

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Ida Midžić

Primjena formalne gramatike u razvoju proizvoda

Zagreb, 2009.

Ovaj rad izrađen je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Katedri za konstruiranje i razvoj proizvoda pod vodstvom prof. dr. sc. Dorian Marjanovića i komentora Tina Stankovića, dipl. inž. brod., te je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2008./2009.

SADRŽAJ

SADRŽAJ	III
POPIS SLIKA	V
POPIS TABLICA	VII
1. UVOD	1
2. GRAMATIKA I JEZIK	2
2.1. FORMALNI JEZIK	2
2.2. FORMALNA GRAMATIKA	5
2.3. CHOMSKYJEVA HIJERARHIJA	7
3. ŠTO JE GRAMATIKA OBLIKA?	9
3.1. PRVI RADOVI	11
3.2. PRVE PRIMJENE U ARHITEKTURI	12
3.3. KNIGHTOV RAD NA GRAMATICI OBLIKA	17
3.4. DEFINICIJA GRAMATIKE OBLIKA	22
3.5. PRIMJER	27
4. GRAMATIKA PROIZVODA	35
4.1. KREIRANJE STABLO-STRUKTURE	36
4.2. DEFINIRANJE MATERIJALA I PROCESA IZRADE DIJELOVA	36
4.3. DEFINIRANJE SPOJEVA	36
4.4. DEFINIRANJE FUNKCIJA PODSKLOPOVA	36
4.5. DEFINIRANJE FIZIČKIH VELIČINA	36
4.6. PARAMETARSKO OBLIKOVANJE	37
4.7. VARIJANTE	37
4.8. ZAMJENE DIJELOVA STABLA	37
4.9. PROŠIRENJE SKUPA MOGUĆIH RJEŠENJA	37
4.10. UVOĐENJE ALGORITMA PRETRAŽIVANJA	37
5. PRIMJENA GRAMATIKE PROIZVODA U INŽENJERSTVU	38
5.1. GENERIRANJE KONCEPATA	38
5.2. TRANSFORMACIJE I OPERACIJE NAD ELEMENTIMA GRAMATIKE	39
5.3. PRIMJER GRAMATIKE PROIZVODA	41
6. GRAMATIKA PROIZVODA NA PRIMJERU BICIKLA	48
6.1. FUNKCIJSKA ANALIZA PROIZVODA	48

6.2.	KONSTRUIRANJE PRVOG STABLA PROIZVODA	50
6.3.	DEFINIRANJE SKUPOVA	52
6.4.	RAČUNALNI PROGRAM GRAMATIKA PROIZVODA	55
6.5.	CRTANJE KONAČNE STRUKTURE STABLA BIKIKLA	62
7.	ZAKLJUČAK	71
8.	LITERATURA I WEB-IZVORI	73
	SAŽETAK RADA	77
	SUMMARY	78

POPIS SLIKA

Slika 01.	Inicijalni (početni oblik).....	11
Slika 02.	Oblikovno pravilo	11
Slika 03.	Oblikovanje u jeziku pomoću Froebelovih blokova (Knight, 2000.)	12
Slika 04.	Gramatika oblika kuće J. L. Wrighta (Knight, 2000.).....	13
Slika 05.	Korisničko sučelje računalnog programa za gramatiku Sazine kuće.....	14
Slika 06.	2D interpreter gramatike oblika Marka Tapie za tlocrt (Tapia, 1999.)	15
Slika 07.	Vokabular gramatike (oblik)	17
Slika 08.	Prostorna relacija (oblik+pravilo)	17
Slika 09.	Pravilo zbrajanja.....	18
Slika 10.	Pravilo oduzimanja prema Knightovoj gramatici oblika (Knight, 2000.).....	18
Slika 11.	Šesnaest kombinacija dizajna prema Knightovom programu (Knight, 2000.)	19
Slika 12.	Inicijalni (početni oblik).....	19
Slika 13.	Oblikovno pravilo	19
Slika 14.	Generiran dizajn u jeziku i boji	20
Slika 15.	Generiranje dizajna utemeljenog na gramatici boja (Knight, 2000.)	20
Slika 16.	Varijacije oblika za 3. rješenje Knightovog programa.....	21
Slika 17.	Primjeri oblika koji se mogu koristiti u oblikovanju.....	27
Slika 18.	Prikaz koraka pri generiranju novih konstrukcijskih rješenja	27
Slika 19.	Inicijalni model za učenje.....	28
Slika 20.	Model grede.....	28
Slika 21.	Terminalni oblik.....	29
Slika 22.	Oznaka.....	29
Slika 23.	Skup nastao Kleenovom operacijom nad skupom terminala	30
Slika 24.	Skup nastao Kleenovom operacijom nad skupom terminala bez prvog člana	30
Slika 25.	Prvo pravilo	30
Slika 26.	Drugo pravilo	31
Slika 27.	Inicijalni oblik	31
Slika 28.	Konačni izgled grede.....	32
Slika 29.	Stablo koje opisuje jezik grede.....	32
Slika 30.	Skup neterminala za gramatiku grede	32

Slika 31.	Treće pravilo	33
Slika 32.	Visoka greda.....	33
Slika 33.	Četvrto pravilo.....	33
Slika 34.	Peto pravilo	34
Slika 35.	Struktura i pravila oblikovanja za aparat za kavu (Prats; Earl, 2006.).....	38
Slika 36.	Razvoj konceptualnih rješenja za aparat za kavu (Prats; Earl, 2006.)	38
Slika 37.	Prikaz prostora stanja konstrukcijskih rješenja (Prats; Earl, 2006.).....	39
Slika 38.	Moguće operacije nad 2D oblicima (Chase, 1996.).....	40
Slika 39.	3D oblici i operacije među njima: suma, produkt, razlike i unija (Stouffs; Krishnamurti, n.d.)	40
Slika 40.	Pravila za zadavanje definicije vertikalnih i horizontalnih greda (Geyer, 2007.).....	41
Slika 41.	Generiranje rješenja od jednog do dva sjedeća mjesta (Chin, 2004.)	42
Slika 42.	Generiranje prostora rješenja za jednog do četiri sjedeća mjesta (Chin, 2004.)	42
Slika 43.	Jednostavna sintaksa automobila u obliku stabla sa dvije grane.....	42
Slika 44.	Jednostavna sintaksa automobila, dvije grane stabla, tri razine	43
Slika 45.	Prikaz sintakse sjedala u stablu	43
Slika 46.	Sintaksa nakon zamjene čvorova	45
Slika 47.	3D Catia model sklopa sjedala	46
Slika 48.	3D Catia model sklopa sjedala sa rotirajućim vratima.....	46
Slika 49.	<i>Blackbox</i> pristup	48
Slika 50.	<i>Blackbox</i> bicikla i glavne podfunkcije bicikla	49
Slika 51.	Model za slaganje stabla proizvod – funkcije – komponente	50
Slika 52.	Gotovo stablo funkcija i komponentata spremno za slaganje gramatike	52
Slika 53.	Unos terminala u korisničkom sučelju programa.....	56
Slika 54.	Unos oznaka u korisničkom sučelju programa	57
Slika 55.	Unos neterminala u korisničkom sučelju programa	57
Slika 56.	Odabiranje inicijalnog elementa u korisničkom sučelju programa.....	58
Slika 57.	Crtanje „zrakastog” prikaza cijele gramatike proizvoda.....	58
Slika 58.	Crtanje „lančanog” prikaza cijele gramatike proizvoda.....	59
Slika 59.	Gramatika proizvoda za inicijalni element – kotač, prva stranica	61
Slika 60.	Gramatika proizvoda za inicijalni element – kotač, druga stranica	62
Slika 61.	Gramatika bicikla za odabrani element cijev sjedala	63

Slika 62. Nesređeno stablo bicikla prema komponenti cijevi sjedala	63
Slika 63. Sređeno stablo bicikla prema komponenti cijevi sjedala	64
Slika 64. Gramatika bicikla za odabrani element lančanu cijev	65
Slika 65. Nesređeno stablo bicikla prema komponenti lančane cijevi	65
Slika 66. Sređeno stablo bicikla prema komponenti lančane cijevi	66
Slika 67. Identificiranje istih komponenti na stablu bicikla za inicijalni element kotač	67
Slika 68. Drugi korak u identificiranju istih komponenti u stablu	68
Slika 69. Treći korak u identificiranju istih komponenti u stablu	69
Slika 70. Konačno stablo bicikla za inicijalni element kotač	70

POPIS TABLICA

Tablica 01. Definicija gramatike, objašnjenje oznaka	6
Tablica 02. Pravilo za translaciju trokuta udesno (Tapia; Duarte, 1999.)	10
Tablica 03. Definicija gramatike oblika, objašnjenje oznaka	23
Tablica 04. Dijagram (ili stablo) funkcija – 3 nivoa : prvi nivo je proces, drugi su glavne funkcije, treći su podfunkcije	52
Tablica 05. Dijagram (ili stablo) komponenata (dijelova) – 3 nivoa: prvi nivo je proizvod, drugi su podsustavi, treći je komponente (ili dijelovi) bicikla	52
Tablica 06. Ujedinjena tablica komponenti i funkcija	53

1. Uvod

Kada je profesor George Stiny sa MIT sveučilišta krajem 70-tih, te početkom 80-tih godina prošlog stoljeća predstavio sasvim novu ideju gramatike oblika (*eng. shape grammars*), cijeli svijet arhitektonskih znanosti ostao je opčinjen idejom. Ubrzo su uslijedile građevine koje su nastale na tom principu od kojih su neke ostale i danas poznate po svom jedinstvenom dizajnu i izgledu. Metodu gramatike oblika prihvatili su u arhitektonskim krugovima, te ju je profesor Stiny nastavio razrađivati skupa sa kolegom profesorom Jamesom Gipsom. Doduše, njihov rad na gramatici oblika više je teoretske prirode.

Cijela ideja gramatike oblika svodi se na pretpostavku da je kombinacijom oblika i pravila moguće definirati beskonačan niz novih oblika i njihovih značajki čiji je krajnji ishod sasvim nova konstrukcija ili skupina različitih konstrukcijskih rješenja. Takva ideja istovjetna je načinu na koji gramatika u jeziku može formirati beskonačan niz različitih rečenica.

Primjena ove metode u strojarstvu i srodnim djelatnostima vidljiva je tek u posljednjih desetak godina i to na području razvoja proizvoda, te CAD sustavima. Doduše, radi se tek o nekoliko slučajeva koji su uglavnom dali pozitivne rezultate. U svrhu poboljšavanja procesa oblikovanja proizvoda i otkrivanja novih načina za generiranjem novih i poboljšanih rješenja konstrukcija, u ovom radu razmatraju se karakteristike i svojstva gramatike oblika, te ostalih metoda temeljenih na gramatici oblika kao što je primjerice gramatika proizvoda.

2. Gramatika i jezik

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.

2.1. Formalni jezik

Jezik u općenitom smislu smatra se konačnim ili beskonačnim skupom rečenica, od kojih je svaka konačne duljine i svaka je sastavljena od konačnog broja (skupa) elemenata (Chomsky, 2002., str. 13). S obzirom da formalni jezik može biti i beskonačni skup, način specifikacije formalnog jezika je upotreba formalne gramatike. Formalna gramatika je sama po sebi 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 Σ . 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 Σ je rječnik ili abeceda (Chomsky, 2002., str. 109) formalnog jezika L , tj. skup ili niz slova (stringova, znakova, simbola), a riječi su elementi jezika L . Skup Σ često se u literaturi označava kao Σ . Ako je najmanja strukturna jedinica jezika riječ, taj skup se naziva vokabularom ili leksikonom, a elementi jezika L su rečenice. Matematički je moguće izraziti jezik L kao neuređeni par:

$$L = \{\Sigma, N\}, \quad (1)$$

gdje je N najveći strukturni element jezika (riječ - ako jezik tvori samo jedna rečenica ili rečenica – ako je jezik sastavljen od više rečenica). Matematička teorija koja se općenito bavi proučavanjem formalnih jezika zove se teorija formalnih jezika.

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. 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).

2.1.1 Definicija 1

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

2.1.2 Definicija 2

Skupina znakova ili riječ (eng. *string*) sastavljena iz abecede Σ je konačan niz simbola Σ . 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 , ε ili Λ , a u nastavku teksta će se koristiti oznaka ε .

2.1.3 Definicija 3

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

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.

2.1.4 Definicija 4

Niz svih stringova preko abecede Σ je Σ^* , a niz svih nepraznih stringova iz abecede Σ je Σ^+ .

Σ^* je skup svih mogućih nizova znakova iz skupa Σ 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*).

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

2.1.5 Definicija 5

Za bilo koju abecedu Σ , jezik preko abecede Σ je skup ili niz stringova građenih od elemenata iz abecede Σ . Iako je abeceda konačan skup i svaka riječ je konačne duljine, jezik može imati beskonačno mnogo riječi (jer duljina riječi koje sadrži ne mora nužno imati gornju granicu).

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*).

2.1.6 Definicija 6

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

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

$$L^* = \bigcup_{i \geq 0} L^i. \quad (3)$$

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

$$L^+ = \bigcup_{i \geq 1} L^i. \quad (4)$$

Općenito govoreći, jezik L preko abecede Σ je podskup od Σ^* . No, to još nije dovoljno za definiciju nekog jezika L . Uvode se sistematične metode kojima se definiraju pravila kojima je moguće opisati jezik. Preko gramatike moguće je 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.

2.2. Formalna gramatika

„Sintaksa predstavlja izučavanje procesa i principa pomoću kojih se u pojedinačnim jezicima stvaraju rečenice. Sintaksičko istraživanje ima za cilj konstruiranje gramatike kao sredstva koje proizvodi rečenice razmatranog jezika.” (Chomsky, 2002., str. 5, vlastiti prijevod).

2.2.1 Definicija 7

Gramatika je četverac (eng. *quadruple*):

$$G = (\Sigma, V, S, P). \quad (5)$$

Tablica 01. Definicija gramatike, objašnjenje oznaka

Oznaka	Objašnjenje
Σ	Konačni neprazni skup - terminalna abeceda ili ukupni vokabular. Elementi skupa Σ 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 $\alpha \rightarrow \beta$.

Skupovi Σ 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: „ α producira β ” ili „ α zamjenjuje β ”. Produkcija je vrsta preslikavanja ili zamjene stringova. α i β predstavljaju stringove ili riječi sastavljene od simbola ili terminala iz abecede Σ i neterminala iz skupa V . α 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 $\alpha \in N^+$. β je string sastavljen od terminala i neterminala, te vrijedi $\beta \in (\Sigma \cup V)^*$, tj. $\beta \in N^*$.

2.2.2 Definicija 8

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

2.3. Chomskyjeva hijerarhija

Chomskyjeva hijerarhija definira nekoliko važnih klasa formalnih gramatika. Noam Chomsky, američki je lingvist i autor novih pogleda na strukturu jezičnih cjelina i na gramatičke sustave (transformacijska analiza, generativna gramatika). Chomskyja se smatra tvorcem teorije generativne gramatike, koja je smatrana jednim od najvećih doprinosa lingvistici XX. stoljeća.

U računarstvu, posebice u domeni programskih jezika, Chomskyjeva hijerarhija (rjeđe se koristi i termin Chomsky–Schützenbergerova hijerarhija) je klasifikacija formalnih jezika i formalnih gramatika koje generiraju formalne jezike prema njihovoj generativnoj moći. Hijerarhiju ovih gramatika (također zvanih i gramatike frazne strukture) je opisao 1956. Također je imenovana po Marcel-Paulu Schützenbergeru koji je odigrao važnu ulogu u razvoju teorije formalnih jezika.

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

$$Tip\ 3 \subset Tip\ 2 \subset Tip\ 1 \subset Tip\ 0 \quad (6)$$

Jezici navedenih gramatika nazivaju se prema tipu gramatike. Gramatika tipa 0 je gramatika bez ograničenja (eng. *unrestricted grammar*). Gramatika tipa 1 je kontekstno ovisna gramatika (eng. *context-sensitive grammar*) kod čijih produkcijskih pravila vrijedi da je $|\alpha| \leq |\beta|$. Za ovu gramatiku je dozvoljeno da postoji produkcija

$S \rightarrow \varepsilon$, s uvjetom da se S ne pojavljuje na desnoj strani pravila. Gramatika tipa 2 je kontekstno neovisna gramatika (eng. *context-free grammar*) ako vrijedi da je $|\alpha| = 1$, odnosno ako je α jednostruki neterminal. Gramatika tipa 3 je regularna gramatika (eng. *regular grammar*). Kod nje produkcije mogu imati jednu od tri sljedećih formi:

$$A \rightarrow cB, \tag{7}$$

$$A \rightarrow c \text{ i} \tag{8}$$

$$A \rightarrow \varepsilon, \tag{9}$$

gdje su A i B neterminali, a dopuštena je i relacija $A = B$, a c je terminal. Inače je pravilo da se neterminali označavaju velikim tiskanim, a terminali malim tiskanim slovima.

Kao dodatak relevantnosti u lingvistici, Chomskyjeva je hijerarhija također postala važna u računarstvu (pogotovo u konstrukciji jezičnih procesora i teoriji automata).

3. Što je gramatika oblika?

Gramatika oblika (eng. *shape grammars*) je metoda oblikovanja koja je izvorno algoritamska tehnika za kreiranje i oblikovanje formi za stvaranje novih konstrukcijskih rješenja. Slične metode su prije tridesetak godina za iste akcije koristile tekstovne ili simboličke naredbe, što je na neki način predstavljalo indirektno programiranje.

Priča oko gramatike oblika započinje 1976. i objavljivanjem Stinyjevog znanstvenog rada kojim se na dvije vježbe prikazuju dvije najvažnije karakteristike gramatike oblika – kako koristiti početni oblik za oblikovanje novih dizajnerskih rješenja, gramatike (jezika) oblikovanja ili stilova, te kako koristiti gramatiku oblika za analizu postojećih rješenja ili gramatike postojećeg dizajna. Brojna literatura koja postoji o gramatici oblika teoretskog je karaktera i samo nekolicina ilustrira moguće praktične primjene ove metode.

Gramatika oblika sastoji se od niza naredbi za upravljanje oblicima koje se sekvencijalno ispunjavaju, te se generira skup, niz ili sekvenca naredbi koje zajedno tvore stanje konačnog oblika, tj. njegov jezik i konstrukciju. Gramatika oblika istovremeno je opisna i generativnog tipa. Pravila ili naredbe gramatike oblika generiraju konstrukciju tj. konačni oblik, a sama pravila su opisi formi generiranog oblika ili konstrukcije.

„Značajke gramatika oblika orijentirane su prema olakšanom oblikovanju. Prvo, komponente gramatike oblika su oblici sami po sebi, dakle točke, pravci, površine i volumeni. Pravilima gramatike oblika generira se konačni oblik putem operatora kao što su dodavanje i oduzimanje oblika i prostorne transformacije koje su konstruktori opisuju nazivima translacija, zrcaljenje i rotacija. Ukratko, radi se o algoritmu koji upravlja prostornim koordinatama, a ne tekstualnim ili simboličkim opisima.

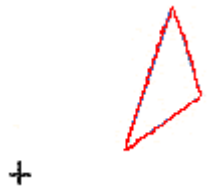
Drugo, oblici se smatraju nedjeljivima u smislu da su neatomske cjeline, te je strukturu oblika moguće rastaviti ili sastaviti po želji konstruktora. To omogućava da oblik raste, tj. sam oblik razlikuje se od gramatike ili najčešće formalne gramatike. Nastanak ili rast oblika je sposobnost prepoznavanja ili još

važnije upravljanja oblicima koji nisu prethodno opisani gramatikom nego nastaju i formiraju se od oblika ili dijelova oblika preko naredbi. Treće, gramatika oblika nedeterminističkog je tipa. To znači da korisnik sam stvara pravila i načine na koji će ih provoditi i u kojem trenutku izvršavanja programa.” (Knight, 2000.).¹

Sažeto govoreći, gramatika oblika obavlja svoju funkciju u dva koraka. Vršiti se prepoznavanje određenog oblika i određivanje mogućeg pomaka. Naredbe ili pravila su ta koja određuju čime će određeni oblik biti zamijenjen i na koji će se način zamjena ili transformacija dogoditi. Primjer jednog takvog pravila prikazan je u sljedećoj tablici.

Pravilo sadrži dva oblika, početni oblik (*Oblik 1*) i oblik kojim će on biti zamijenjen (*Oblik 2*). Crno označeni križić u lijevom donjem kutu označava referentnu točku. Ovim pravilom je moguće zamijeniti ili transformirati bilo koji trokut ili oblik sličnih svojstava koji je prepoznat kao trokut, sa istim takvim oblikom (trokutom) koji je pomaknut udesno.

Tablica 02. Pravilo za translaciju trokuta udesno (Tapia; Duarte, 1999.)²

Oblik 1	Simbolički operator translacije udesno	Oblik 2
		

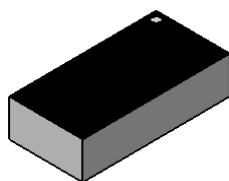
¹ http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_introduction.htm

² <http://www.shapegrammar.org/intro.html>

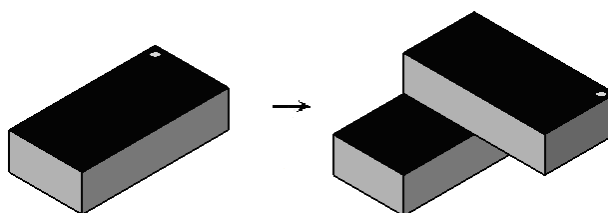
3.1. Prvi radovi

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.

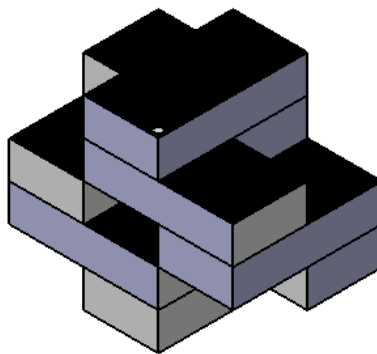
U njemu Stiny navodi da postoji analogija između metode oblikovanja Fredericka Froebela (tzv. kindergarten metoda) i oblikovanja u tadašnjim dizajnerskim studijima, te predlaže alternativu tom procesu u obliku intuitivnog načina oblikovanja, te uporabu računala. Koristi Froebelove blokove kao elemente koji na jednostavan i elegantni 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 01. Inicijalni (početni oblik)



Slika 02. Oblikovno pravilo



Slika 03. Oblikovanje u jeziku pomoću Froebelovih blokova (Knight, 2000.)³

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 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.

