

RAČUNAROM PODRŽANO PROJEKTOVANJE PNEUMATIKA

**Prof. dr Miroslav Trajanović,
Mr Miloš Stojković,
Mr Nikola Korunović,
Mašinski fakultet, Niš**

U radu je opisano originalno i prilagođeno rešenje za računarski podržano projektovanje pneumatika i kalupa za vulkanizaciju. U njemu se izneti problemi sa kojima se suočio združeni tim stručnjaka sa Mašinskog fakulteta u Nišu i fabrike Autoguma-Tigar iz Pirota tokom istraživanja i razrade optimalne metodologije za brzi razvoj virtuelnog prototipa pneumatika.

Način projektovanja pneumatika koji će biti ukratko izložen u daljem tekstu predstavlja rezultat višegodišnjih istraživanja (1998-2004) i analiza u oblasti simultanog procesa projektovanja pneumatika. Osnovni cilj istraživanja bio je da se smanji redundantnost delatnosti koje se odvijaju u toku projektovanja. U skladu sa tim, zahtevano je da novi pristup u projektovanju pneumatika garantuje mogućnost simultanog odvijanja ostalih razvojnih poslova i shodno tome doprinese povećanju produktivnosti.

UVOD – PREGLED ODVIJANJA PROCESA RAZVOJA AUTOMOBILSKOG PNEUMATIKA

Prilikom razmatranja organizacije razvojnih poslova koji se javljaju u procesu projektovanja automobilske pneumatike mogu se uočiti dve osnovne organizacione celine:

- Dizajn i konstrukcija automobilske pneumatike, i
- Konstrukcija i tehnologija izrade kalupa za vulkanizaciju pneumatike.

U svetlu primene računarskih tehnologija u procesu razvoja automobilske pneumatike mogu se prepoznati tri glavna pravca (Slika 1):

1. Izrada marketinških virtuelnih modela automobilske pneumatike (ovi modeli su veoma bitni za preliminarne odluke menadžmenta o nastavku projekta!),
2. Izrada virtuelnih modela automobilske pneumatike za inženjerske analize i simulacije,
3. Izrada virtuelnih modela kalupa za vulkanizaciju automobilske pneumatike.

Razlike koje postoje između virtuelnih modela koji se koriste u ova tri pravca, potiču od količine i vrste informatičkog sadržaja koji svaki od njih poseduje. U zavisnosti od aplikacije, različiti su i zahtevi za količinom i vrstom informatičkog sadržaja koje treba da poseduje model. Tako na primer tzv. marketinški model može da isključi veliki broj detalja, dok model koji se koristi kod analiza MKE sadrži jako puno

informacija koji se tiču ne samo geometrije već i fizičkih osobina realnog modela. Takođe, izuzetno velika količina podataka je prisutna kod virtuelnog modela kalupa (alata za vulkanizaciju) jer se na osnovu ovog modela projektuje tehnologija izrade stvarnog prototipa i kasnije kalupa koji se koristi u redovnoj proizvodnji. Ipak, svaki od ovih virtuelnih modela čini deo jedinstvenog (integrisanog) modela proizvoda čija je informatička sadržina prema svojim aplikativnim potrebama razdeljena.

