars in education and practice: History and prospects**; [Internet], <raspoloživo na: <http://www.mit.edu/~tknight/IJDC>>, [pregledano 24.09.2008.]
- [XVII] Stiny, G.; **Kindergarten grammars: Designing with Froebel's building gifts**; Environment and Planning B: Planning and Design, 3; 1980., str. 409.-462.
- [XVIII] Stiny G., Gips J.; **Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture**; Freiman, C.V. ed., North Holland; Amsterdam: Information Processing, 71; 1972., str. 1460-1465; [Internet], <raspoloživo na: <http://www.shapegrammar.org/ifip/ifip1.html>>, [pristupljeno 24.09.2008.].
- [XIX] Wells, A.B.; **Grammars for Engineering Design**; Pasadena, California: California Institute of Technology; 1994.
- [XX] Aragwal, M., Cagan, J.; **On the use of shape grammars as expert systems for geometry-based engineering design**; Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 14; Cambridge University Press; 2000., str. 431.–439.
- [XXI] Gero, J.S., Louis, S.J., Kundu, S.; **Evolutionary Learning of Novel Grammars for Design Improvement**; Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 8(3); 1994., str. 83.–94.
- [XXII] Gero, J.S., Louis, S.J.; **Improving Pareto Designs Using Genetic Algorithms**; Microcomputers in Civil Engineering, 10(4); 1995., str. 241.–249.

- [XXIII] Speller, T.H., Whitney, D., Crawley, E.; **Using Shape Grammar to Derive Cellular Automata Rule Patterns**; Cambridge: Massachusetts Institute of Technology; 2007.
- [XXIV] Yaner, P.W.; **From Shape to Function: Acquisition of Teleological Models from Design Drawings by Compositional Analogy**; College of Computing Georgia Institute of Technology; 2007.

## **POPIS PRILOGA**

Uz diplomski rad priložen je CD na kojem se nalaze praktični dio rada zajedno sa potrebnim datotekama, slike, tekstualne datoteke, besplatni pomoćni programi korišteni u radu, te literatura u digitalnom obliku.

Filename: Ida Midzic - Diplomski rad.doc  
Directory: D:\Ida's Documents  
Template: C:\Documents and Settings\Ida\Application  
Data\Microsoft\Templates\Normal.dot  
Title: Diplomski rad  
Subject: Diplomski rad  
Author: Ida Midžić  
Keywords:  
Comments:  
Creation Date: 30.4.2009 19:39:00  
Change Number: 109  
Last Saved On: 26.6.2009 17:06:00  
Last Saved By: Ida  
Total Editing Time: 542 Minutes  
Last Printed On: 26.6.2009 17:37:00  
As of Last Complete Printing  
Number of Pages: 102  
Number of Words: 17.117 (approx.)  
Number of Characters: 97.568 (approx.)