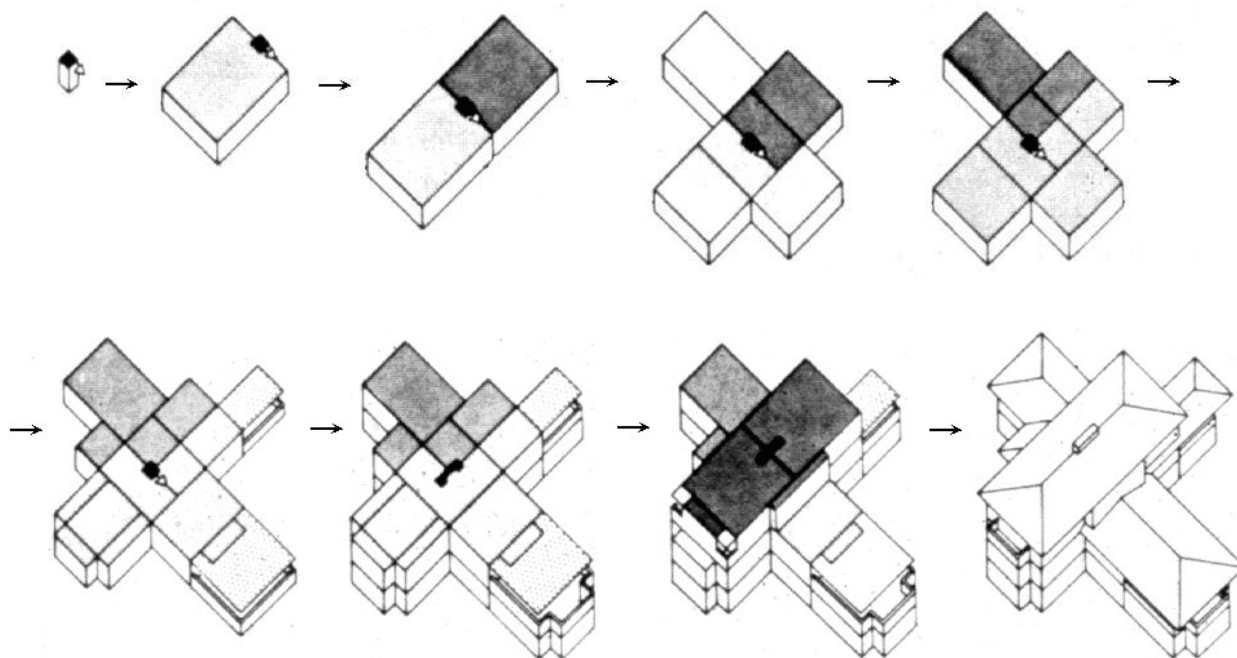
3.2. *Prve primjene u arhitekturi*

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

³ http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_history_design_sg.htm

su se mogle vizualno prikazati na papiru. Druga od tih analitičkih vježbi bio je rad koji je Stiny napisao zajedno sa W.J. Mitchellom „The Palladian grammar” koji je pokrenuo zanimanje za parametarsku gramatiku oblika (eng. *parametric grammars*). Uslijedile su gramatike oblika za arhitektonske objekte i građevine. Giuseppe Terragni, Frank Lloyd Wright, Glenn Murcutt, Christopher Wren i Irving Gill najčešće se spominju među arhitektima čija su djela (građevine) bili predmet analize metodom gramatike oblika.

Ovakva primjena gramatike oblika je trodimenzionalna arhitektonska gramatika oblika i dijelom je inspirirana Stinyjevim ranijim radom na kindergarten gramatici i utjecaju Froebelovih blokova na arhitekturu Franka Lloyd Wrighta.



Slika 04. Gramatika oblika kuće J. L. Wrighta (Knight, 2000.)⁴

⁴ http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_roles_analysis.htm

Kao ilustraciju novijih rezultata na ovom području može se spomenuti rad Josea Duartea koji je razvio gramatiku za razvoj novih kuća koje je dizajnirao portugalski arhitekt Alvaro Siza. Uz potporu arhitekta, Jose Duarte je razvio računalni program koji bi uz zadržavanje Sizinog stila uspio generirati različita arhitektonska rješenja za Sizinu kuću. Korisničko sučelje računalnog programa prikazano je na Slici 05.



Slika 05. Korisničko sučelje računalnog programa za gramatiku Sazine kuće⁵

Još jedan od zapaženijih radova na temu računalnih programa koji se služe gramatikom oblika za generiranje arhitektonskih rješenja je rad Marka Tapie.

⁵ http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_history_analysis.htm



Slika 06. 2D interpreter gramatike oblika Marka Tapie za tlocrt (Tapia, 1999.)⁶

U svom radu „Computer implementations of shape grammars” James Gips popisuje računalne programe i njihove autore koji koriste gramatiku oblika. Gips ih klasificira prema vrsti zadatka koji za koji su programi pisani i smješta u četiri osnovne kategorije. Najčešći tip zadatka koji se rješava računalnim programima je generiranje oblika ili konstrukcije iz gramatike oblika. Računalni program koji služi u tu svrhu naziva interpreterom (eng. *interpreter*). Korisnik u programu definira gramatiku i program generira moguće oblike, s tim da korisnik prvo oblikuje ili odabere oblik ili oblike u korisničkom sučelju programa i oblikuje ili odabere oblikovna pravila. Oblici i oblikovna pravila mogu biti već definirani u programu, te je korisniku ostavljeno na izbor da

⁶ http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_issues_computer.htm

selektira, tj. odabere željene oblike ili pravila, te time unutar jedinstvenog jezika definiranog u računalnom programu, stvori gramatiku za novi autonomni jezik.

Drugi tip računalnih programa je program za analizu gramatike (eng. *parsing program*). Korisnik u program učitava i zadaje gramatiku oblika (vokabular i pravila) i završni oblik ili konstrukciju. Zadatak programa je utvrditi da li je zadani oblik ili konstrukciju moguće generirati koristeći zadanu gramatiku oblika, te ako je stvara niz oblikovnih pravila kojima je moguće producirati tj. stvoriti zadani završni oblik. Ovaj tip zadatka smatra se analitičkim, tj. može se reći da se sintaktički provjerava i povezuje zadani oblik sa gramatikom.

Sljedeći tip programa je program za zaključivanje (eng. *inference program*). Zadatak programa je da na temelju zadanog skupa oblika (vokabulara) i skupa završnih oblika ili konstrukcija koji su nastali gramatikom oblika, generira gramatiku oblika, tj. oblikovna pravila, njihov redoslijed i eventualno generira nova rješenja i nove oblike na temelju te gramatike oblika.

Posljednji tip računalnog programa koji bi radio s gramatikom oblika nazvan je CAD⁷ programom. Radi se o programu koji bi imao sve značajke klasičnih CAD programa kao što su Solidworks, Catia, ProEngineer i ostali samo što bi imao uključene sofisticirane alate koji bi bili prilagođeni za gramatiku oblika. Takav računalni program imao bi prilagođene module za oblikovanje vokabulara oblika, definiranje oblikovnih pravila, odabiranje inicijalnog oblika i mnoge druge module kojima bi bile obuhvaćena svojstva svih dosad opisanih tipova računalnih programa koji koriste gramatiku oblika.

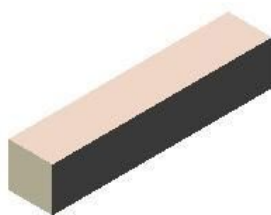
⁷ CAD – eng. Computer Aided Design – konstruiranje pomoću računala

3.3. ***Knightov rad na gramatici oblika***

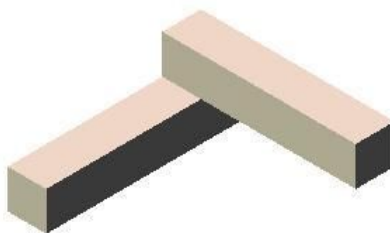
Jedan od najutjecajnijih autora koji je svoj rad temeljio na Stinyjevoj gramatici oblika je Terry W. Knight. Knight se u svojim radovima bavio i gramatikom oblika i tzv. gramatikom boja (eng. *color grammars*). Njegov pristup prigrlili su i dizajneri koji su se nešto manje bavili tehničkim aspektima konstrukcije, ali takav pristup pružao je i dobro uporište za rješenja kompleksnih i sofisticiranih konstrukcijskih problema.

Prema Knightovom programu razvoj gramatike oblika sastoji se od vokabulara oblika i prostornih relacija (eng. *spatial relations*) među njima. Relacije definiraju načine na koje se oblici mogu kombinirati. Analogijom s lingvističkim pravilima, relacije se mogu smatrati kontekstom. Teoretski, oblici i relacije mogu biti bilo kakve. U praksi radi se o ograničenjima problema koji se nastoji riješiti (primjerice ostvarivanje ekonomskih i funkcionalnih značajki) i ograničenja koje postavlja sam dizajner (stil ili koncept dizajna). Ta ograničenja omogućavaju da se generiraju oblici i relacije koji će biti najbolje rješenje problema oblikovanja.

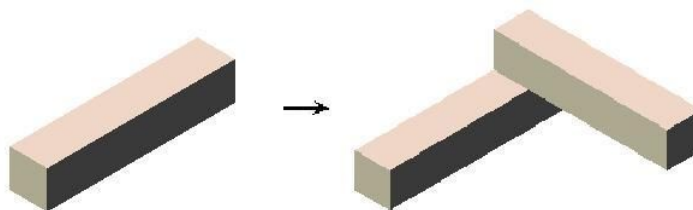
Prostorne relacije definiraju se putem pravila zbrajanja i oduzimanja. Pravila zbrajanja koriste se za definiranje osnovnih ili jednostavnih gramatika oblika (eng. *basic grammars*). Osnovna gramatika definira svaki mogući oblik ili konstrukciju uporabom jedne ili više prostornih relacija. Primjer stvaranja osnovne gramatike prikazuju sljedeće slike, a 16 mogućih kombinacija dizajna prikazane su na Slici 11.



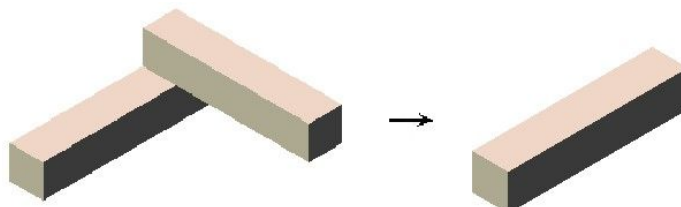
Slika 07. Vokabular gramatike (oblik)



Slika 08. Prostorna relacija (oblik+pravilo)



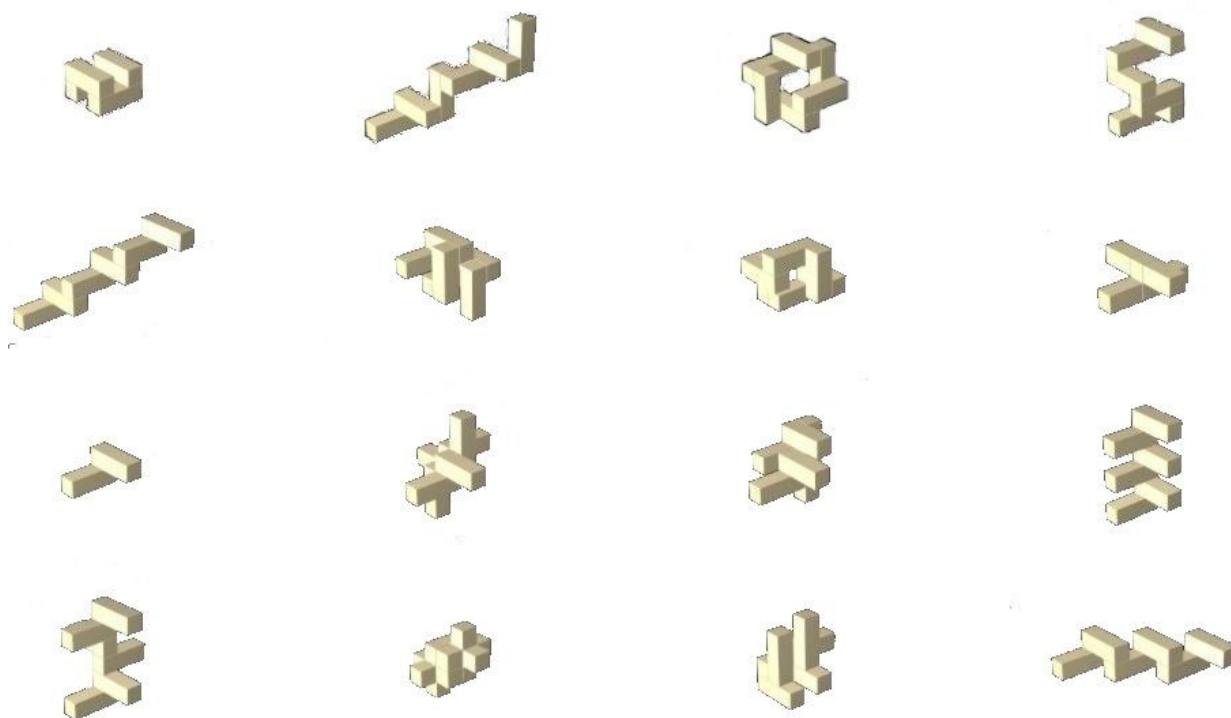
Slika 09. Pravilo zbrajanja



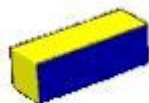
Slika 10. Pravilo oduzimanja prema Knightovoj gramatici oblika (Knight, 2000.)

Vokabular oblika prikazuje Slika 07., a prostorna relacija između dva oblika definirana je i prikazana na Slici 08. Također je uključeno i pravilo o simetričnosti ukupne forme. Pridružena su pravila zbrajanja i oduzimanja. Oblik koji je dodan pravilom zbrajanja je označen na šesnaest različitih načina što odgovara šesnaest mogućih primjena pravila. Svaka sljedeća oznaka na obliku predstavlja osnovnu gramatiku i dizajn.

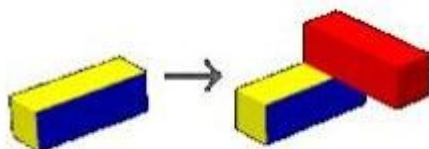
Tzv. Knightova osnovna gramatika prezentirana je tako da se linearno, korak po korak mogu pratiti etape ili razine razvoja oblika. Oblici, prostorne relacije i oblikovna pravila kontinuirano se redefinišu i stvaraju novi oblici sve dok krajnji ili završni dizajn ne zadovolji krajnji cilj razvojno dizajnerskog procesa. Zasad će se zanemariti definicija krajnjeg cilja procesa razvoja oblika jer će biti pobliže objašnjen u poglavlju gramatike proizvoda. Kada se govori o gramatici oblika ipak se smatra da je cilj procesa generiranje što većeg broja razina i kompleksnosti završnog oblika, a da su kriteriji zaustavljanja tog procesa i generiranja oblika determinirani od strane korisnika.



Slika 11. Šesnaest kombinacija dizajna prema Knightovom programu (Knight, 2000.)⁸

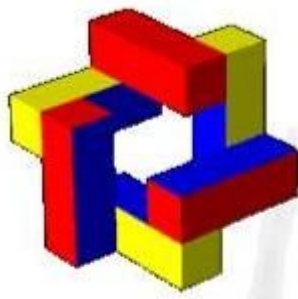


Slika 12. Inicijalni (početni oblik)



Slika 13. Oblikovno pravilo

⁸ http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_history_design_sg.htm



Slika 14. Generiran dizajn u jeziku i boji



Slika 15. Generiranje dizajna utemeljenog na gramatici boja (Knight, 2000.)⁹

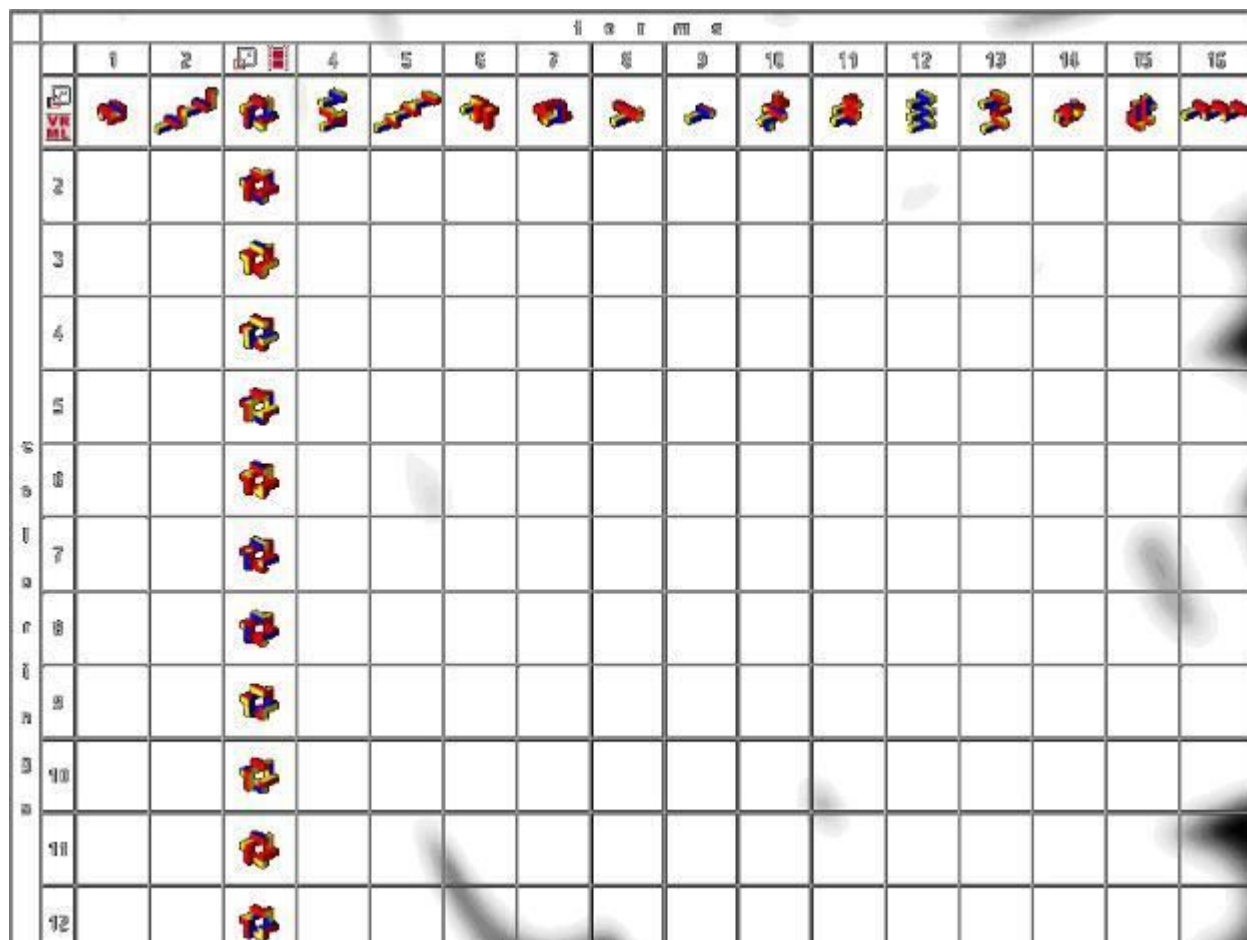
Na slikama 15. i 16. prikazani su rezultati za tzv. gramatiku boja (eng. *color grammars*) kod koje se radi o potpuno istom principu kao što su Knightovi modeli osnovne gramatike samo svaka ploha oblika sadrži još jednu značajku, a to je boja. Sada za umjesto 16 transformacija postoji 16×16 , tj. 256 mogućih prostornih transformacija. Boja kao značajka može biti materijal ili neki drugi arhitektonski elementi kao što su prozori, vrata... Radi se dakle samo o načinu prezentacije još jedne od bitnih značajki koje se mogu zadati i koristiti pri definiranju oblikovnih pravila.

Metodologija gramatike boja uključuje nekoliko faza.¹⁰ U prvoj ili konceptualnoj fazi oblikuje se veliki broj formi ili oblika prema oblikovnom pravilu na Slici 13. Inicijalni oblik i jedini element vokabulara je trodimenzionalni oblik čije su vanjske plohe označene bojom. Boja služi kao oznaka ili referenca prema kojoj je vidljivo kako se oblikovno pravilo primjenjuje u prostoru. Šesnaest prvih verzija završnih oblika ulazi

⁹ http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_history_design_cg.htm

¹⁰ http://www.mit.edu/~tknight/student_work/celani/index.html

u matricu, te se za daljnji razvoj odabire jedno od tih rješenja i dalje razrađuje. Zatim se oblikuje 16 x 16 mogućih rješenja jer toliko ima različitih mogućih kombinacija boja ploha trodimenzionalnih oblika. Uvođenjem više boja biti će i više mogućih rješenja.



Slika 16. Varijacije oblika za 3. rješenje Knightovog programa¹¹

Ostale faze su faze prilagodbe i stvaranja novog vokabulara i oblikovnih pravila, no time se već ulazi u područje optimiranja rješenja i stvaranje nove gramatike.

¹¹ http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/all_color_grammars.htm

3.4. **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 konstrukcijska 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:

$$SG = (V_T, V_M, R, I). \quad (10)$$

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, Whitneyja i Crawleya (2007.).

Tablica 03. Definicija gramatike oblika, objašnjenje oznaka

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.

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 nezavršnim 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.

$$V_T^* = \bigcup_{k \geq 0} V_T^k = \{\varepsilon\} \cup V_T \cup V_T^2 \cup V_T^3 \dots V_T^n \quad (11)$$

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:

$$u \rightarrow v. \quad (12)$$

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. svojevrzne 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.