FAZA: DIZAJN I KONSTRUKCIJA AUTOMOBILSKOG PNEUMATIKA

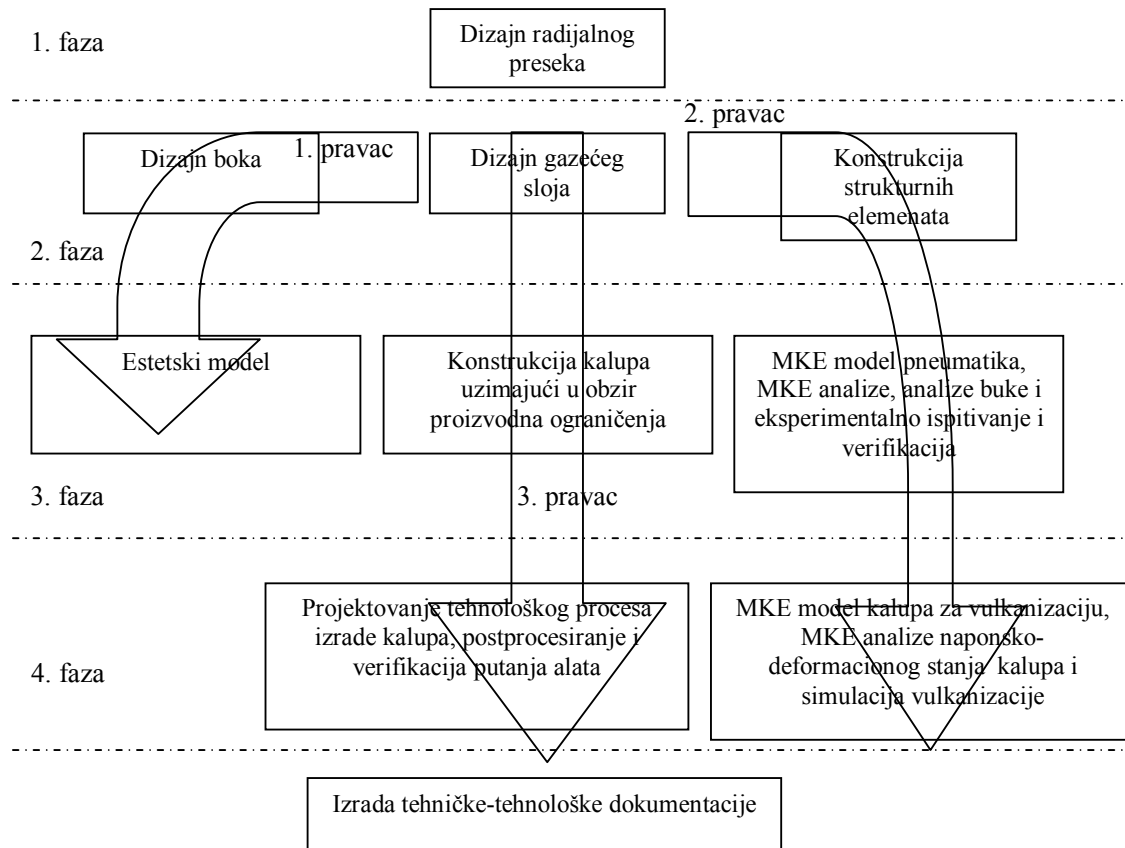
Konstruisanje meridijalnog ili radijalnog profila (preseka) torusa automobilske pneumatike.

Radi se o procesu stvaranja skupa krivih u meridijalnoj ravni koji predstavlja pre svega spoljnu konturu ovog profila, ali obično sadrži i projekcije pojedinih kanala koji su prisutni u gazećem sloju pneumatike na presečnu meridijalnu ravan (Slika 2).

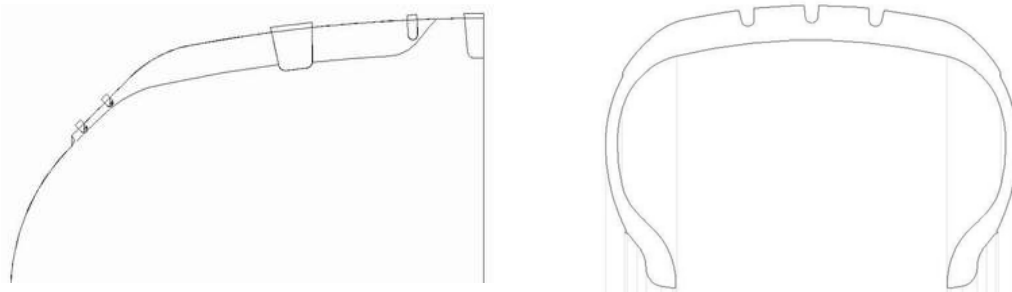
Konstrukcija ovog profila ima neposredan uticaj na:

- Gabaritne i druge specifične dimenzije (mere) gazećeg sloja pneumatike, kao i na meridijalni oblik gazećeg sloja. Na taj način oblik ovog profila ima posredan uticaj i na mehanička i termička svojstva gazećeg sloja pneumatike,