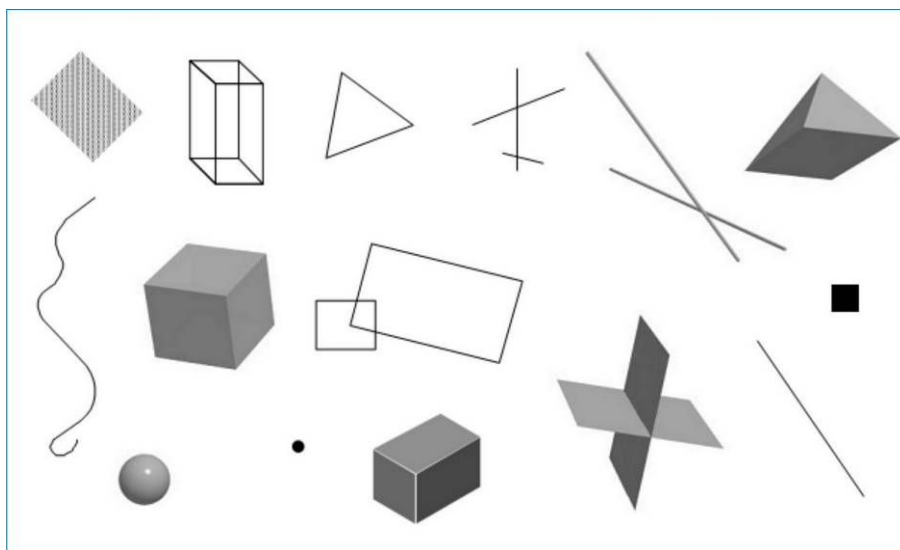
c. Ako je pravilo tipa C, dodjeljuje se razina N+1

3. Ne dodjeljuju se druge razine.

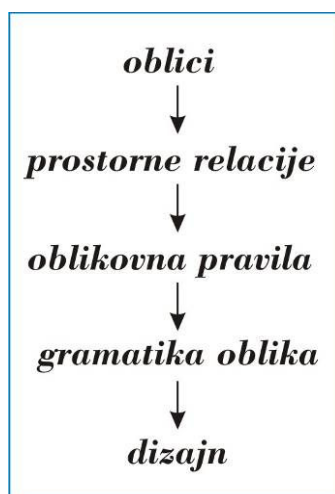
Pravilo selekcije može se koristiti kao mehanizam zaustavljanja procesa generacije oblika. Isto tako, olakšava se odabir klase ili skupa oblika sa istim željenim iznosom razine.

3.5. *Primjer*

Kako bi se što više približili primjeni u inženjerske svrhe, definiciju gramatike oblika potrebno je svesti u praktične okvire. Kada se govori o oblikovanju i konstruiranju potrebno je promatrati konačni oblik kao sklop ili sustav koji se sastoji od više dijelova – oblika. Oblici su temeljni nositelji gramatike oblika, a mogu biti točke, linije, plohe ili geometrijska tijela.



Slika 17. Primjeri oblika koji se mogu koristiti u oblikovanju
Interakcije među oblicima opisane su prostornim relacijama.



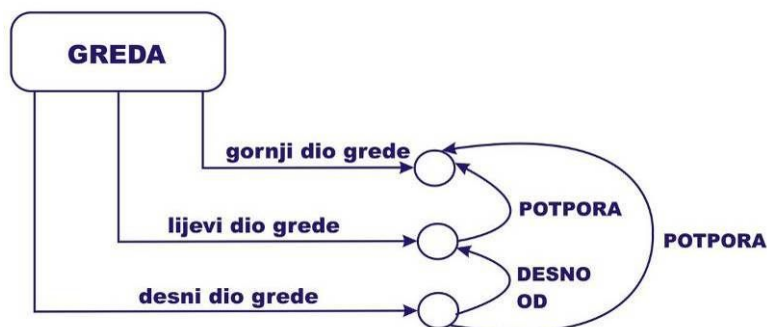
Slika 18. Prikaz koraka pri generiranju novih konstrukcijskih rješenja

Za primjer na kojemu će biti ilustrirani koraci definiranja gramatike oblika i čitavog jezika oblika izabran je zadatak koji može prethoditi zadatku prepoznavanja i strojnog učenja (Winston, 1984.). U knjizi „Artificial Intelligence” je predstavljen primjer u kojem računalu treba naučiti kako raspoznati poseban oblik objekata. Procedura bi trebala naučiti računalu da raspozna objekt koji se sastoji od dva stojeća elementa koja zajedno drže i podupiru treći koji leži na njihovim stranicama tvoreći gredni element (u daljnjem tekstu greda).



Slika 19. Inicijalni model za učenje

Serijski primjeri započinje učitavanjem prvog primjera (Slika 19.) koji je tipični element, tj. glavni ili inicijalni primjer. Iz njega se želi dobiti procedura koja učeći izvodi vrlo općenitu, generalnu ideju o tome što je greda. Procedura bi trebala naučiti da se greda sastoji od dva geometrijska tijela koja podupiru treći. Iz svakog slijedećeg primjera učenik bi trebao naučiti nešto novo. Prilikom učenja inicijalni, tj. generalni opis je prikazan informacijama koje indiciraju da su veze među elementima važan dio identifikacije objekta. Ovaj oblik prikaza informacija naziva se modelom.

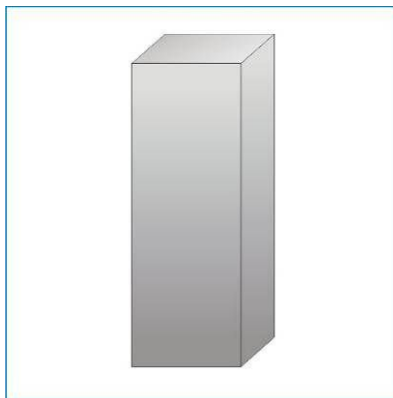


Slika 20. Model grede

Ako zanemarimo krajnji cilj induktivnog učenja koji se ilustrira u (Winston, 1984.), prikaz grede moguće je prikazati gramatikom oblika, te će u nastavku isto biti i prikazano.

Iako nalazimo dovoljno konzistentnosti među oznakama koje autori koriste za definiciju gramatike oblika, među samim definicijama V_T , V_M , R i I postoji dosta nedefiniranosti i manjak informacija o tome kako zaista izgledaju ti skupovi.

3.5.1 Definiranje skupova



Slika 21. Terminalni oblik

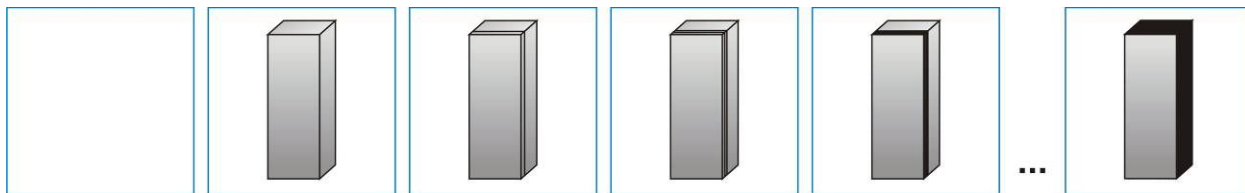
Slika 21. prikazuje sadržaj skupa konačnih oblika – terminala V_T koji se sastoji od jednog paralelopipeda. Radi jednostavnosti će se greda prikazati pomoću samo jednog tipa oblika, tj. samo jednog elementa na kojemu će se primjenjivati oblikovna pravila. Sadržaj skupa V_M je skup oznaka, u ovom slučaju oznaka na Slici 22. Funkcija ovog skupa je definirati način na koji će se izvršavati pravilo jer se radi o prostornim relacijama (Laurini, 2006.), te je oblikovno pravilo moguće provesti na više načina.



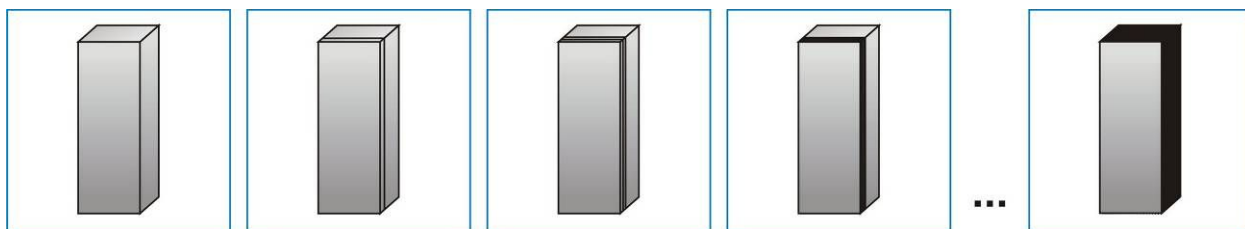
Slika 22. Oznaka

Inicijalni oblik dio je skupa I koji je prema definiciji neterminalni oblik i vrijedi da je $I \in V_M$. Doduše, skup V_M sam po sebi nema osobitu namjenu. Svrhu dobiva tek u interakciji sa skupom V_T . Autori su nejasni u pogledu definicije V_M skupa, te ga je stoga moguće definirati ovisno o vrsti oblikovnih pravila. U ovom slučaju radi se o prostornim relacijama i oznake se mogu koristiti za označavanje (eng. *label*), tj. dodatno definiranje konteksta oblikovnog pravila. Oznake mogu označavati težište, neko svojstvo oblika kao što je materijal ili masa. Bitno je jedino naglasiti da se radi o varijabli ili ekvivalentu varijable u obliku neterminala u ovom slučaju.

Kako se skup V_T zapravo sastoji od samo jednog člana, skupovi V_T^* i V_T^+ nemaju funkciju jer se u fizikalnom i informacijskom smislu radi o istom elementu sa Slike 21.



Slika 23. Skup nastao Kleenovom operacijom nad skupom terminala



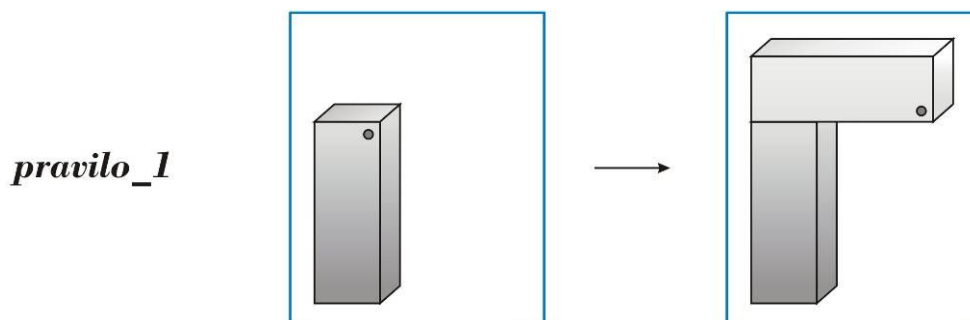
Slika 24. Skup nastao Kleenovom operacijom nad skupom terminala bez prvog člana

Vrijedi da je oblik sa Slike 21. jednak:

$$V_T = V_T^*(2) = V_T^+(1). \quad (13)$$

3.5.2 Definiranje oblikovnih pravila

Postoji nekoliko načina da se strukturira greda prikazana na Slici 19. Kombinacijom različitih pravila moguće je doći do jedno te istog rješenja.



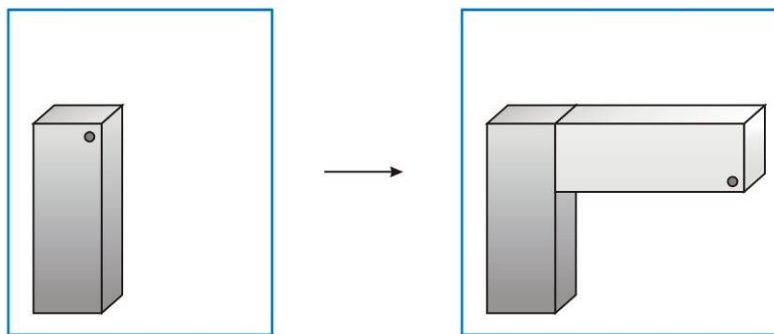
Slika 25. Prvo pravilo

Prvo pravilo je $R(1)$. Lijeva strana pravila u je inicijalni oblik I (Slika 23.), a desna strana pravila je novi oblik v . u je nastao od terminala i neterminala, odnosno

$u \in (V_T \cup V_M)^* V_M (V_T \cup V_M)^*$ ili jednostavnije uvodeći novu relaciju $N = V_T \cup V_M$, može se pisati $u \in N^+$. v je sastavljen od terminala i neterminala, te vrijedi $v \in (V_T \cup V_M)^*$, tj. $v \in N^*$.

$$R(1) \dots u_1 \rightarrow v_1 ; u_1 = I \quad (14)$$

pravilo_2



Slika 26. Drugo pravilo

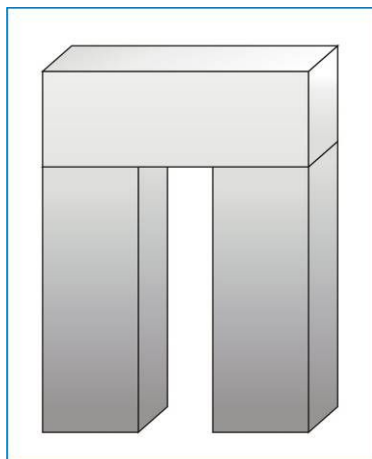
v je uvijek geometrijom i oblikom kompliciranije i složenije od u . N skup je skup elemenata sastavljenih od terminala i neterminala, odnosno unijom terminala i neterminala. Inicijalni oblik I neterminalni je element nastao iz N skupa.



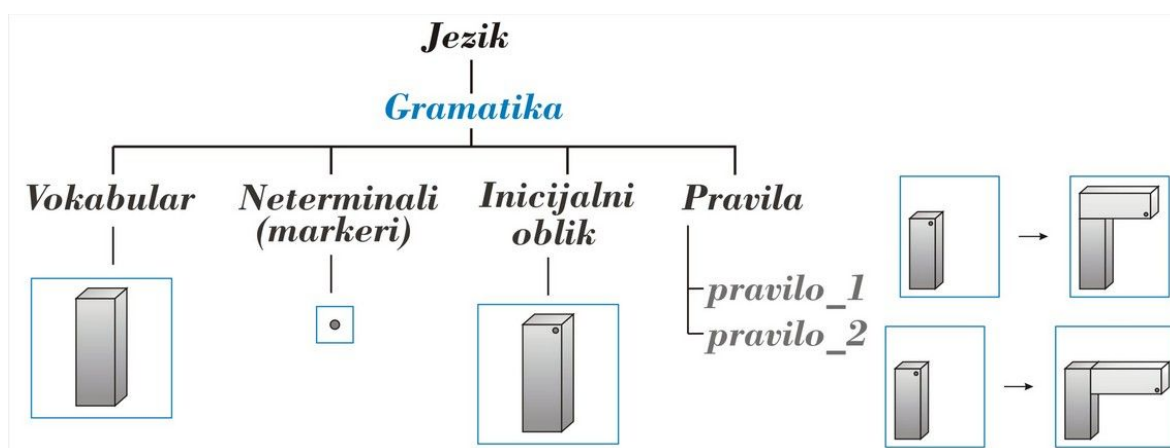
Slika 27. Inicijalni oblik

Niz pravila za gredu, recimo da se radi o programu P bio bi:

$$P = \{1, 2\}. \quad (15)$$

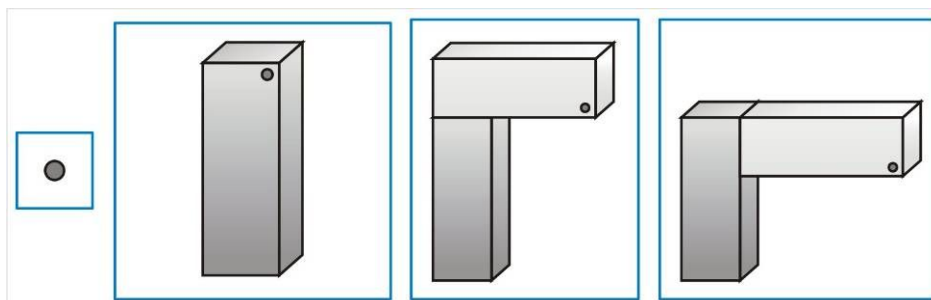


Slika 28. Konačni izgled grede



Slika 29. Stablo koje opisuje jezik grede

Kada govorimo o korištenju gramatike oblika za nešto praktičnije zadatke, potrebno je odrediti i definirati gramatiku u i v oblika. Po svojoj definiciji radi se o neterminalima, te ih je potrebno definirati unutar skupa neterminala V_M .

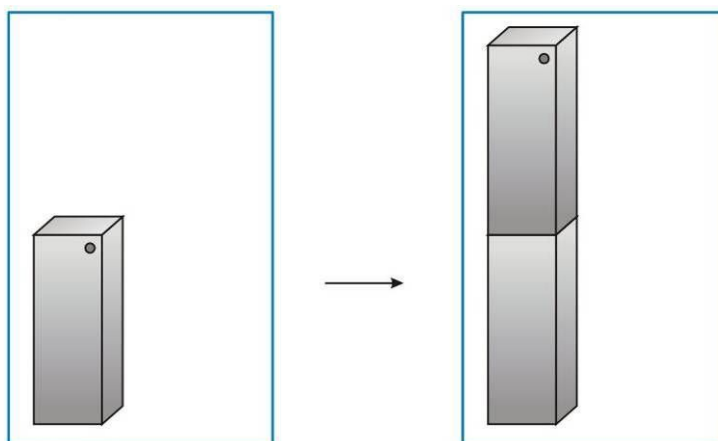


Slika 30. Skup neterminala za gramatiku grede

3.5.3 Varijacije grede

Druga verzija grede bila bi recimo ona kod koje imamo ukomponirano i treće pravilo.

pravilo_3

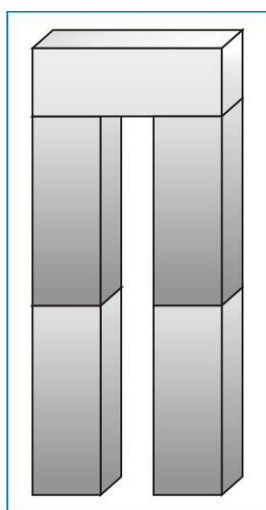


Slika 31. Treće pravilo

Program za tu gredu bio bi:

$$P = \{3,1,2,3\}$$

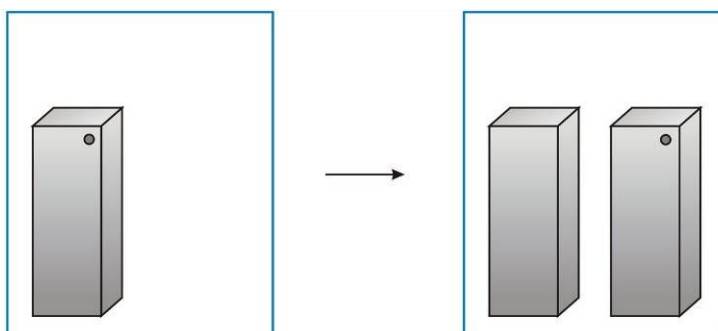
(16)



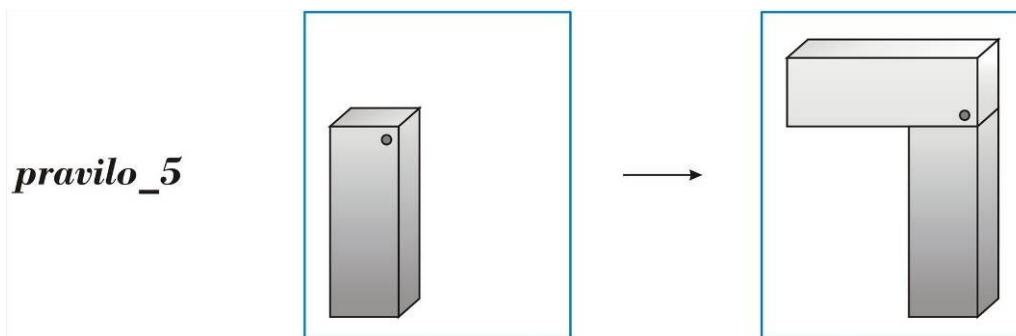
Slika 32. Visoka greda

Sljedeći primjer ilustrira kako oblik grede nije jednoznačno određen, već se može dobiti i kombinacijom drugih dvaju pravila.

pravilo_4



Slika 33. Četvrto pravilo



Slika 34. Peto pravilo

Upravo usporedba prvog i drugog primjera pokazuje kako se gramatika dviju greda razlikuje, no krajnji rezultat opet je naizgled isto rješenje, no prema svojim značajkama zahtijeva potpuno različita oblikovna pravila.

$$P = \{4,5\} \quad (17)$$

4. Gramatika proizvoda

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. Pravila koje je uobličio William J. Mitchell služe kao smjernica za stvaranje gramatike proizvoda za bilo koji zadani proizvod (Chin, 2004.).

4.1. Kreiranje stablo-strukture

Za kreiranje gramatike proizvoda mora postojati već generiran 3D oblik ili 3D gramatika oblika. Gramatika proizvoda može funkcionirati i za 3D CAD reprezentacije proizvoda. Promatra se način na koji elementi i dijelovi komuniciraju u prostoru. Zatim se konstruira struktura koja prikazuje dijelove i način na koji oni tvore proizvod. Preporuča se korištenje stablo strukture jer je pomoću nje najlakše prikazati razgranatu tipologiju proizvoda. Cjeloviti proizvod smješta se na vrh stabla i iz njega se postupno granaju dijelovi konstrukcije do najmanjih elemenata na dnu kao što su vijci i svornjaci.

4.2. Definiranje materijala i procesa izrade dijelova

Sa stajališta materijala, izrade i dobave materijala, ova podjela na elemente i dijelove predstavlja priliku da se u svakom čvoru stabla promijeni ili nabroje moguće opcije i varijante za značajke dijela kao što su materijal, proces izrade i dobavljač. Potrebno je kritički promisliti o načinu na koji je učinjena podjela proizvoda na strukturne jedinice ili dijelove, te ako je potrebno izmijeniti način podjele.

4.3. Definiranje spojeva

Promatrano sa stajališta da je proizvod sklop, svaka podjela logičke skupine dijelova preko čvorova stabla je povezana sa sljedećom skupinom. Čvorovi prema tome predstavljaju zglobove ili mjesta spajanja jednog dijela sa drugim. Potrebno je razmotriti njihovu vrstu, moguće načine spajanja, kao i troškove i potrebne vještine, materijale i procese kojima će se oni ostvariti. Na umu treba imati praktične aspekte ostvarivanja spojeva.

4.4. Definiranje funkcija podsklopova

Za svaki čvor potrebno je odrediti funkcije pojedinih podsklopova proizvoda, kao i sve što je potrebno za ostvarivanje tih funkcija.

4.5. Definiranje fizičkih veličina

Potrebno je definirati određene fizičke veličine koje moraju biti ostvarene između dijelova, tj. u zglobovima ili mjestima spajanja. To mogu biti sila ili električna

energija, izolacija (toplinska ili električna), stupnjevi slobode gibanja i dr. Preko ovih zahtjeva moguće je dodatno provjeriti funkcionalne zahtjeve i definirati probleme koji bi mogli biti vezani s održavanjem.