- Mehanička svojstva prednapregnute konstrukcije pneumatika (držanje, krutost, *aquaplaning*, buku ...),
- Vulkanizirajuća svojstva pneumatika,



Slika 1. Pravci razvoja virtuelnog modela automobilskog pneumatika /3/, /1/



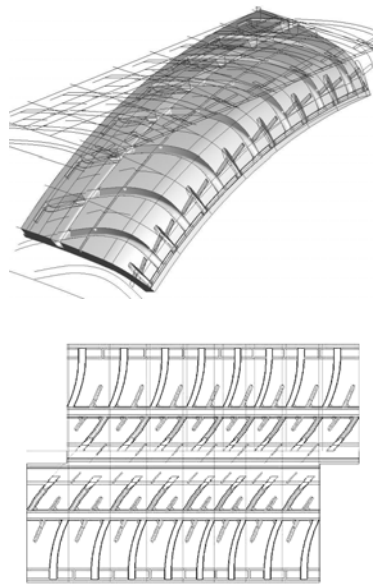
Slika 2. Model radijalnog (meridijalnog) preseka pneumatika i gazećeg sloja /4/

Projektovanje gazećeg sloja automobilskog pneumatika.

Radi se o procesu stvaranja skupa krivih u zamišljenoj ravni projektovanjem krivih koje se realno nalaze na toroidalnoj spoljnoj površini automobilskog pneumatika (predstavljajući gornje ivice kanala prisutnih u gazećem sloju) na ravan koja tangira ovu toroidalnu površinu u izvesnoj tački ekvatorijalne linije .

Dizajn gazećeg sloja automobilskog pneumatika ima neposredan uticaj na:

- Estetiku,
- Mehanička i termička svojstva prednapregnute konstrukcije pneumatika (držanje, krutost, *aquaplaning*, buku i oscilatornu stabilnost ...),
- Vulkanizirajuća svojstva pneumatika,
- Tehnologičnost alata za vulkanizaciju (tzv. protektorskog prstena alata),



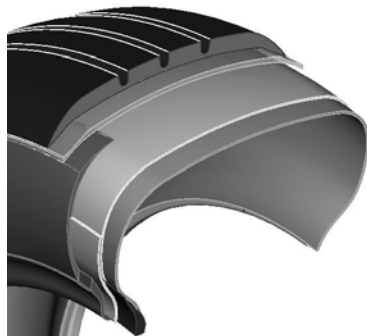
Slika 3. Model razvijenog dezena¹ gazećeg sloja (šara)

Konstruisanje strukturnih elemenata automobilskog pneumatika

Ovaj proces uključuje konstruktivnu razradu sastojaka pneumatika (karkasa, inerlajner, bok, stopa, žičani obruč, protektor ...) kao posebnih oblika unutar strukturnog sklopa pneumatika. Radi se o skupu pomoćnih krivih (linija) u meridijalnoj ravni koji izobražava konture strukturnih elemenata automobilskog pneumatika (Slika 4).

Model strukturnih elemenata automobilskog pneumatika služi za:

- pripremu modela za analizu i simulaciju ponašanja pneumatika u eksploatacionim uslovima (MKE analize), i
- utvrđivanje količine materijala koje treba upotrebiti (MRP), te shodno tome i procene troškova vezanih za sirovine.



Slika 4. Model sklopa strukturnih elemenata pneumatika

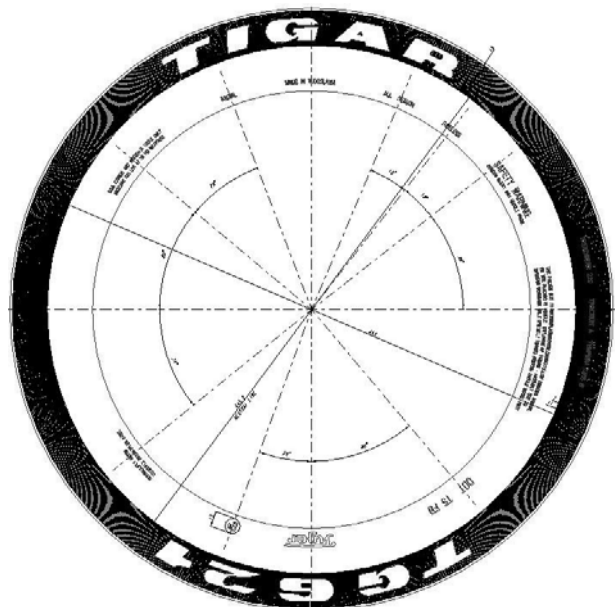
Dizajniranje gravure boka automobilskog pneumatika.

Radi se o procesu projektovanja skupa krivih u ravni paralelnoj ravni koja tangira bok (profila) pneumatika na mestu najveće širine (paralelna ekvatorijalnoj ravni). Ovaj skup krivih predstavlja konture estetskih elemenata i obaveznog tekstualnog sadržaja na boku automobilskog pneumatika (Slika 5).

Dizajn gravure boka automobilskog pneumatika utiče na (služi za analizu):

- Estetiku,
- Vulkanizirajuća svojstva pneumatika,
- Tehnologičnost alata za vulkanizaciju,

Kao što se može uočiti, prilikom izrade jezgra geometrije svih virtuelnih (digitalnih) modela automobilskog pneumatika preporučuje se primena tzv. *referentnih*- ili pomoćnih feature-a (ili tehničkih elemenata ili gradivnih sastojaka). Razlog ovakvom opredeljenju potekao je iz iskustva u radu sa geometrijskim feature-ima (posebno kod složenih geometrijskih modela). Zapravo, *referentni*- ili pomoćni feature-i, kao što su to prostorne ili ravske krive (tačke, ose i sl.), predstavljaju najfleksibilniju klasu tehničkih elemenata.



Slika 5. Model gravure boka automobilskog pneumatika

¹ Radi se o ivicama gazećeg sloja na spoljašnjoj toroidalnoj površini pneumatika.

Promene koje su u procesu razvoja neminovne, moguće je najlakše izvesti ukoliko se one neposredno izvršavaju nad pomoćnim tehničkim elementima. Proces regeneracije zapreminskih tehničkih elementa koji su spregnuti sa pomenutim pomoćnim tehničkim elementima odlikuje se većom stabilnošću, te su zbog toga i izmene ovih feature-a pouzdanije i lakše. Treba nastojati da se sve geometrijske relacije i ograničenja ugrade u modele, i/ili između modela koji su nastali upotrebom pomoćnih tehničkih elemenata. Na taj način zapreminski tehnički elementi, koji se referenciraju na pomoćne, bivaju u većoj meri oslobođeni neposredne zavisnosti od ostalih zapreminskih feature-a. Tek nakon formiranja ovakvog skupa *referentnih*-tehničkih elemenata kreće se u razvoj virtuelnih prototipova (modela) na bazi zapreminskih tehničkih elemenata. Prema tome, koristeći prethodno oformljeno jezgro geometrijskih informacija sačinjeno od *referentnih*-tehničkih elemenata, kreće se u:

- Izradu marketinških virtuelnih prototipova automobilskog pneumatika radi estetske ocene i izrade marketinškog nastupa.
- Izradu virtuelnih prototipova automobilskog pneumatika za analizu i simulaciju ponašanja pneumatika u eksploatacionim uslovima (MKE analize) kao i neposredno sprovođenje analiza, simulacija i eksperimenata ispitivanja.
- Izradu tehničke dokumentacije.

Faza: Konstrukcija i tehnologija izrade kalupa za vulkanizaciju automobilskog pneumatika

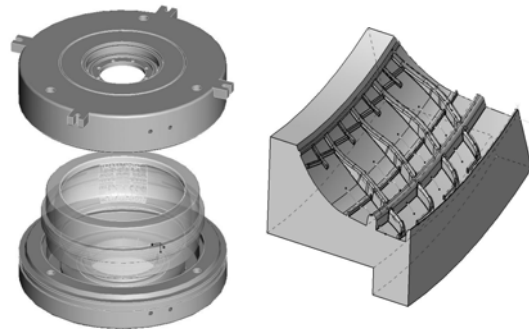
1. Izrada virtuelnog prototipa kalupa za vulkanizaciju automobilskog pneumatika na osnovu "kvalitetnih" virtuelnih prototipova pneumatika (sa dovoljnom količinom detalja). Radi se o izradi parametarskih 3D modela komponenti kalupa (ploče, prstenovi, bokovi, gravure, klizači, protektorski prstenovi ...), ali i čitavog sklopa (Slika 6).