4.6. Parametarsko oblikovanje

Za svaki konstitutivni dio sklopa (proizvoda), dakle za njegove dijelove potrebno je stvoriti model koji bi bio parametarski, tj. potrebno je definirati zavisnost dijelova i način na koji je dopušteno mijenjanje značajki dijelova (oblika). Ovaj parametarski model sastojat će se od konstanti, varijabli i matematičkih ili drugih izraza kojima će zahtjevi biti definirani.

4.7. Varijante

Definirane varijable potrebno je provjeriti, kao i utvrditi kakav utjecaj imaju na ukupni oblik proizvoda.

4.8. Zamjene dijelova stabla

Kako bi se povećao broj rješenja potrebno je razmotriti zamjenu cijele jedne grane stabla, na bilo kojoj razini sa nekim drukčijim rješenjem. Za različite zamjene, potrebno je razmotriti pozitivne i negativne strane različitih rješenja.

4.9. Proširenje skupa mogućih rješenja

Potrebno je potražiti načine na koji je moguće proširiti skup mogućih rješenja.

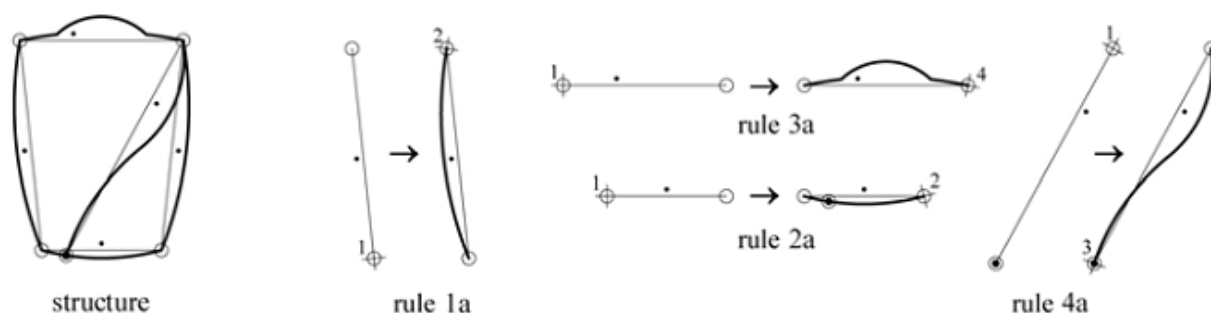
4.10. Uvođenje algoritma pretraživanja

Kada skup mogućih rješenja postane velik, treba razmotriti uvođenje nekog od algoritama pretraživanja prostora stanja koji će prema zadanom kriteriju moći odabrati najbolje moguće rješenje.

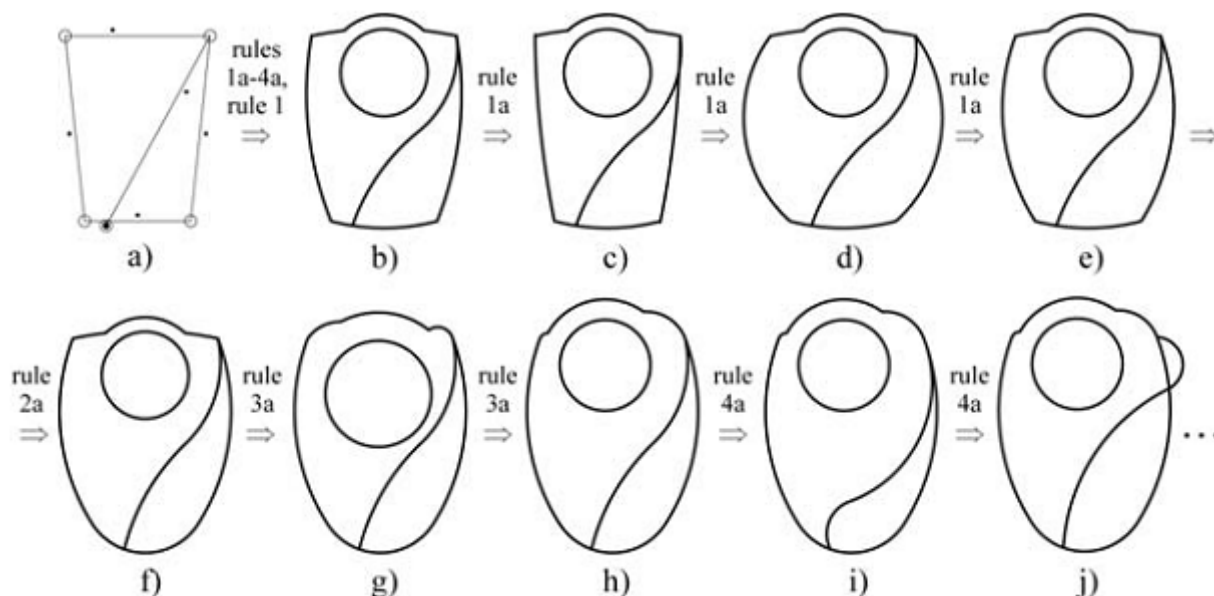
5. Primjena gramatike proizvoda u inženjerstvu

5.1. Generiranje koncepata

Gramatika oblika predstavlja formalni generativni pristup oblikovanju u procesu razvoja proizvoda. Ova metoda nastoji na precizan i intuitivan način stvoriti okoliš za generiranje jezika za oblikovanje konstrukcije proizvoda. Za primjene analize u inženjerstvu koriste se za opisivanje i klasificiranje pravila oblikovanja koja se ponavljaju i iznova koriste kako bi se generirao konačni oblik ili familija konstrukcijskih rješenja. Primjer generiranja konceptualnih rješenja prikazan je na primjeru aparata za kavu (Prats; Earl, 2006.)



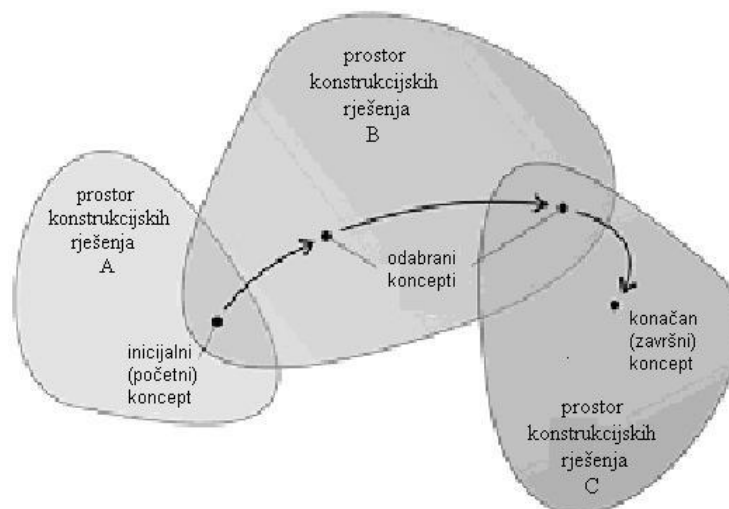
Slika 35. Struktura i pravila oblikovanja za aparat za kavu (Prats; Earl, 2006.)



Slika 36. Razvoj konceptualnih rješenja za aparat za kavu (Prats; Earl, 2006.)

U radu je ilustrirano kako je tehnikom gramatike oblika moguće pratiti proces nastanka različitih konstrukcijskih rješenja koristeći oblikovna pravila. Ovaj

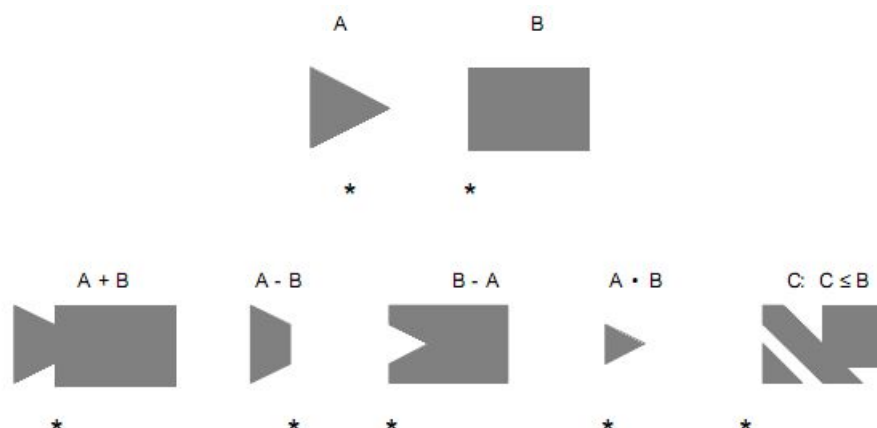
proces najčešće je zadatak dizajnera koji skiciraju ili crtaju moguća rješenja metodama *brainstorminga* ili drugim metodama. Generirajući jezik postiže se sustavno i analitičko praćenje razvoja konstrukcije proizvoda, te je tako otvorena mogućnost optimiranja i pretraživanja prostora konstrukcijskih rješenja (eng. *design space*).



Slika 37. Prikaz prostora stanja konstrukcijskih rješenja (Prats; Earl, 2006.)

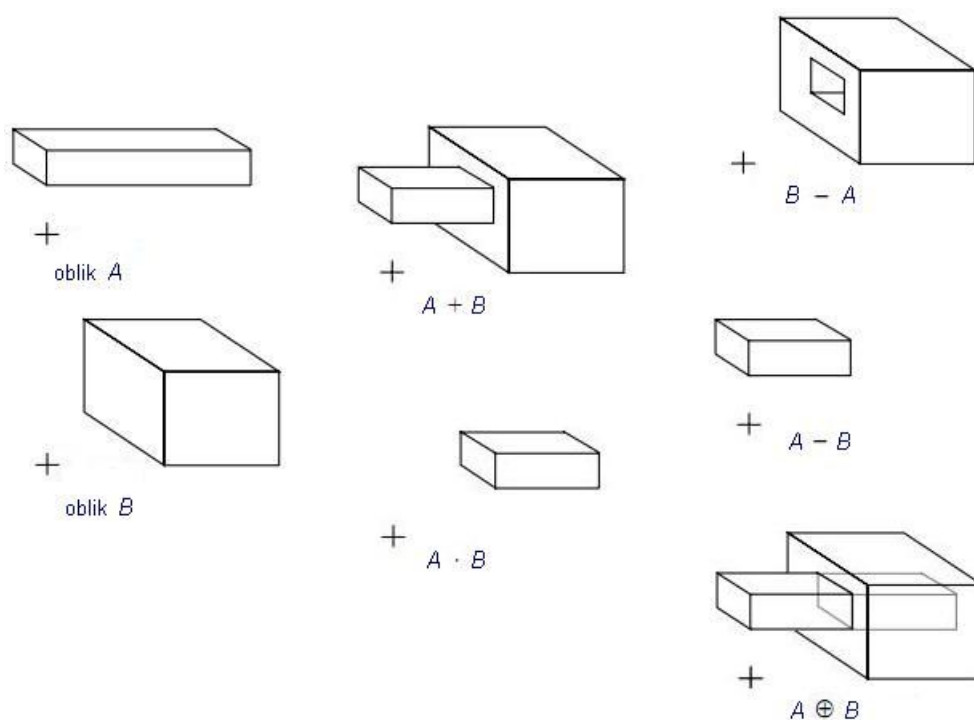
5.2. *Transformacije i operacije nad elementima gramatike*

Gramatika oblika ili samog proizvoda uvijek uključuje vokabular i niz pravila koji će se primjenjivati na vokabular ili abecedu. Pravila se formiraju i primjenjuju rekurzivno, počevši sa inicijalnim ili početnim oblikom ili elementom iz vokabulara, a što rezultira jezikom ili skupom konstrukcijskih rješenja. Kada govorimo o samoj gramatici oblika, u inženjerstvu se najčešće radi o prostornim odnosima među oblicima, te se stoga mogu primijeniti neke od transformacija koje se tradicionalno koriste u oblikovanju kao što su translacija, rotacija, zrcaljenje ili skaliranje. Operacije kao što su suma, produkt ili razlika također se koriste što svakako može biti korisno za generiranje jezika.



Slika 38. Moguće operacije nad 2D oblicima (Chase, 1996.)

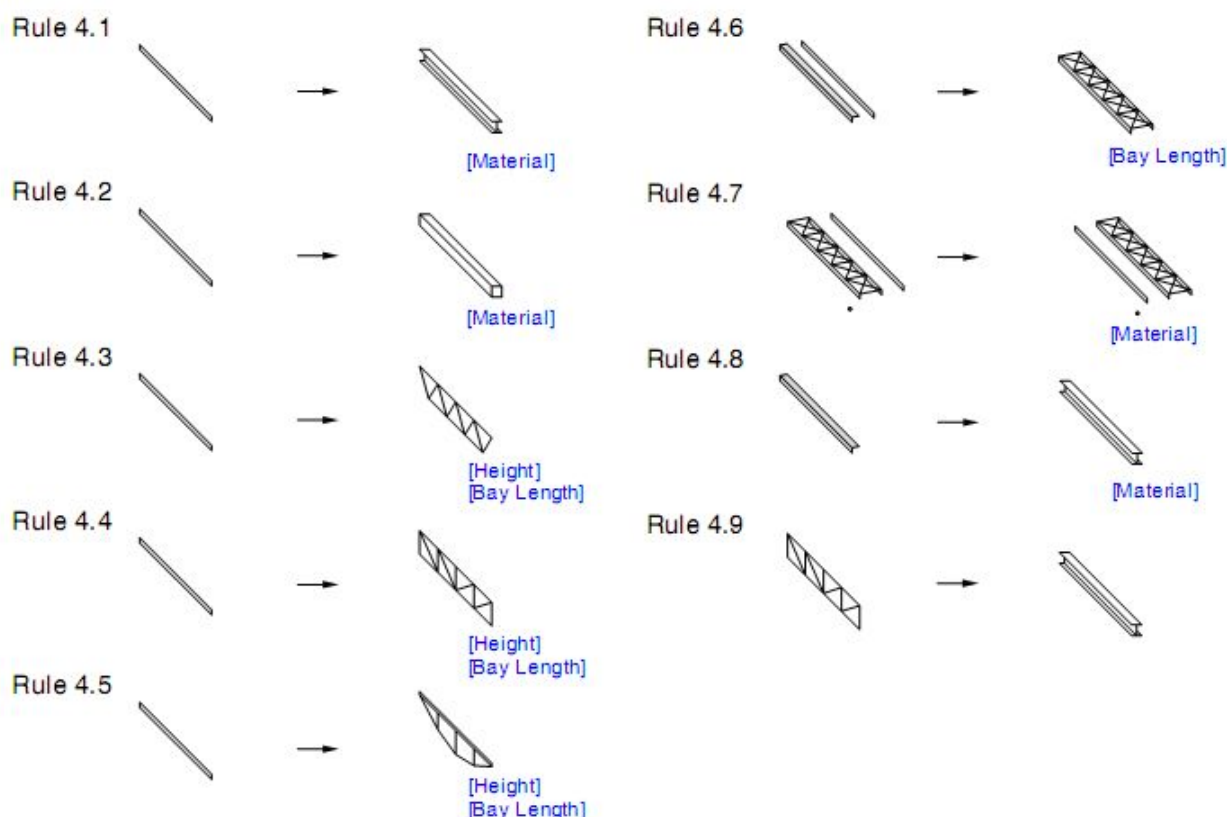
No, transformacije i operacije mogu se primijeniti na oblicima, ali i samim oblikovnim pravilima (Wells, 1994.). Time je omogućeno stvaranje gramatike čija će se pravila moći lakše definirati u terminima koji su uobičajeni u procesu konstruiranja.



Slika 39. 3D oblici i operacije među njima: suma, produkt, razlike i unija (Stouffs; Krishnamurti, n.d.)

Ako proširimo tu definiciju na gramatiku proizvoda, može se zaključiti da je slične operacije moguće provesti i na elementima gramatike proizvoda. U literaturi se navodi da je za takve primjene zadužena inženjerska gramatika (eng. *engineering grammar*). Elementi kojima se upravlja u strojarstvu i inženjerstvu obično sadrže više

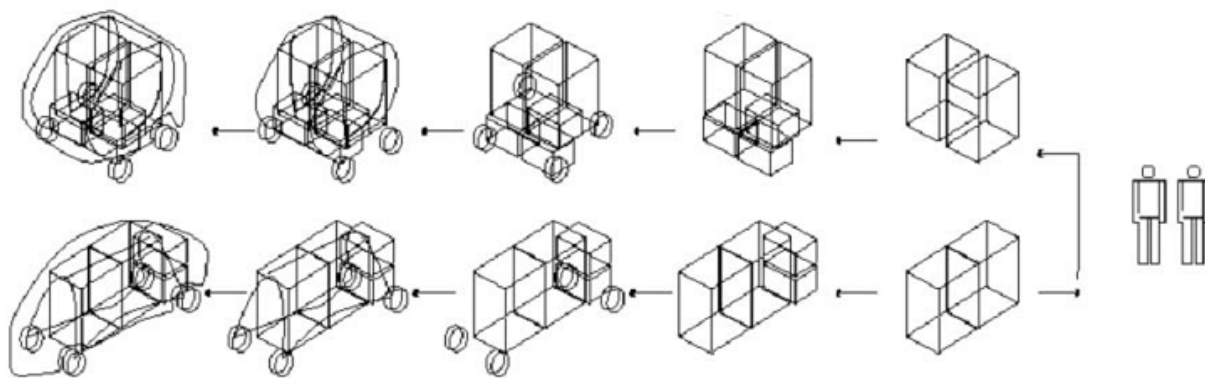
od jedne značajke, te problematika procesa konstruiranja zahvaća više razna područja. Tako je procesom konstruiranja obuhvaćeno pitanje troškova, značajki materijala kao što su krutost, masa i druge, kao i proizvodnja i drugi aspekti. Također, radi se o kompleksnim procesima i značajkama koje nije uvijek moguće definirati u početnom stadiju procesa konstruiranja. Primjer na Slici 40. ilustrira kakvog sve tipa mogu biti oblikovna pravila, a to je samo djelić cijele konstrukcije.



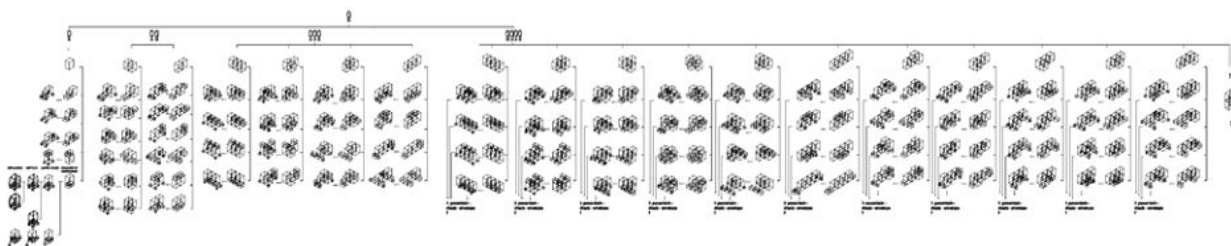
Slika 40. Pravila za zadavanje definicije vertikalnih i horizontalnih greda (Geyer, 2007.)

5.3. *Primjer gramatike proizvoda*

Za proizvode koji su vrlo kompleksni kao što je primjer automobila (Chin, 2004.), gramatika proizvoda orijentirana je na rješavanje jedne vrste problematike tj. jednog kriterija. Na sljedećem primjeru radi se o rješenjima za različiti broj sjedećih mjesta vozila.

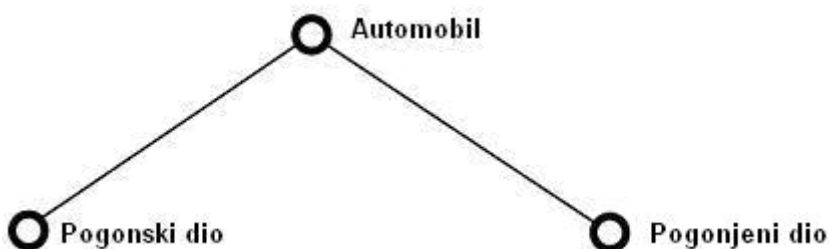


Slika 41. Generiranje rješenja od jednog do dva sjedeća mjesta (Chin, 2004.)



Slika 42. Generiranje prostora rješenja za jednog do četiri sjedeća mjesta (Chin, 2004.)

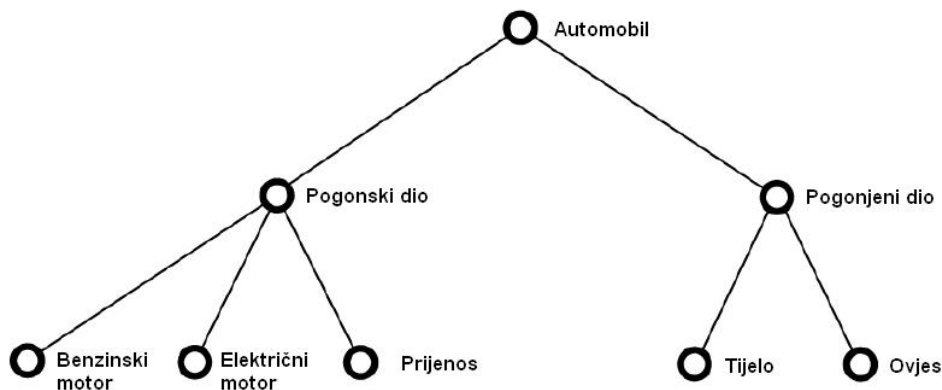
Proizvodi kao što je automobil sastoje se od velikog broja dijelova, dakle radi se o tisućama komponenti, te se stoga struktura proizvoda u obliku stabla (eng. *tree structure*) može sastojati od stotinu razina (eng. *level*) i grana stabla. Oblikovanje takve komplicirane strukture započinje jednostavnim stablom sa samo nekoliko, te se postupno dopunjava tvoreći kompleksniju sintaksu proizvoda. Nova konstrukcijska rješenja deriviraju se dodavanjem apstraktnih poopćenih opisa značajki dijelova proizvoda, zamjenom određenih grana stabla i uključivanjem standardiziranih dijelova proizvoda.