Konstrukcija komponenti i sklopa kalupa utiče na:

- funkcionalna svojstva kalupa,
 - mehaničko-termička svojstva konstrukcije kalupa (vek trajanja),
 - tehnologiju izrade komponenti kalupa i montaže (sklapanja),
2. Izrada virtuelnih modela za analizu i simulaciju ponašanja kalupa u eksploatacionim

uslovima (MKE strukturne mehaničke i termičke analize, i simulacija vulkanizacije) i sprovođenje analiza, simulacija i ispitivanja.

3. Planiranje i projektovanje procesa izrade komponenti kalupa i simulacija procesa izrade i procesa montaže. Ovaj korak, pored ostalog obuhvata i izbor/projektovanje potrebnih alata za obradu i stezanje. Ujedno, u ovom koraku se utvrđuje tehnološki proizvod u celini:
 - cena proizvodnje,
 - vreme (potrebno da se sve komponente izrade i kalup montira),
 - kvalitet (vulkanizirajuća svojstva i vek trajanja),
4. Izrada tehničko-tehnološke dokumentacije.



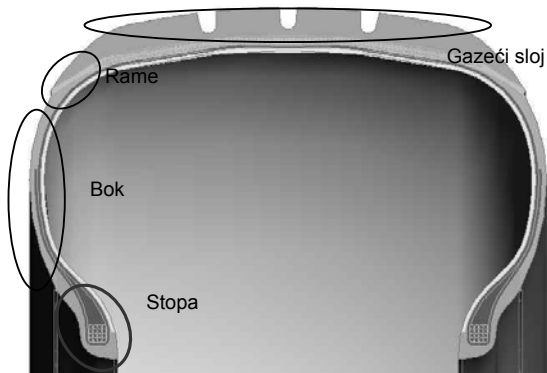
Slika 6. Sklop kalupa za vulkanizaciju automobilskog pneumatika (segment protektorskog prstena)

OPIS GEOMETRIJE I TOPOLOGIJE

Razmotrimo, sada, šta karakteriše geometriju automobilskog pneumatika. Pre svega, pneumatik je toroidalnog oblika što ukazuje da geometrija radijalnog poprečnog preseka ili profila pneumatika čini osnovni geometrijsko-topološki oblik. Posmatrajući radijalni profil pneumatika mogu se uočiti osnovne geometrijske sekcije pneumatika (Slika 7):

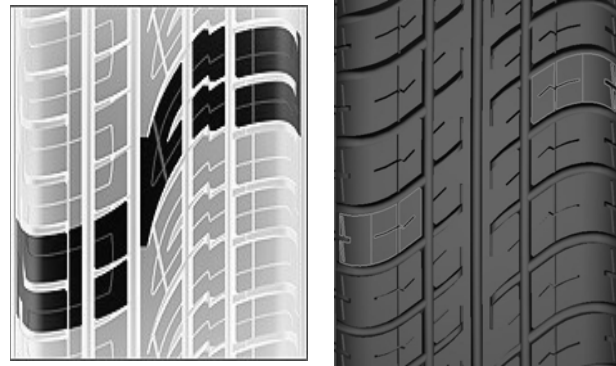
- Gazeći sloj,
- Rame,
- Bok, i
- Stopa.

Dezen automobilskog pneumatika karakteriše niz različitih kanala, usečenih u torus pneumatika na mesto gazećeg dela. Ono što je svojstveno za dezen jeste da određeni broj kanala formira grupu kanala koja se naziva još i *korak* dezena (Slika 8).