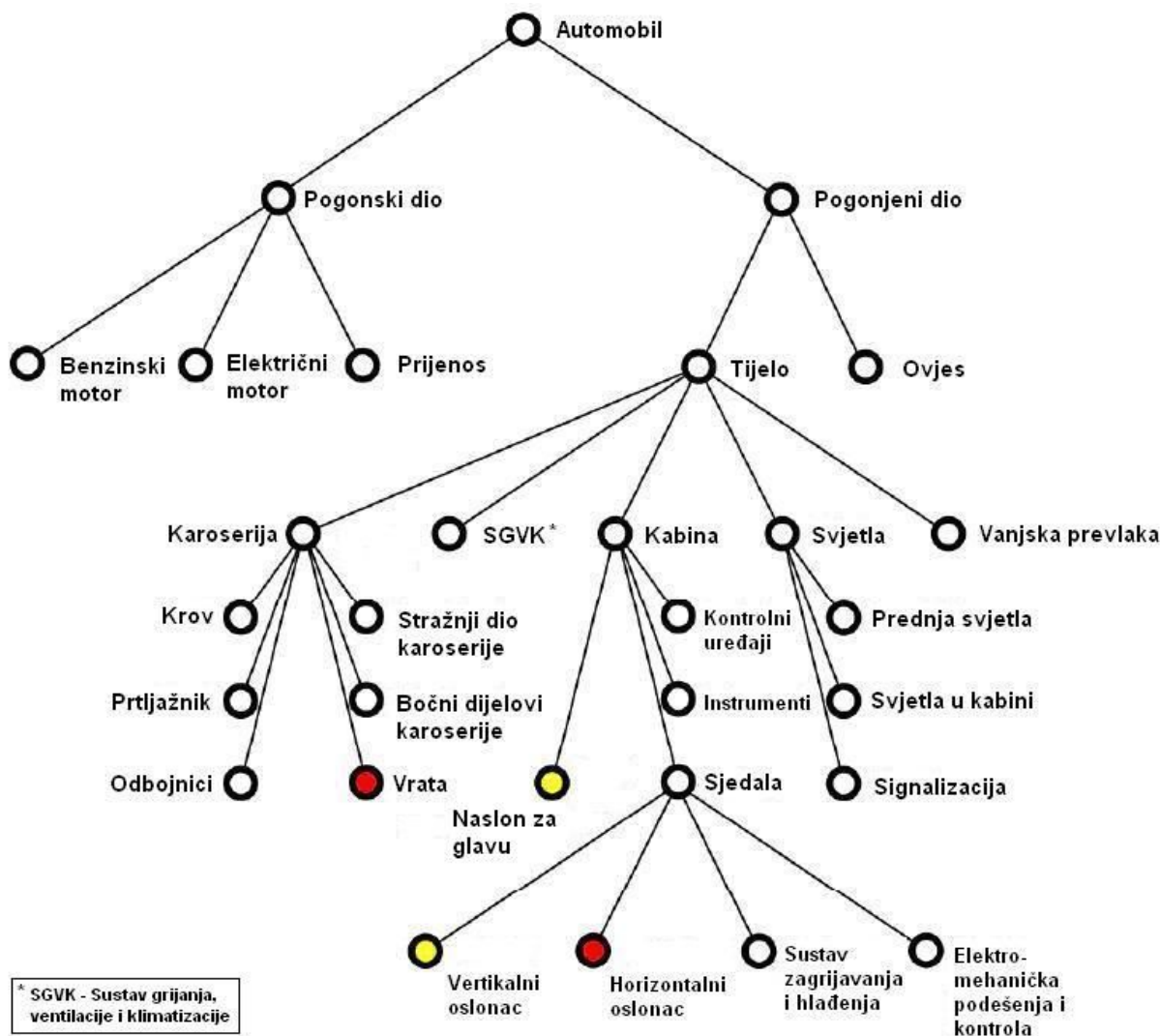
Slika 43. Jednostavna sintaksa automobila u obliku stabla sa dvije grane

Počevši sa podjelom proizvoda na najvišoj razini, gramatika automobila sastoji se od pogonskog dijela automobila (pogona) i pogonjenog dijela automobila ili tijela automobila kako je naznačeno na Slici 43. Ove dvije grane također na visokoj 3.

razini se mogu dalje podijeliti na još više grana koje bi uključivale sustav propulzije koji bi bio hibridni, te na drugoj grani detaljniju podjelu pogonjenog dijela automobila na tijelo automobila (eng. *car body*) i ovjesne elemente (amortizeri, opruge i ostalo).



Slika 44. Jednostavna sintaksa automobila, dvije grane stabla, tri razine



Slika 45. Prikaz sintakse sjedala u stablu

Za daljnju analizu koja je usmjerena na definiranje sintakse sjedala, grananje stabla se ograničava samo na tijelo automobila. Tijelo automobila može se podijeliti na pet zasebnih grana, između ostalog i kabinu automobila gdje su smještena sjedala. U kabini se nalazi prednja upravljačka ploča na kojoj su smješteni upravljač, upravljačke kontrole, instrumenti, a još su u kabini sigurnosni pojasevi i sjedala. Na Slici 45. stablom su prikazani opisani odnosi među elementima. Daljnja podjela sjedala odnosi se na konstruktivne dijelove sjedala (horizontalna potpora ili naslon sjedala i vertikalna potpora ili dio na kojem se sjedi), sustav grijanja i hlađenja sjedala i neke ergonomske dijelove kao što je sustav za namještanje sjedala.

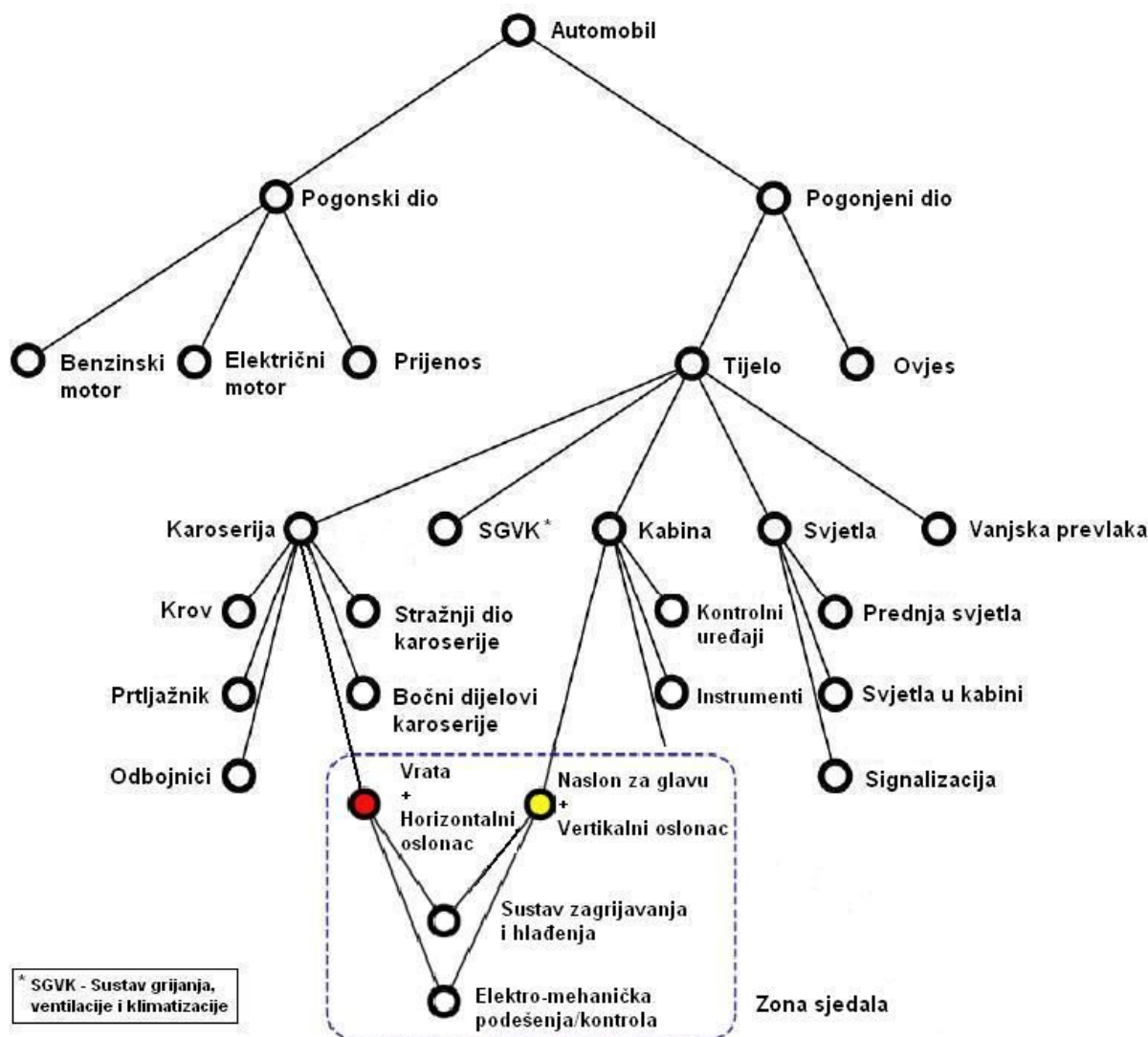
Podjela na ovim razinama u smislu da se radi o komponentama konstitutivnih dijelova proizvoda apstraktno opisuje njihovu funkciju i način integracije prema funkcionalnim značajkama zasebnih podsklopova u stablo proizvoda. Daljnjim razmatranjem dijelova koji čine sjedalo nastoji se odvojiti funkciju dijelova sjedala od forme ili oblika sjedala.

Horizontalni oslonac osigurava dio sjedala na kojem čovjek fizički sjedi, ali i osigurava određenu visinu koja je nužna da prilikom sjedenja vozač može vidjeti cestu kojom vozi. Vertikalni oslonac je površina koja omogućava da vozač odmori i nasloni leđa prilikom vožnje, ali može služiti i kao površina na kojoj je smješten sigurnosni pojas. Oba dijela sjedala mogu biti parametarski oblikovana kako bi odgovarali ergonomske zahtjevima.

Na sličan način može se promatrati još jedan dio automobila, doduše na nešto višoj razini stabla, a to su vrata. Vrata su vrlo važan dio procesa sjedenja, ne samo zato što je korištenje i otvaranje vrata ključan korak u tom procesu, već i zato što ona na sličan način imaju funkciju da pružaju oslonac, tj. podupiru ostale dijelove karoserije i ostalih dijelova u interakciji. Tako vrata pružaju i određenu funkciju zaštite interijera tj. kabine automobila i služe kao svojevrsna ovojnica kabine.

Dijelovi stabla koji će biti zamijenjeni označeni su na Slici 45. crvenom i žutom bojom. Jednostavna zamjena znatno može promijeniti izgled organizacijske sheme ili stabla koji prikazuju sintaksu proizvoda. Kombinacijom crvenih čvorova (*Horizontalni oslonac + Vrata*) u jedan čvor i žutih čvorova (*Naslon za glavu + Vertikalni*

oslonac) u drugi čvor, sjedalo više nije zasebni element i dio automobila, ali je integralni dio njegovog konteksta.



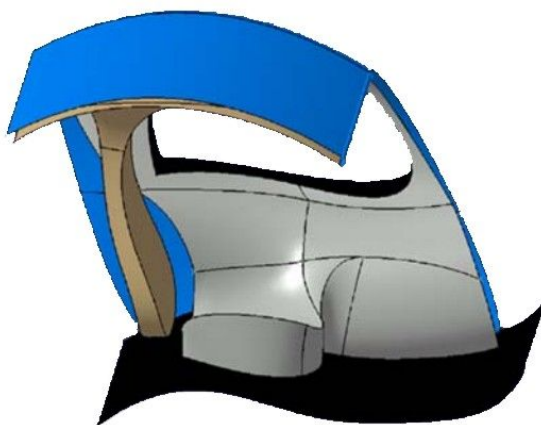
Slika 46. Sintaksa nakon zamjene čvorova

Prednosti ovakvog rješenja je s jedne strane u zatvorenoj cirkularnoj strukturi kojom je postignut bliži pristup bivšim elementima sjedala, tj. manja razina na kojoj se ti elementi nalaze. Na ovaj način otvaraju se nove mogućnosti poboljšavanja sigurnosnog sustava dijelova koji su u interakciji, te je općenito primjenom pravila zamjene porasla fleksibilnost i mogućnost stvaranja novih konfiguracija i strukturnih rješenja.

Do sada se govorilo o nekoliko etapa ili koraka u stvaranju sintakse proizvoda, a to su:

1. analiza proizvoda,
2. apstrakcija, povezivanje i standardizacija elemenata i funkcija, te
3. primjena pravila zamjene čvorova.

Iako realizacija predloženog novog rješenja proizvoda ovisi o mnogo drugih kriterija kao što su proizvodnja, sklapanje, dobavljači itd., nova konfiguracija proizvoda u ovoj etapi može se pokazati inovativnom i ostvarivom.



Slika 47. 3D Catia model sklopa sjedala



Slika 48. 3D Catia model sklopa sjedala sa rotirajućim vratima

Gramatiku proizvoda može se opisati i na formalni način onako kako ju definira William J. Mitchell (Chin, 2004.). Sukladno sa definicijom gramatike oblika, gramatika proizvoda se sastoji od:

1. početnog ili inicijalnog elementa,
2. vokabulara elemenata i
3. pravila zamjene.

Početni ili inicijalni element može biti bilo koji dio proizvoda, komponenta ili element stabla (čvor) koji je odabran i pogodan za daljnju podjelu ili razvoj grana stabla. Na primjeru automobila, sjedala su odabrana za inicijalni ili početni element stabla i radi se o jednom od podsustava kabine koja je podsustav tijela automobila (Slika 45.). Vokabular elementarnih komponenti su sve komponente podsustava sjedala. Pravilo zamjene uključuje zamjenu elemenata i komponenti stabla i grana drugima prema Slici 46. Oblikovanje u opisanom jeziku gramatike proizvoda uključivalo bi rekurzivno primjenjivanje pravila zamjene na cijelom proizvodu gdje je to moguće što dovodi do stvaranja novih sintaksa proizvoda i novih oblikovnih rješenja proizvoda.

6. Gramatika proizvoda na primjeru bicikla

Sustav koji će biti opisan u ovom poglavlju služi za generiranje gramatike proizvoda na nivou komponenata ili dijelova proizvoda. Dio je sustava realiziran preko računalnog programa kojim se generira gramatika, dok je dio koji se tiče uređivanja stabla kojima je prikazana struktura proizvoda izvedena ručno.

Za potrebe razvoja takvog sustava prvo se obavlja funkcijska analiza željenog proizvoda kojoj slijedi upotreba programa za generiranje gramatike proizvoda na nivou komponenti. Nakon toga može se pristupiti generiranju stabla koje prikazuje strukturu proizvoda koje kreće od proizvoda preko glavnih funkcija tog proizvoda do samih komponenata tog proizvoda. Generiranje tog stabla izvodi se ručno. Kao primjer za opisivanje odabran je bicikl, te će na primjeru tog proizvoda biti objašnjen svaki korak koji vodi do krajnjeg rješenja u obliku stabla bicikla.

Generirana gramatika može poslužiti za pregled varijantnih rješenja kao i pregled i korekciju pravila koja definiraju gramatiku. Za svaki novi proizvod potrebno je definirati skupove koji definiraju gramatiku proizvoda, dok se pravila mogu iščitati iz grafičkog prikaza gramatike koju generira program.

6.1. *Funkcijska analiza proizvoda*

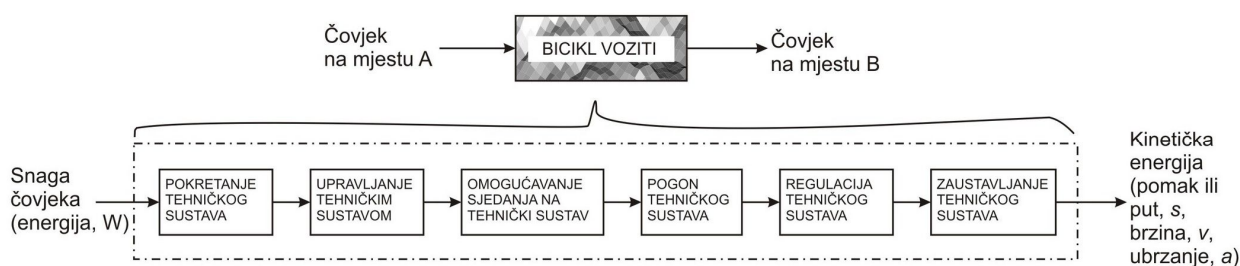
Funkcijska analiza proizvoda započinje definiranjem glavne ili radne funkcije proizvoda (eng. *overall function*), te crtanjem tzv. *blackboxa*. *Blackbox* pristup iz teorije tehničkih sustava razvijen je od autora Hubke i Edera i temelji se na pretpostavci da se svaki tehnički ili konstrukcijski problem rješava kao sustav sa vlastitom funkcijom i ulaznim i izlaznim operandima.



Slika 49. *Blackbox* pristup

Dakle, svaki se tehnički artefakt ili proizvod promatra kao tehnički sustav. Tehnički sustav korespondira sa okolinom preko ulaznih i izlaznih tokova operanada. Ono što spada unutar tehničkog sustava odijeljeno je od okoline granicom sustava. Ulazni i izlazni tokovi operanada su energija, materijal i signal. 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. Glavna funkcija mora zadovoljavati formu „imenica + glagol” i za bicikl ona glasi „bicikl voziti.”

Osim glavne funkcije razlikujemo i pomoćnu funkciju (eng. *subfunction*) kojoj je zadatak održavanje glavne funkcije. Tehnički proces vožnje bicikla sastoji se od više funkcija koje ćemo uključiti u sustav za generiranje konceptijskih rješenja putem gramatike proizvoda. Sljedeća slika ilustrira dva karakteristična pristupa, a to su transformacija ulaznih i izlaznih procesa u tehničkom sustavu i u tehničkom procesu.



Slika 50. *Blackbox* bicikla i glavne podfunkcije bicikla

Odabrane su sljedeće funkcije koje opisuju tehnički proces vožnje bicikla, a zbog lakšeg raspoznavanja možemo ih smatrati i glavnim funkcijama:

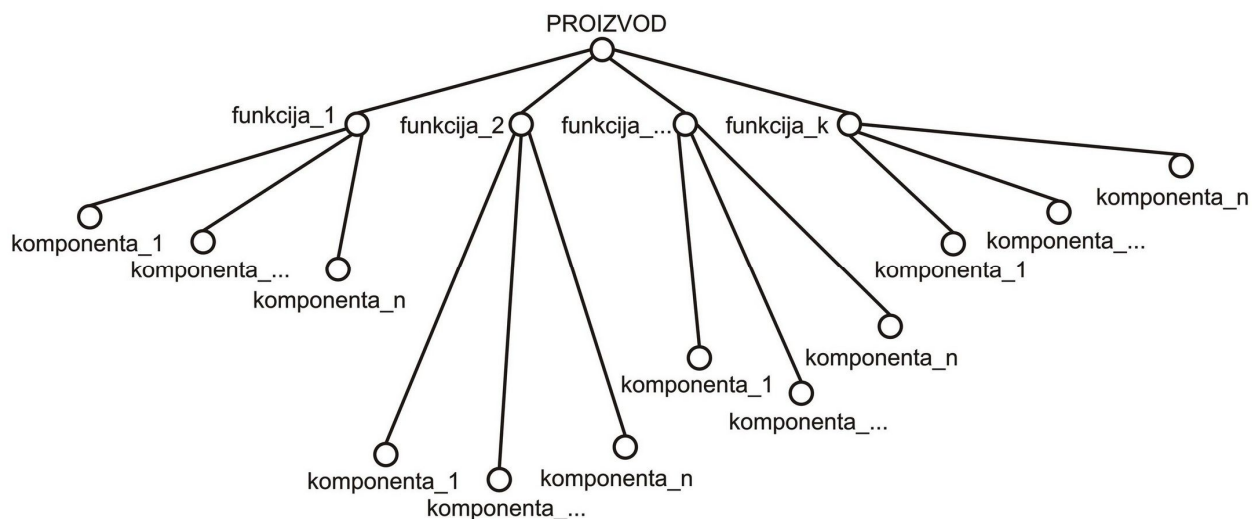
- Pokretanje teh. sustava
- Upravljanje teh. sustavom
- Omogućavanje sjedanja na teh. sustav
- Pogon teh. sustava

- Regulacija teh. sustava
- Zaustavljanje teh. sustava.

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 komponenata 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 nastavku.

6.2. **Konstruiranje prvog stabla proizvoda**

Za svaki proizvod moguće je nacrtati karakterističan odnos između njegovih funkcija i komponenti ili dijelova proizvoda. Pritom se svaka komponenta ili kombinacija komponenti u smislu sklopnog rješenja uzimaju za direktno konstrukcijsko rješenje njegove funkcije. Najčešće se do takvog konstrukcijskog rješenja dolazi analizom proizvoda. Za primjer bicikla je svaku njegovu funkciju odabrana komponenta ili više komponenti za koje se smatra da imaju ulogu da realiziraju određenu funkciju. Forma koja odgovara takvom stablu ilustrirana je na Slici 51.



Slika 51. Model za slaganje stabla proizvod – funkcije – komponente

Komponente bicikla izabiru se analizom općenitog modela bicikla i smještaju na najdonju razinu stabla. Struktura proizvoda time je prikazana u obliku stabla na čijem se vrhu nalazi ime proizvod, slijede njegove glavne funkcije koje su

definirane preko opisa tehničkog procesa, te su na samom dnu stabla komponente ili dijelovi bicikla. Komponente ili dijelovi ne granaju se dalje. Analizom bicikla došlo se do osamnaest najvažnijih komponenti ili dijelova bicikla, a to 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 i čine skup terminala, tj. skup V_T .

Ono što slijedi je definiranje dva moguća dijagrama, a to su dijagram funkcija i dijagram komponenata. Može se primijetiti da rješenja u obliku podsustava kao što su sustav za pokretanje, sustav za zaustavljanje i drugi odgovaraju glavnim funkcijama bicikla. Zapravo, dijagrami prikazuju iste nivoe (razine) i također se mogu prikazati u obliku stabala.

Tablica 04. Dijagram (ili stablo) funkcija – 3 nivoa : prvi nivo je proces, drugi su glavne funkcije, treći su podfunkcije

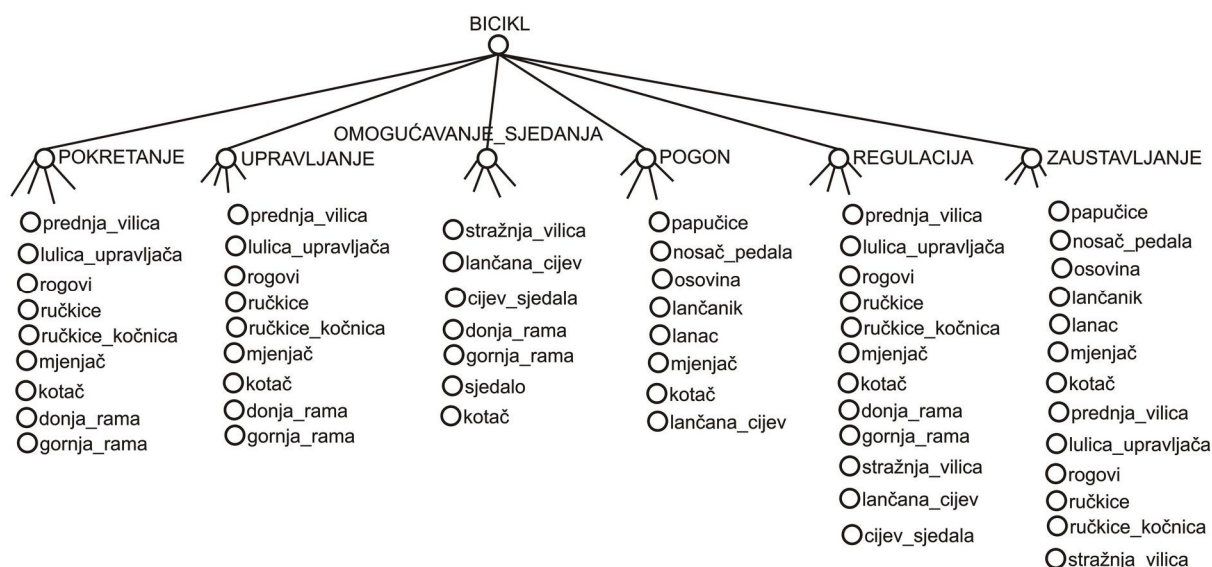
VOŽNJA BIKIKLA					
pokretanje	upravljanje	omogućavanje sjedanja	pogon	regulacija	zaustavljanje
...	...	...	...	...	...

Tablica 05. Dijagram (ili stablo) komponenata (dijelova) – 3 nivoa: prvi nivo je proizvod, drugi su podsustavi, treći je komponente (ili dijelovi) bicikla

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

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 što će rezultirati stablom koje prikazuje strukturu karakterističnu za odabrani proizvod – bicikl.



Slika 52. Gotovo stablo funkcija i komponenata spremno za slaganje gramatike

6.3. Definiranje skupova

Skup intuitivno shvaćamo kao kolekciju elemenata (ili članova) (Dovedan, 2003.). Za sada nas zanimaju skupovi terminala V_T i skup neterminala V_M koji su prva dva parametra za definiranje gramatike.

$$V_T = \{ \text{papučice, nosač_pedala, osovina, lančanic, lanac, mjenjač, kotač, stražnja_vilica, lančana_cijev, cijev_sjedala, donja_rama, gornja_rama, sjedalo, prednja_vilica, lulica_upravljača, rogovi, ručkice, ručkice_kočnica} \} \quad (18)$$

Skup terminala V_T sastoji se od osamnaest odabranih komponenti ili dijelova bicikla. Skup neterminala, tj. skup V_M nešto je kompliciraniji za izvedbu. Kao oznake poslužiti će šest glavnih funkcija bicikla. Simboličkim oznakama u Tablici 06. definiraju se neterminali koji se sastoje od terminala iz skupa V_T koji se vežu ili „križaju” sa oznakama ili funkcijama stvarajući neterminale. Pritom se u imenu neterminala pojavljuje točka koja odjeljuje lijevu stranu (terminale) i desnu stranu (oznake).

Tablica 06. Ujedinjena tablica komponenti i funkcija

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	lančanic (kazeta)	pogon	lančanic.pogon
		zaustavljanje	lančanic.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

$$V_M = \{ \varepsilon, \text{kotač}, \text{kotač.pokretanje}, \text{kotač.upravljanje}, \text{kotač.omogućavanje_sjedanja}, \text{kotač.pogon}, \text{kotač.regulacija}, \text{kotač.zaustavljanje}, \dots, \text{ručnice_kočnica}, \text{ručnice_kočnica.pokretanje}, \text{ručnice_kočnica.upravljanje}, \text{ručnice_kočnica.regulacija}, \text{ručnice_kočnica.zaustavljanje} \} \quad (19)$$

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 šestero funkcija.

$$I = \{ \text{kotač} \} \quad (20)$$

6.4. **Računalni program Gramatika Proizvoda**

Računalni program pod nazivom Gramatika Proizvoda razvijen je u okviru ovog rada u Microsoft Visual Studiu 2008, tj. njegovom modulu Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition. Program služi za definiranje gramatike proizvoda na nivou komponenata proizvoda. Za početak je potrebno u glavnom prozoru programa definirati osnovne navedene skupove, dakle skupove V_T , V_M i I . Pravila iz skupa R mogu se vidjeti tek u grafičkom prikazu gramatike. Izlazni rezultata programa je grafički prikaz gramatike proizvoda na nivou njegovih komponenti. Za primjer ovog rada uzima se bicikl kao odabrani proizvod. Inače, program je napravljen tako da je moguće generirati gramatiku bilo kojeg proizvoda.

Pokretanjem programske aplikacije Gramatika Proizvoda otvara se istoimena forma u kojoj se definiraju skupovi koji su nužni za stvaranje gramatike

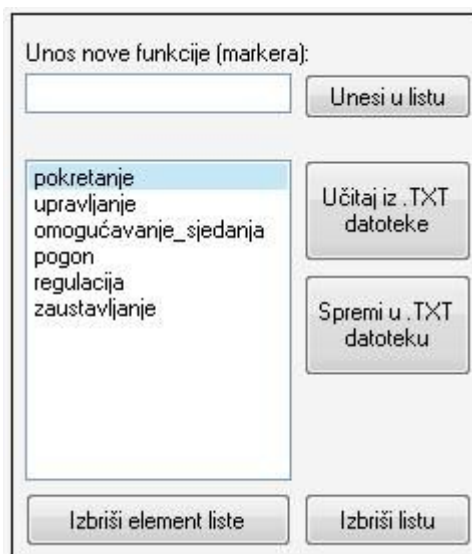
proizvoda. Nakon definicije projekta koji je bicikl kreće se u definiranje skupa terminala za taj isti bicikl. Terminali se upisuju iz definicije (18) gdje se upisuje osamnaest dijelova bicikla nužnih za generiranje gramatike. Sljedeći korak je definiranje oznaka, tj. pomoćnih stringova koji su zapravo glavne funkcije bicikla. Radi se o šest definiranih glavnih funkcija bicikla prema Tablici 04.

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 (19). U svakom trenutku obavljanja unošenja ovih skupova cijeli projekt je moguće spremiti 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.

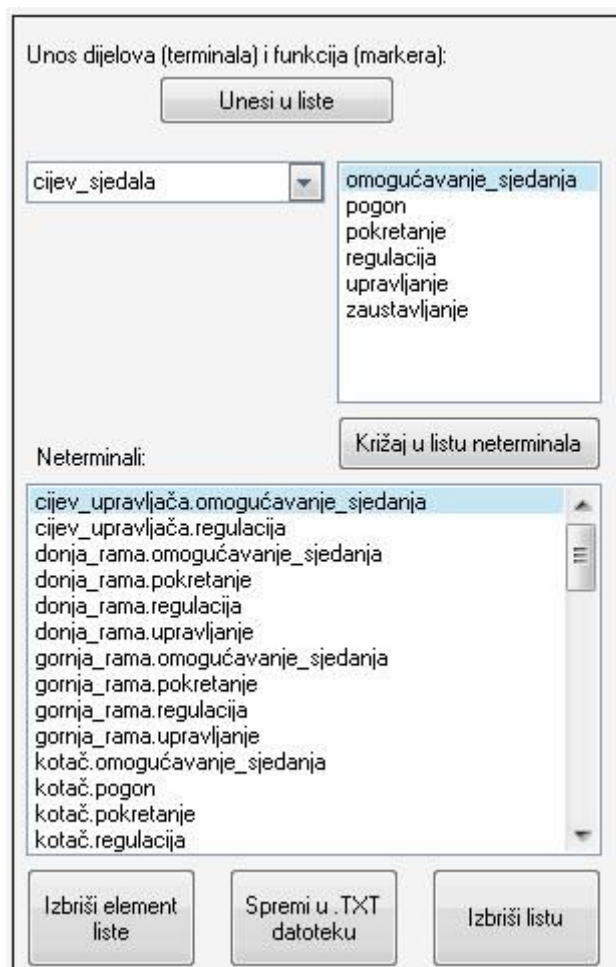
Unos novog dijela (terminala):

- kotač
- papučice
- nosač_pedala
- osovina
- lančanic
- lanac
- mjenjač
- stražnja_vilica
- lančana_cijev
- cijev_sjedala
- donja_rama
- gornja_rama
- sjedalo
- prednja_vilica
- lulica_upravljača
- rogovi
- ručkice
- ručkice_kočnica

Slika 53. Unos terminala u korisničkom sučelju programa



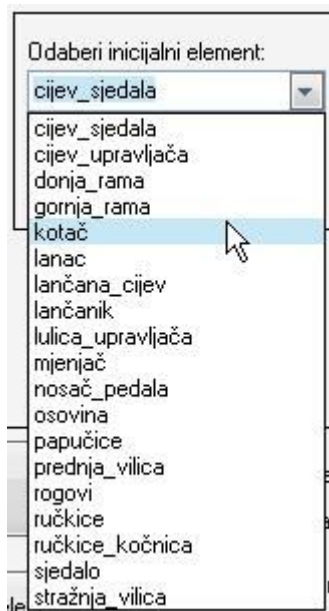
Slika 54. Unos oznaka u korisničkom sučelju programa



Slika 55. Unos neterminala u korisničkom sučelju programa

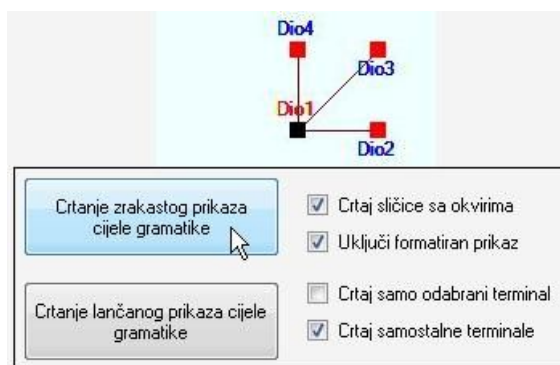
Nakon što je unesen i odabran inicijalni element može se nastaviti sa grafičkim prikazivanjem svih veza između terminala, tj. moguće je prikazati gramatiku

proizvoda na nivou komponenti. Ponuđeni inicijalni elementi odabiru se iz skupa terminala, te je po želji moguće izabrati bilo koji inicijalni element. Taj inicijalni element prvi će se prikazati u grafičkoj reprezentaciji gramatike proizvoda na nivou komponenti.



Slika 56. Odabiranje inicijalnog elementa u korisničkom sučelju programa

Postoje dva tipa grafičkog prikazivanja gramatike proizvoda. Jedno je tzv. „zrakasto” prikazivanje, a drugo je tzv. „lančano” prikazivanje. Tzv. „zrakasti” i „lančani” prikaz ilustrirani su na samoj formi.



Slika 57. Crtanje „zrakastog” prikaza cijele gramatike proizvoda

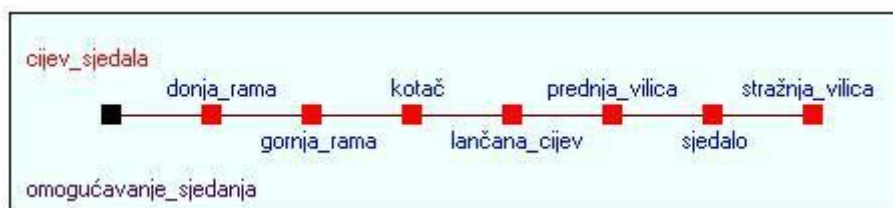
Zbog nemogućnosti da iscrta više od devet terminala na jednoj sličici, što je slučaj za postavke bicikla koje su odabrane, program će pokušati iscrtati „lančani” prikaz. Potrebno je uključiti i tzv. neformatirani prikaz jer program podržava do šezdeset sličica gramatike proizvoda.



Slika 58. 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. Ostatak gramatike bicikla na nivou komponenti moguće je pregledati na istom prozoru i na ukupno deset stranica. U nastavku su prikazane prve dvije stranice na kojima je grafički prikaz gramatike proizvoda na nivou komponenti za inicijalni element koji je kotač.

Prema definiciji gramatike tipa 2 ili kontekstno nezavisne gramatike produkcije ili pravila su oblika $u \rightarrow v$. Pritom je $u \in V_M$, tj. u je skup neterminala koji su prikazani u Tablici 06. i u programu Gramatika Proizvoda definirani prema Slici 55. 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 01. Gramatika za odabrani neterminal cijev sjedala

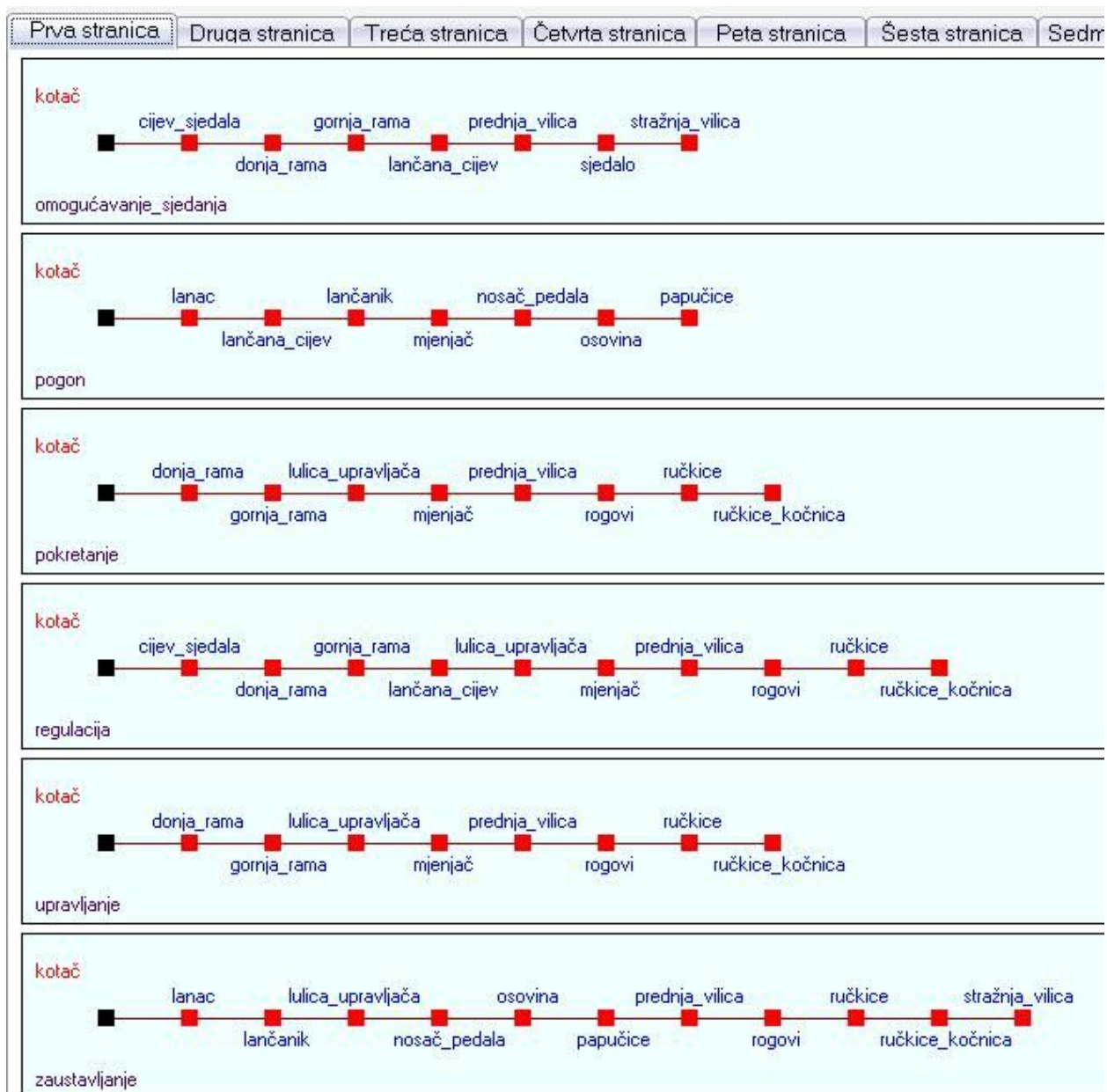
Odabran je neterminal, tj. dio skupa V_M koji je $\text{cijev_sjedala.omogućavanje_sjedanja}$. Neterminal se sastoji od terminala cijev_sjedala i oznake $\text{omogućavanje_sjedanja}$. Simbolički su u nazivu neterminala točkom naznačena ta dva strukturno bitna dijela neterminala. Prilikom stvaranja gramatike 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. Tih sedam neterminala dio su skupa v .

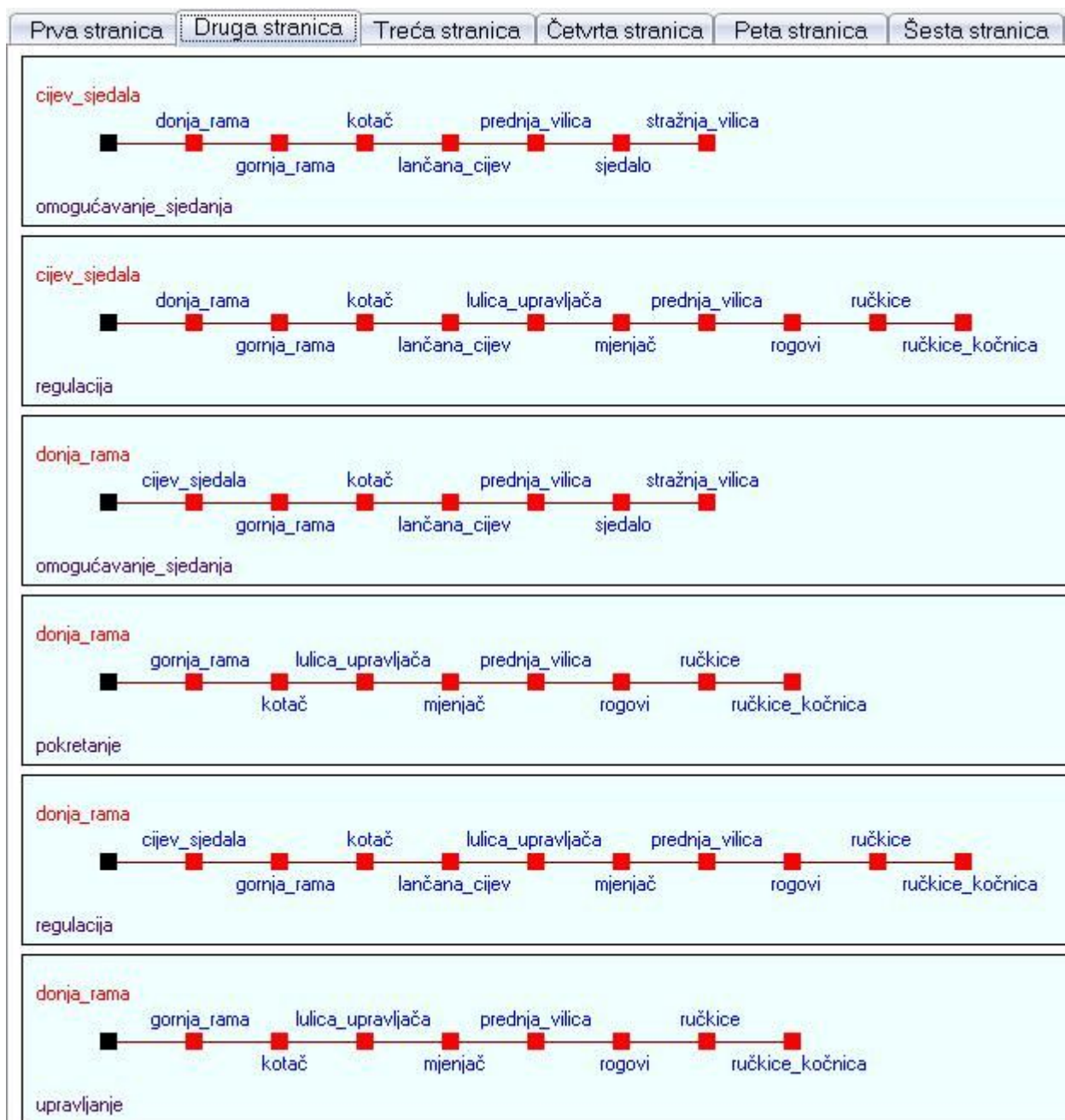
$$v = \bigcup_{i \geq 1, j \geq 1} v_{i_j} \quad (21)$$

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. Dopušteno je da element iz skupa v_{i_j} bude prazan, tj. ε . To bi bio slučaj za primjerice neki neterminal za koji program ne bi pronašao odgovarajuću istu oznaku kod nekog drugog neterminala.

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, redoslijed slaganja neterminala bi bio drugačiji.