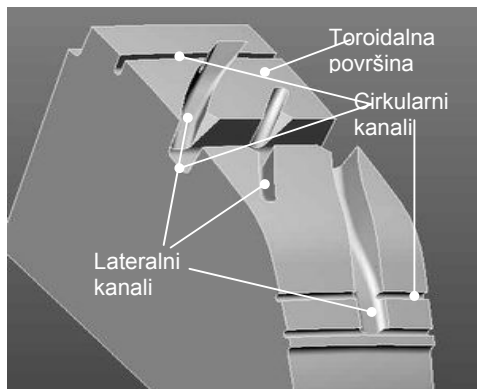
Slika 7. Radijalni profil automobilske pneumatike i geometrijsko-topološke sekcije

Jedan za drugim, koraci dezena nižu se po obodu torusa pneumatike čineći time gazeći sloj pneumatika. Sa stanovišta topologije oblika koji se javljaju na gazećem sloju pneumatika, mogu se izdvojiti dva osnovna tipa kanala u zavisnosti od opšteg pravca prostiranja po toroidalnoj površini pneumatika: lateralni i cirkularni /8/ (Slika 9 a). Na prvi pogled istovetni, koraci se razlikuju međusobno. Zapravo, na gazećem

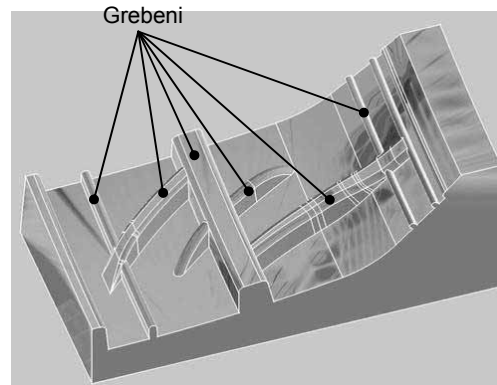


Slika 8. Korak dezena /1/

sloju pneumatika prisutno je više različitih grupa identičnih koraka. Svaka od grupa identičnih koraka može se predstaviti korakom – predstavnikom. U opštem slučaju, moguće je da se koraci - predstavnici grupa razlikuju ne samo prema dimenzijama kanala koji su uključeni u korak (dimenziona razlika), već i prema broju i obliku kanala (strukturnalna razlika).



a)



b)

Slika 9. Osnovni topološki elementi gazećeg sloja automobilske pneumatike: (a) segment gazećeg sloja na pneumatiku; (b) segment tzv. protektorskog prstena kalupa – odraz gazećeg sloja na kalupu

Geometrijsko-topološko mesto koje čini prelaz od gazećeg sloja ka boku (ili balonu) pneumatika naziva se rame pneumatika. Geometrijski detalji koji su prisutni u ovom delu, a koji skoro uvek sadrže elemente gazećeg sloja, ali i boka, igraju značajnu ulogu u procesu vulkanizacije, odvođenju toplote iz pneumatika kao i za stvaranje dobrog estetskog utiska.

Bok pneumatika obiluje geometrijskim formama koje predstavljaju tekstualne natpise koji su utvrđeni međunarodnim standardima o trgovinskoj deklaraciji proizvoda, kao i drugim posebno projektovanim i estetskim elementima (marketinški naziv modela, radla i sl.). Specifičnost ovih formi je u tome što se one dobijaju

obradom na mašinama za graviranje (ručnim pneumo-borerima, CNC glodalicama – gravirkama ili CNC mašinama za lasersko graviranje).

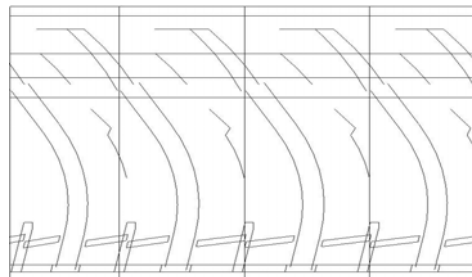
Sa stanovišta konstrukcije pneumatika, najbitnija je svakako geometrijska veza između sekcija boka i gazećeg sloja kao i između boka i stope. Ovi geometrijski odnosi proizvod su znanja u vezi sa konstrukcijom pneumatika, odnosno ti odnosi kriju u sebi odgovore na pitanja:

- Zašto je potrebno da ti odnosi budu baš takvi?
- Na koji način povezati geometrijske entitete između susednih sekcija (koji model geometrijskih relacija treba primeniti)?