Slika 59. Gramatika proizvoda za inicijalni element – kotač, prva stranica

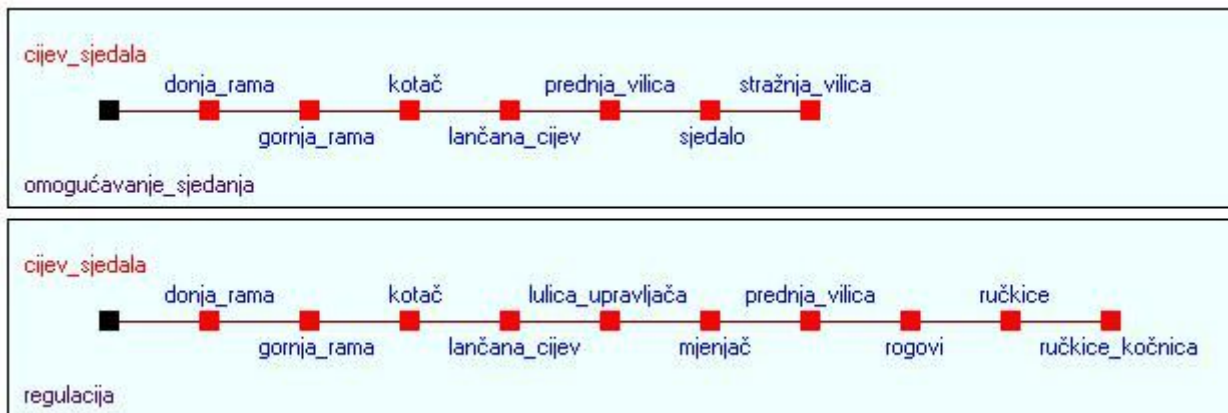


Slika 60. Gramatika proizvoda za inicijalni element – kotač, druga stranica

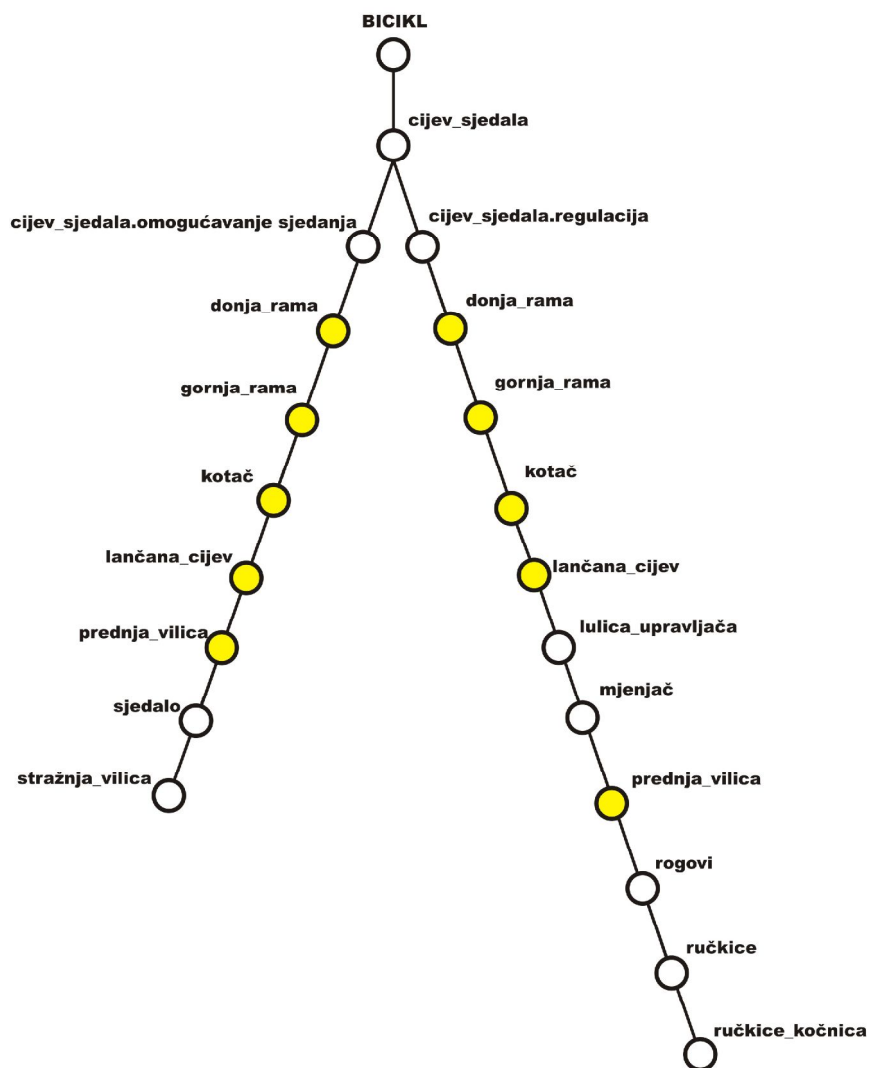
6.5. *Crtanje konačne strukture stabla bicikla*

Nakon što je generirana gramatika proizvoda na nivou komponenti koja uključuje grafički prikaz gramatike za sve terminale pristupa se odabiru jednog ili više terminala za koji se crta zasebno stablo koje prikazuje strukturu proizvoda prema odabranom terminalu. 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 gramatiku za taj terminal.

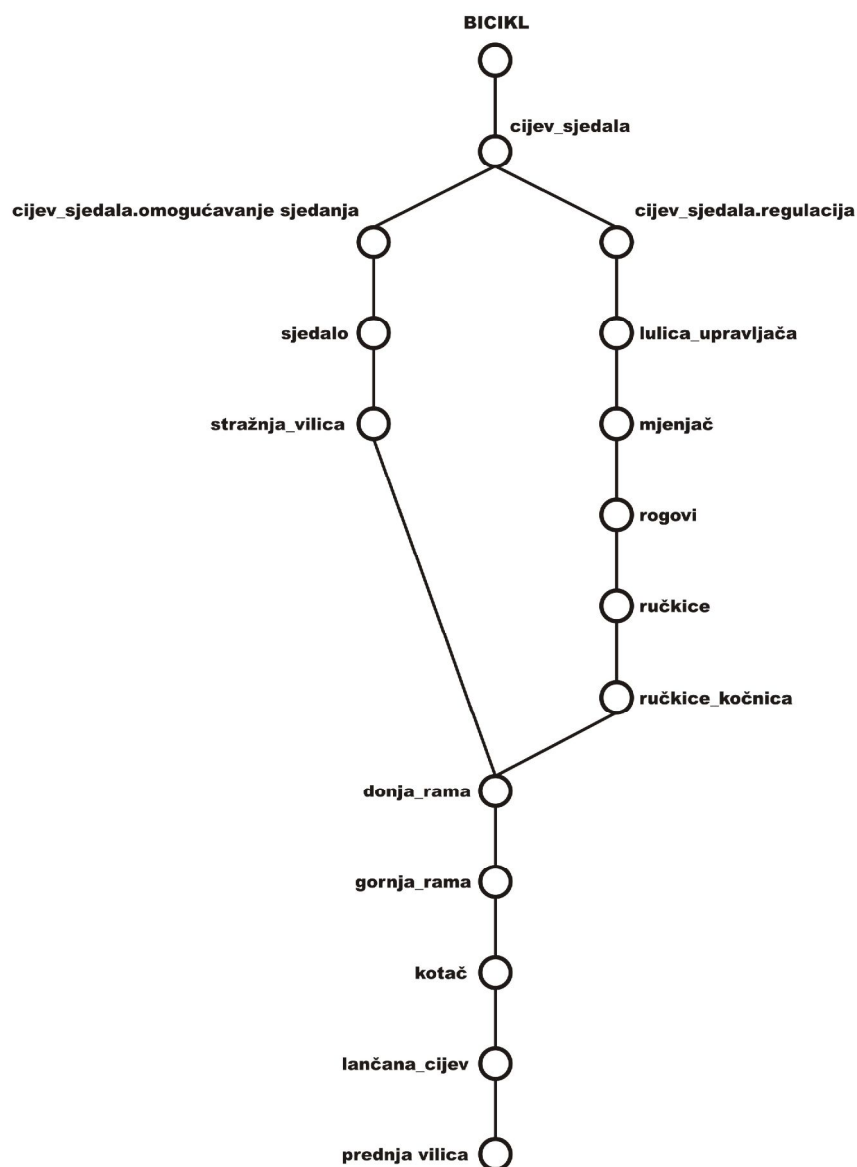


Slika 61. Gramatika bicikla za odabrani element cijev sjedala



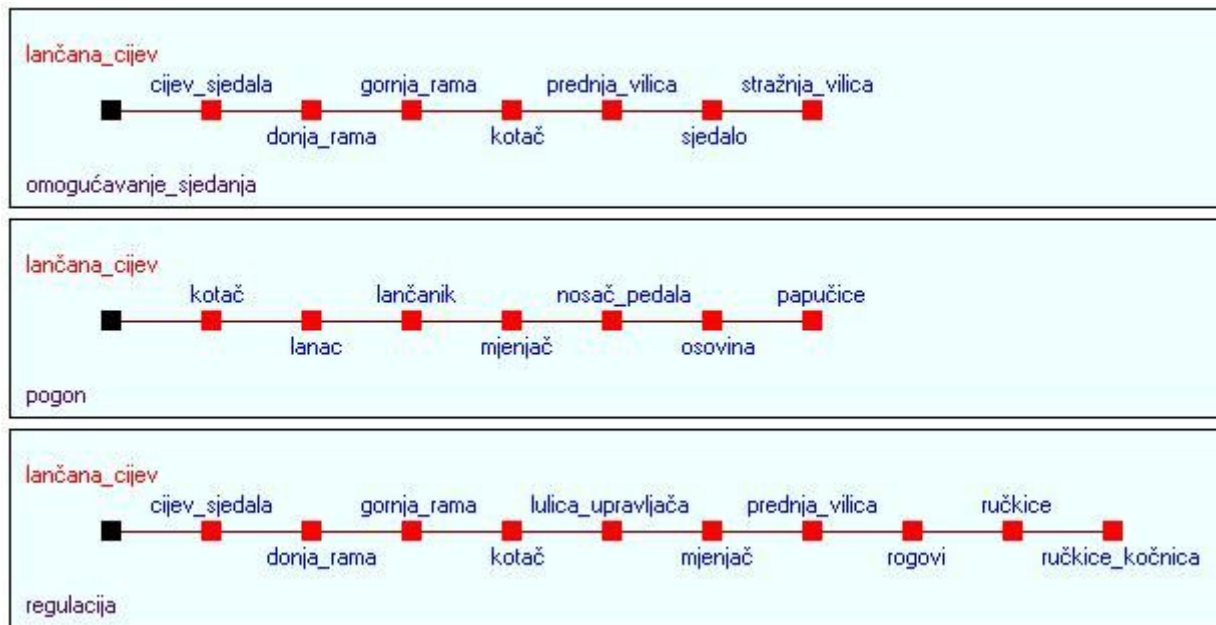
Slika 62. Nesređeno stablo bicikla prema komponenti cijevi sjedala

Stablo bicikla započinje odabranim inicijalnim elementom – cijevi bicikla koji je izabran iz skupa terminala. Prema Tablici 06. 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 63.

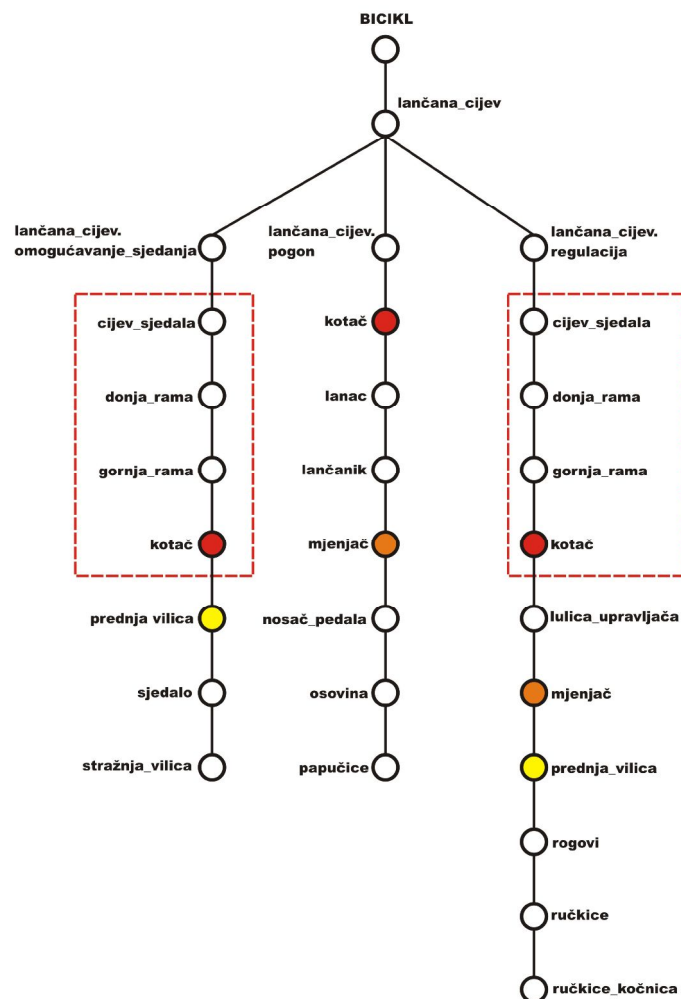


Slika 63. Sređeno stablo bicikla prema komponenti cijevi sjedala

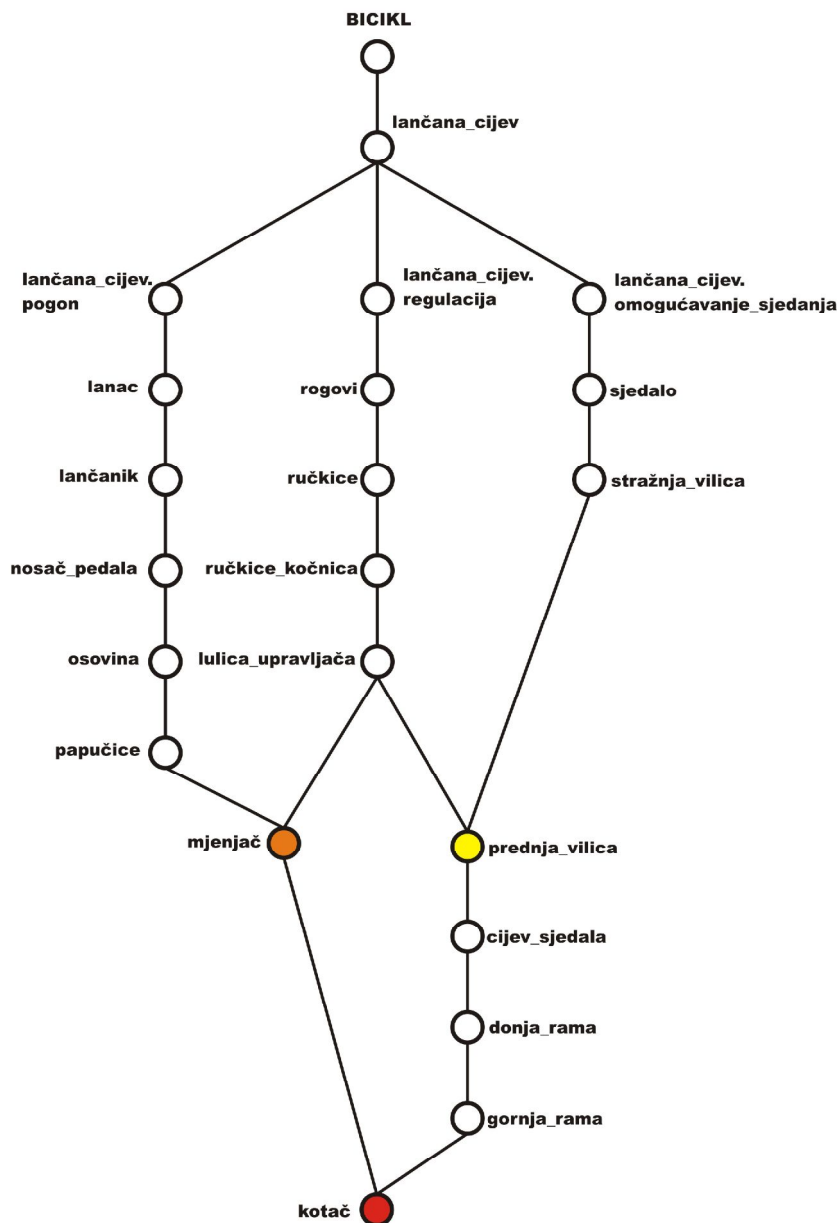
Na sličan način može se nacrtati i stablo za bicikl prema ostalim komponentama. Za drugi primjer odabrana je komponenta lančana cijev.



Slika 64. Gramatika bicikla za odabrani element lančanu cijev

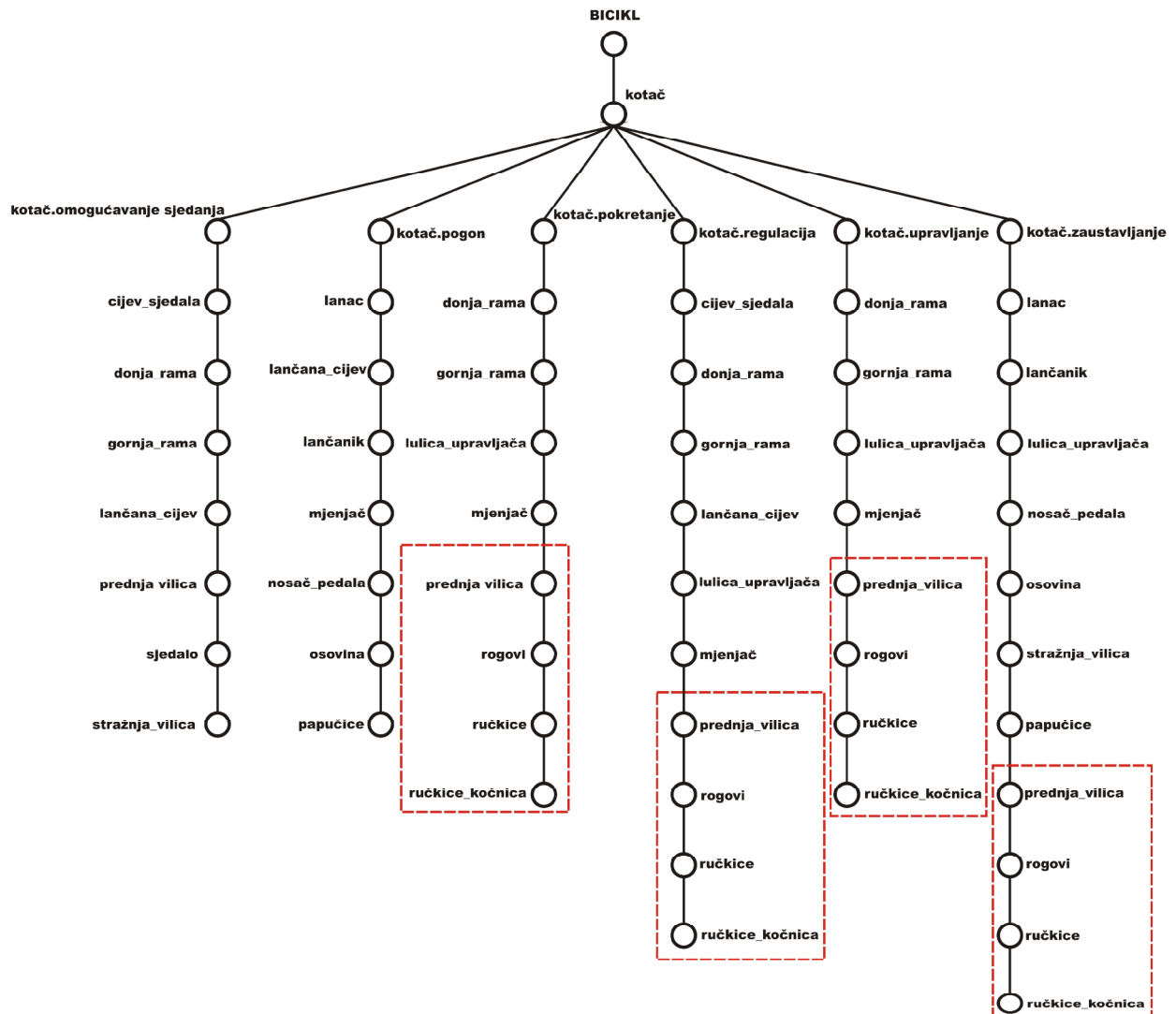


Slika 65. Nesređeno stablo bicikla prema komponenti lančane cijevi

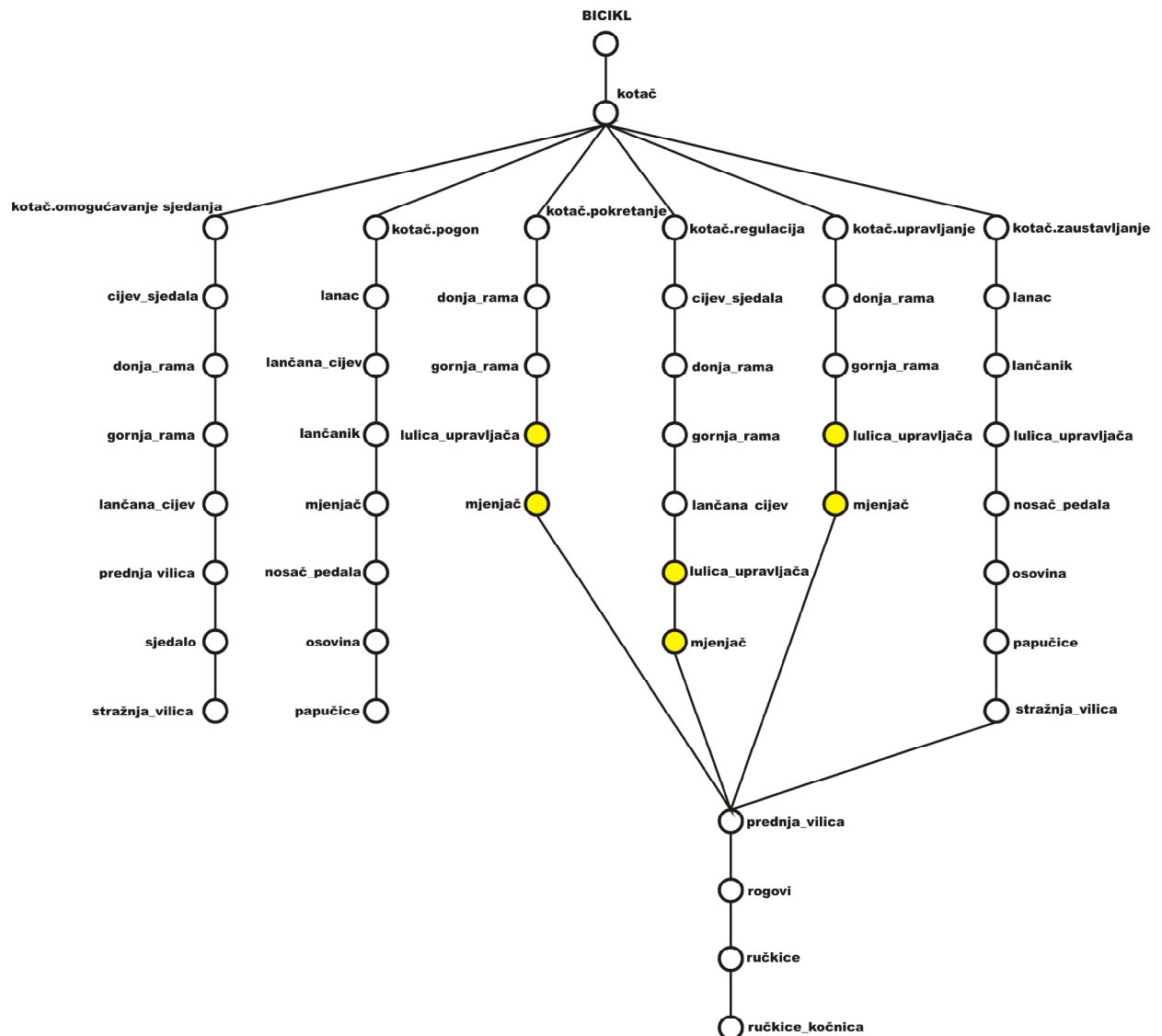


Slika 66. Sređeno stablo bicikla prema komponenti lančane cijevi

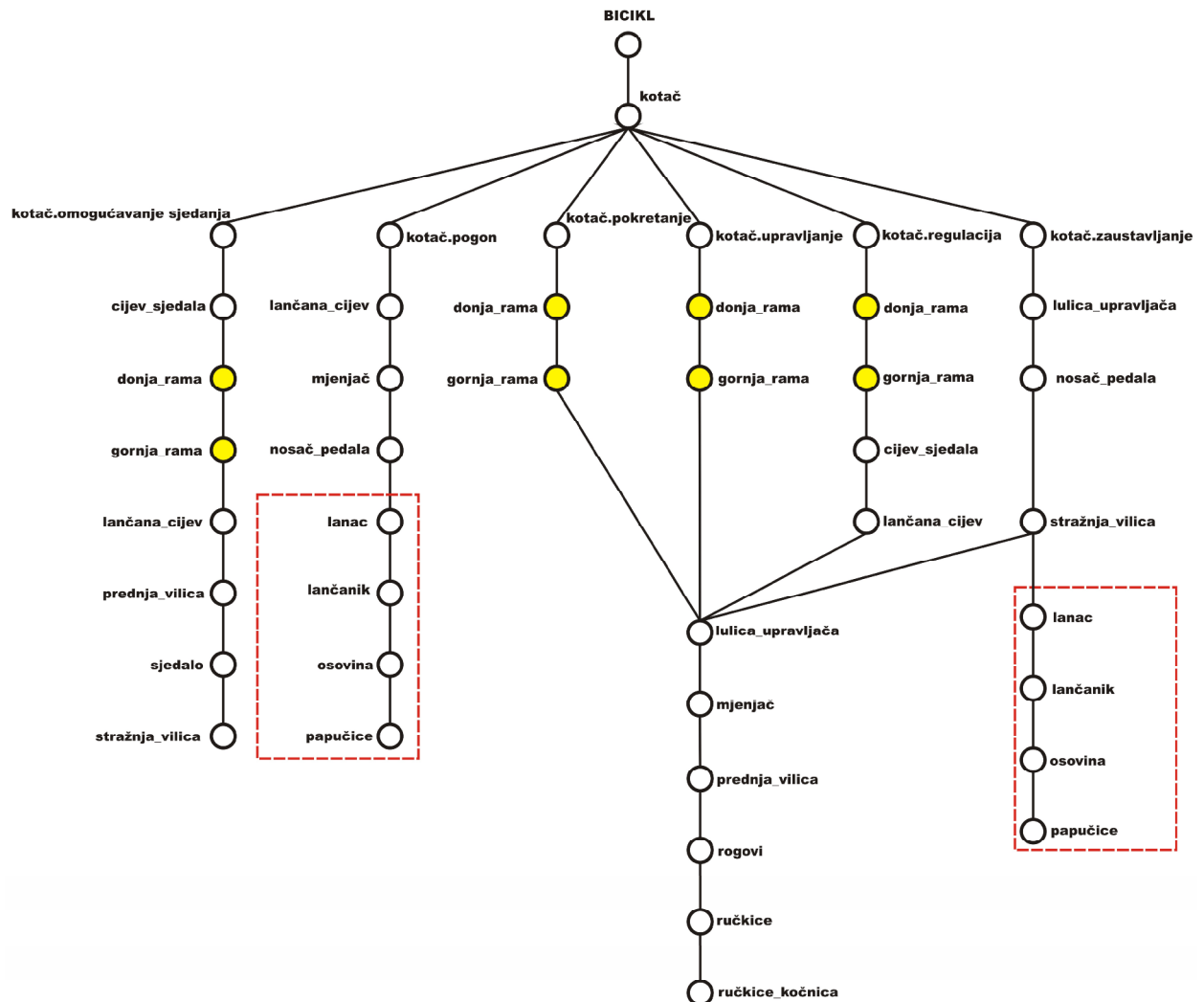
Najkompliciraniji primjer odnosi se na stablo bicikla kod kojeg je za inicijalni element odabran kotač stoga što se za kotač izvode neterminali kojih ima šest. Moguće je primijetiti da što više neterminala se izvodi iz jednog jedinog terminala to je za očekivati kompliciranije i složenije stablo proizvoda. Gramatika proizvoda za inicijalni element koji je kotač prikazana je na Slici 59.



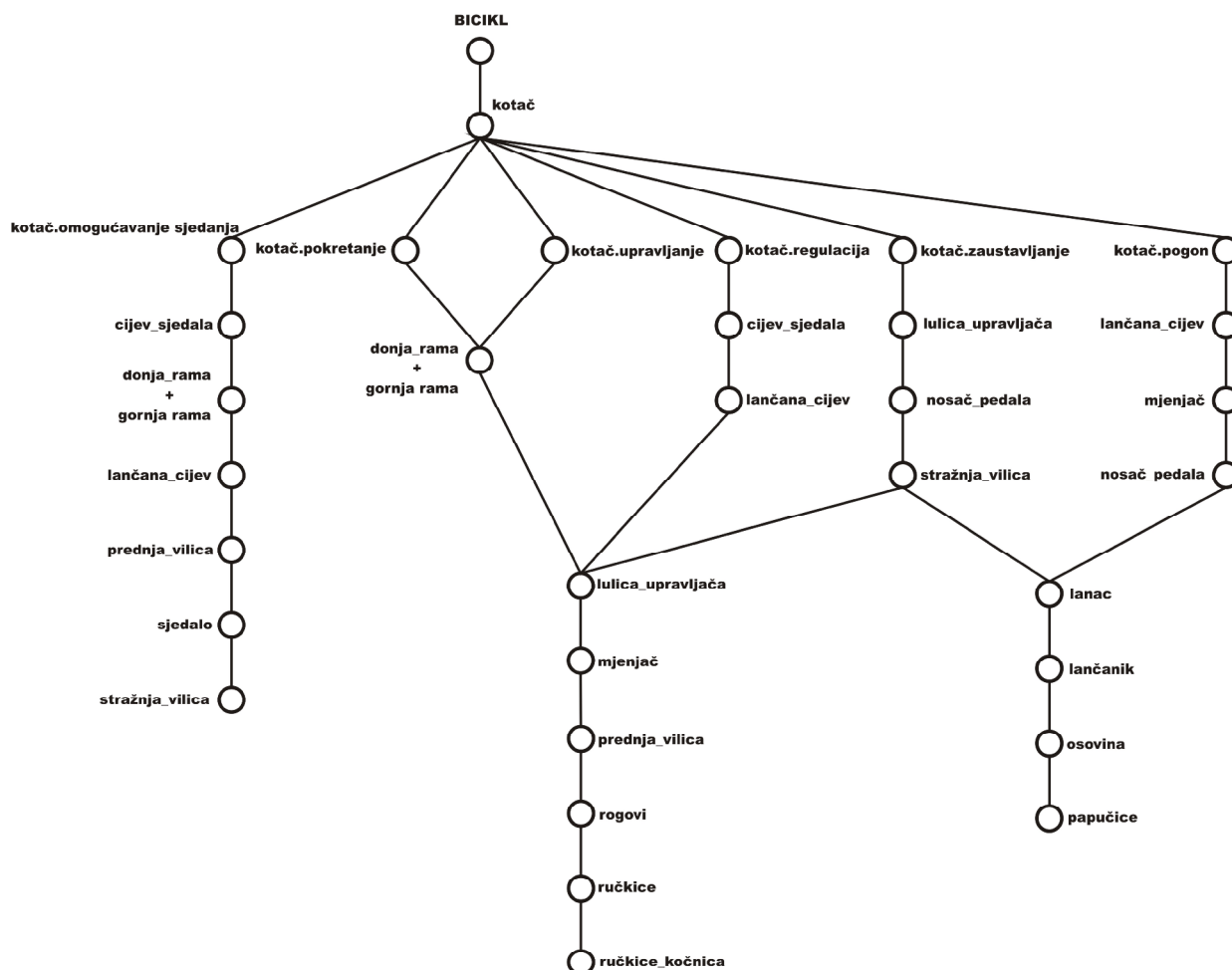
Slika 67. Identificiranje istih komponenti na stablu bicikla za inicijalni element kotač



Slika 68. Drugi korak u identificiranju istih komponenti u stablu



Slika 69. Treći korak u identificiranju istih komponenti u stablu



Slika 70. Konačno stablo bicikla za inicijalni element kotač

7. Zaključak

U radu je objašnjena formalna gramatika, gramatika oblika i gramatika proizvoda, te je dan pregled njihovih primjena u razvoju proizvoda.

Prva primjena gramatike oblika u oblikovanju koristila se uglavnom za analizu već postojećih arhitektonskih rješenja. Kako je područje računalom integriranog razvoja proizvoda postajalo sve razvijenije i prisutnije na području razvoja sustava i metoda oblikovanja, pojavio se novi interes za razvojem gramatika oblika, te kasnije i gramatika proizvoda.

Činjenica da je gramatika oblika metoda kojom je moguće manipulirati i upravljati oblicima, ali i generirati rješenja koristeći elemente koje određuje konstruktor po vlastitom izboru, potiče mnoga razmišljanja o primjeni ove metode stvaranja novih konstrukcijskih rješenja. Kada se govori o razvoju proizvoda danas, neupitno je da se radi o multidisciplinarnom procesu. Upotrebom gramatike oblika i gramatike proizvoda moguće je modelirati rješenja koja će biti dio istog jezika i slijedno tome biti razumljiva svim akterima koji sudjeluju u procesu razvoja proizvoda i stvaranja novih koncepata proizvoda i dijelova proizvoda.

Zbog načina na koji se definiraju pravila oblikovanja koji je *step-by-step*, čuvanje znanja o procesu razvoja proizvoda i procesa konstruiranja je uvelike olakšano. U literaturi se često navodi da se radi o *CAD-friendly* okolišu u kojem je gramatika definirana, što je prednost kada se govori o konstruiranju u danas neizbježnim CAD sustavima. Dalje je moguće zabilježiti znanja o eventualnim novim rješenjima i izumima, te ih implementirati za bilo koji novi proizvod, te se otvara mogućnost kombinacije rješenja i ispitivanja funkcionalnih značajki novih rješenja. Ostale prednosti korištenja gramatike oblika je lakše projektiranje i određivanje zadataka pojedinih sudionika u procesu razvoja proizvoda, te mogućnost kritičkog rasuđivanja o odabranom rješenju, kao i mijenjanje parametara, te praćenje promjena koje se događaju na modelu proizvoda.

Zbog fleksibilnosti načina oblikovanja, te ostalih prednosti koje su nabrojane ovim radom, gramatika proizvoda koristi se za razvoj konstrukcije automobila (BMW, Buick...) kao i manjih predmeta kao što su kućanski aparati (aparat za kavu) i uredski materijal (kemijska olovka). Zbog velike količine informacija koje ulaze u proces razvoja proizvoda očekuju se mnoge teškoće prilikom projektiranja ovakvih sustava za generiranje koncepata. Radi o iznimno kompleksnim strukturama takvih sustava i interakcijama između pojedinih dijelova sustava. Posljedično je za zaključiti da projektiranje takvih sustava uzima mnogo vremena i potreban je sistematičan pristup problemu.

Na samom kraju rada ilustriran je rad u novom programu Gramatika Proizvoda razvijenom 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.

8. Literatura i web-izvori

- [I] Klaić, B., (1974.), *Veliki rječnik stranih riječi*, Zagreb: Zora, str. 469.
- [II] Šentija, J. eds., (1977.), *Opća enciklopedija*, Zagreb: Jugoslavenski leksikografski zavod, str. 243.
- [III] Gibbon, D., (28.11.1997.), *Introduction to Computational Phonology AMU English Department, Poznan 1-3 December 1997*. [Internet], <raspoloživo na: <http://coral.lili.uni-bielefeld.de/Courses/Winter97/IntroCompPhon/compophon/compophon.html>>, [pristupljeno 30.09.2008.].
- [IV] Chomsky, N., (2002.), *Syntactic Structures, Second Edition*. Berlin: Mouton and Co., The Hague.
- [V] Kiš, M., (2000.), *Englesko-hrvatski i hrvatsko-engleski informatički rječnik*, Zagreb: Naklada Ljevak, str. 399.
- [VI] Jiang, T. et al., (n.d.), *Formal Grammars and Languages*, [Internet], <raspoloživo na: <http://www.cs.ucr.edu/~jiang/cs215/tao-new.pdf>>, [pristupljeno 02.09.2008.].
- [VII] Stiny, G., (1976.), *Two exercises in formal composition*, Environment and Planning B: Planning and Design, 3, str. 187-210.
- [VIII] Knight, T.W., (2000.), *Shape grammars in education and practice: History and prospects*, [Internet], <raspoloživo na: <http://www.mit.edu/~tknight/IJDC>>, [pregledano 24.09.2008.].
- [IX] Tapia, M.A.; Duarte, J.P., (1999.), *Shape grammars*, [Internet], <raspoloživo na: <http://www.shapegrammar.org/intro.html>>, [pregledano 24.09.2008.].
- [X] Stiny, G., (1980.), *Kindergarten grammars: Designing with Froebel's building gifts*, Environment and Planning B: Planning and Design, 3, str. 409-462.

[XI] Stiny G.; Gips J., (1972.), *Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture*, Freiman, C.V. ed., North Holland, Amsterdam: Information Processing, 71, str. 1460-1465, [Internet], <raspoloživo na: <http://www.shapegrammar.org/ifip/ifip1.html>>, [pristupljeno 24.09.2008.].

[XII] Gips, J., (1975.), *Shape Grammars and their Uses*, Basel: Birkhauser.

[XIII] Stiny, G., (1975.), *Pictorial and Formal Aspects of Shapes and Shape Grammars*, Basel: Birkhauser.

[XIV] Stiny, G.; Gips, J., (1978.), *Algorithmic Aesthetics*, Berkeley: University of California Press.

[XV] Stiny, G.; Mitchell, W.J., (1978.), *The Palladian Grammar*, Environment and Planning B: Planning and Design, 5, str. 5-18.

[XVI] Stiny, G.; Mitchell, W. J., (1980.), *The grammar of paradise: on the generation of Mughal gardens*, Environment and Planning B: Planning and Design, 7, str. 209-226.

[XVII] Duarte, J.P., (1998.), *Using Grammars to Customize Mass Housing: The Case of Siza's Houses at Malagueira*, Lisbon, Portugal: IAHS World Congress on Housing.

[XVIII] Duarte, J.P., (1999.), *Democratized Architecture: Grammars and Computers for Siza's Mass Housing*, Proceedings of the International Conference on Enhancement and Promotion of Computational Methods in Engineering and Science (EPCMES 99), Macau, China: Elsevier Press.

[XIX] Duarte, J., (2000.), *Customizing mass housing: a discursive grammar for Siza's Malagueira houses*, PhD-Thesis. Faculty of Architecture, Massachusetts Institute of Technology.

[XX] Tapia, M.A., (1999.), *A visual implementation of a shape grammar system*, Environment and Planning B: Planning and Design, 26, str. 59-73.

[XXI] Gips, J., (n.d.), *Computer Implementation of Shape Grammars*, [Internet], <raspoloživo na: <http://www.shapegrammar.org/ifip/ifip1.html>>, [pristupljeno 24.09.2008.].

[XXII] Wu, Q., (2005.), *Bracket teaching program: A shape grammar interpreter*, Automation in Construction, 14, Elsevier B.V.

[XXIII] McGill, M.C., (n.d.), *Shaper2D: An Interactive Shape Grammar Interpreter*, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.

[XXIV] McGill, M.C., (2001.), *A Visual Approach for Exploring Computational Design*, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.

[XXV] McGill, M.C.; Knight, T., (n.d.), *The Development Of Shaper2D*, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.

[XXVI] Wells, A.B., (1994.), *Grammars for Engineering Design*, Pasadena, California: California Institute of Technology.

[XXVII] Aragwal, M.; Cagan, J., (2000.), *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, str. 431–439.

[XXVIII] Gero, J.S.; Louis, S.J.; Kundu, S., (1994.), *Evolutionary Learning of Novel Grammars for Design Improvement*, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 8(3), str. 83–94.

[XXIX] Gero, J.S.; Louis, S.J., (1995.), *Improving Pareto Designs Using Genetic Algorithms*, Microcomputers in Civil Engineering, 10(4), str. 241–249.

[XXX] Speller, T.H.; Whitney, D.; Crawley, E., (2007.), *Using Shape Grammar to Derive Cellular Automata Rule Patterns*, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.

[XXXI] Yaner, P.W., (2007.), *From Shape to Function: Acquisition of Teleological Models from Design Drawings by Compositional Analogy*, College of Computing Georgia Institute of Technology.

[XXXII] Winston, P.H., (1984.), *Artificial Intelligence*, Massachusetts Institute of Technology, Addison-Wesley Publishing Company.

[XXXIII] Chin, C. C. R., (2004.), *Product Grammar: Constructing and Mapping Solution Spaces*, Massachusetts Institute of Technology.

[XXXIV] Prats, M.; Earl, C.F., (2006.), *Exploration Through Drawings In The Conceptual Stage of Product Design*, Design Computing and Cognition, Springer.

[XXXV] Chase, S.C., (1996.), *Design Modeling With Shape Algebras and Formal Logic*, Tucson: ACADIA '96 Proceedings.

[XXXVI] Stouffs, R.; Krishnamurti, R., (n.d.), *The complexity of the maximal representation of shapes*, Pittsburgh: Carnegie Mellon University.

[XXXVII] Geyer, P., (2007.), *Multidisciplinary grammars supporting design optimization of buildings*, London: Springer-Verlag London Limited.

[XXXVIII] Hubka, V., Andreasen, M. M., Eder, W. E., (1988.), *Practical Studies in Systematic Design*, Butterworths & Co. (Publishers) Ltd.

[1] <http://www.shapegrammar.org/index.html>

[2] http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_abstract.htm

[3] <http://iaaa.nl/cursusAA&AI/stiny.html>

[4] <http://electron.mit.edu/~odie/grammars/>

[5] http://www.cs.umbc.edu/~squire/reference/lang_def.shtml#Language

[6] <http://planetmath.org/encyclopedia/GenerableByAFormalGrammar.html>>

SAŽETAK RADA

Ida Midžić: *Primjena formalne gramatike u razvoju proizvoda*

Glavna istraživanja ovog rada temelje se na istraživanju eminentnih profesora sa vodećeg američkog fakulteta MIT-a na području gramatike oblika. Teoriju gramatike oblika započeli su profesori George Stiny i James Gips. Iako je metoda prve primjene pronašla u području arhitektonskih znanosti ubrzo su se prepoznale njezine značajke koje su mogle biti primijenjene u strojarstvu i srodnim djelatnostima. U radu je dan pregled gramatike oblika od njenih izvornih primjena, te od teorijskih postavki do primjene u obliku računalnih programa koje su programirali eminentni autori iz tog područja.

Metoda gramatike oblika svoje korijene pronalazi u radu američkog lingvистa i sociologa Noama Chomskog i njegovom djelu „Syntactic structures.” Stoga su u radu ukratko navedene osnovne definicije jezika i gramatike, te spomenuta Chomskyjeva hijerarhija jezika i gramatike. Na kratkom primjeru objašnjena je gramatika oblika, a u nastavku rada je poglavlje posvećeno gramatici proizvoda koja je metoda proizašla iz same gramatike oblika, a može se primijeniti u strojarstvu. Nakon opisa rada koji se bavi gramatikom proizvoda, a također je napravljen na MIT-u slijedi primjena metode gramatike proizvoda na odabranom primjeru bicikla. Pomoću računalnog programa Gramatika Proizvoda koji je razvijen u sklopu ovog rada generira se gramatika odabranog proizvoda na nivou njegovih komponenata. Nakon što korisnik u korisničkom sučelju definira najvažnije elemente koji opisuju gramatiku, program generira grafički prikaz gramatike iz kojeg je moguće iščitati pravila koja opisuju gramatiku odabranog proizvoda. Na primjeru bicikla opisan je rad u programu, te je za tri odabrane komponente bicikla prikazana strukture bicikla u obliku stabla bicikla.

Ključne riječi: formalna gramatika, gramatika oblika, gramatika proizvoda, razvoj proizvoda

SUMMARY

Ida Midžić: Application of formal grammars in product development

In this work the observations are made regarding the application of formal grammars in the product development process. Application of the formal grammars for the engineering problem solving is motivated by „Syntactic Structures” written by the American linguist and sociologist Noam Chomsky. Some basic definitions of the formal languages and grammar are stated in this work as well as the Chomsky’s hierarchy of formal languages and grammars.

The first application of formal grammars for the product development purposes has been introduced by professors George Stiny and James Gips through shape grammar theory. Although the first implementations of the shape grammars have been predominantly for the architecture and civil engineering, soon the benefits have been recognized and the approach become widely accepted by other engineering branches. In this work a brief outlook of shape grammars, the theory behind them and some of the first successful examples of their application has been presented.

Product grammar as a method can be applied in mechanical engineering. Building on the shape grammars examples, the basic definition of the product grammars has been revised and presented in an informal way. Basic idea about how to model a product on the component level using grammars has been adopted from the MIT work on product grammars intended for the automotive industry.

Within this work a computer program “Gramatika Proizvoda” is developed as a tool for generation of grammar which is based upon product’s components. The definition of grammar is based upon the relationship between the product’s function structure and available set of components that can realize these functions. After the user defines some of the most important elements of product grammar in the user interface, the program generates grammar automatically. Working with the computer program is further described on the real-life engineering example.

Key words: formal grammar, shape grammar, product grammar, product development

Filename: Midzic - Primjena formalne gramatike u razvoju
 proizvoda.doc
Directory: D:\Ida's Documents\Rektorova
Template: C:\Documents and Settings\Ida\Application
 Data\Microsoft\Templates\Normal.dot
Title: Primjena formalne gramatike u razvoju proizvoda
Subject: Rad za Rektorovu nagradu
Author: Ida Midžić
Keywords: gramatika, gramatika oblika, gramatika proizvoda, razvoj
 proizvoda
Comments:
Creation Date: 29.9.2008 12:42:00
Change Number: 1.401
Last Saved On: 29.4.2009 23:58:00
Last Saved By: Idriz Midžić
Total Editing Time: 4.406 Minutes
Last Printed On: 30.4.2009 0:05:00
As of Last Complete Printing
 Number of Pages: 86
 Number of Words: 15.500 (approx.)
 Number of Characters: 88.356 (approx.)