Stopu pneumatika čini deo koji je najbliži naplatku i prema tome jasno je da je osnovna funkcionalnost stope u vezi sa montiranjem i naslanjanjem pneumatika na naplatak. Obzirom da je geometrija naplatka u delu koji je neposredno u kontaktu sa pneumatikom standardizovana, jasno je da su i osnovni geometrijski entiteti stope pneumatika takođe standardizovani.

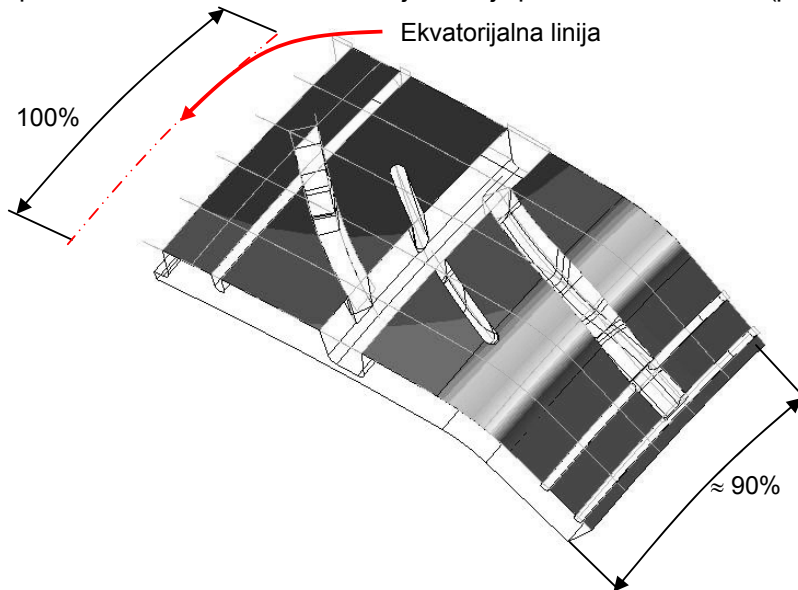
Problem meridijalnog sažimanja i toroidalnog oblika pneumatika

Prilikom izrade tehničke dokumentacije automobilskog pneumatika postoji problem pravilnog opisivanja geometrije, sličan problemu sa kojim se susreću kartografi. Kao u slučaju izrade geografskih karata nebeskih tela, kod dobijanja tehničkog crteža pneumatika potrebno je na dvo-dimenzionalnim projekcijama dati precizan (realističan) opis sferičnih, odnosno toroidalnih zapremina i površina i na njima prisutnih oblika (Slika 10). Da bi se prevazišao ovaj problem razvijen je standard po kome se izrađuju projekcije pneumatika. Taj standard (koji se danas uglavnom sreće u praksi) izveden je na osnovu potrebe standardizovanog metoda za dobijanje tehnološke dokumentacije koja predstavlja topološku kartu tačaka (uz nezanemarljiv stepen aproksimacije) koja se koristi za interpolaciono "provlačenje" putanja alata u procesu izrade alata za vulkanizaciju.



Slika 10. Primer tehničke dokumentacije dezena automobilskog pneumatika

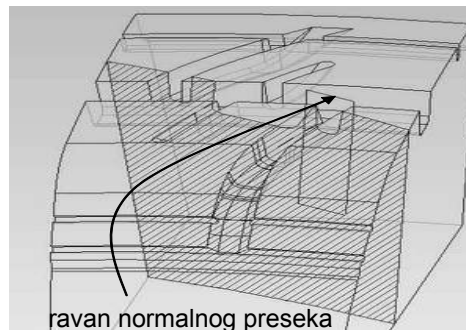
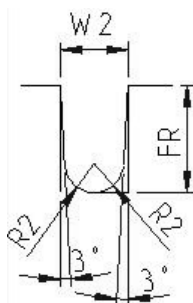
Prema tom standardu, tehnički crtež gazećeg sloja pneumatika veći deo geometrije opisuje na zamišljenom - razvijenom gazećem sloju (kaiš) ne uzimajući u obzir meridijalna sažimanja (Slika 11). To zapravo znači da tehnički crtež gazećeg sloja pneumatika predstavlja imaginarnu projekciju geometrije gazećeg sloja pneumatika na ravan koja tangira ekvatorijalnu liniju torusa pneumatika u izvesnoj tački. Prilikom projektovanja pneumatika uzima se da je lokacija tzv. *neutralne* linije istovetna lokaciji *ekvatorijalne* linije pneumatika (kružna linija koja se nalazi na sredini, na spoljašnjoj površini gazećeg sloja pneumatika). *Neutralnost* ove linije ogleda se u tome da ona ne trpi meridijalna sažimanja. Sva ostala zapremina, levo i desno od nje (i ispod nje), trpi pomenuta sažimanja i to u sve većoj meri kako se ide od neutralne - ekvatorijalne linije prema središtu torusa (prema stopi pneumatika).



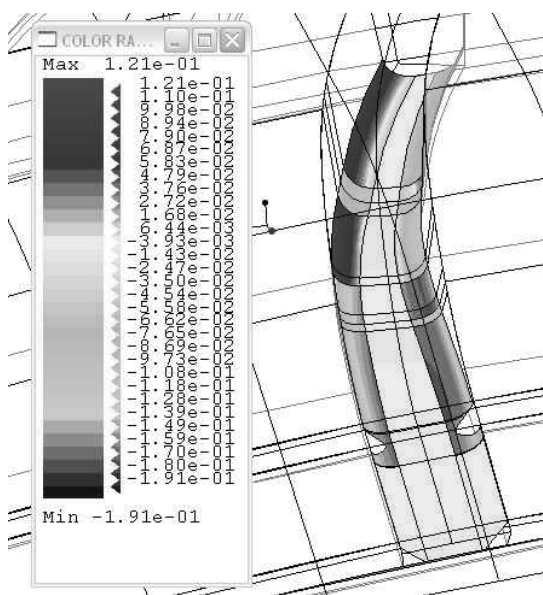
Slika 11. Spektralni prikaz meridijalnih sažimanja na toroidu pokazuje da 10 mm na ekvatorijalnoj krivoj odgovara oko 9 mm na rubovima gazećeg sloja

Prema tome, iako se opisivanje geometrije dezena automobilskog pneumatika izvodi po definisanom standardu, kako tehnički crtež predstavlja zamišljenu i nerealnu projekciju, treba znati da je toroidalni oblik pneumatika nemoguće pravilno i precizno opisati u 2-dimenzionalnom prikazu.

Kao poseban oblik problema meridijalnog sažimanja, javlja se problem predstavljanja prelaznih površina (poput krivina i zaobljenih ivica kanala). Parametri ovih površina se utvrđuju unutar imaginarnih tzv. normalnih preseka (npr. kanala – Slika 12).



Slika 12. Normalni presek kanala je u ravni normalnoj na središnju liniju prostiranja kanala u karakterističnoj tački (obično u tački gde je kanal najdublji)



Slika 13. Netangentne prelazne površine na zaobljenjima lateralnog kanala mogu predstavljati netehnološke forme

To je razlog zbog kojeg konstruktor, do trenutka realizacije 3D modela – prototipa, nema potpuno jasnu predstavu kako će one (prelazne površine) da izgledaju. Takođe, bez 3D modela nije moguće predvideti da li se projektovani oblici mogu izraditi u okviru postojeće tehnologije (primer zaobljenja lateralnog kanala na tangentnom spoju površina sa različitim krivinama – Slika 13).

PARAMETARSKO PROJEKTOVANJE AUTOMOBILSKOG PNEUMATIKA /4/

Da bi se izašlo u susret zahtevima savremenog razvoja automobilske pneumatike treba postići čitav niz preduslova. Jedan od tih preduslova je onaj koji se tiče izrade integrisanog modela proizvoda. Jezgro informacija sa kojima se manipuliše u svim razvojnim odeljenjima čine geometrijski podaci. Zapravo, iako se radi o

podacima koji služe za geometrijsko-topološko opisivanje proizvoda, oni istovremeno čine osnovni skup podataka koji se razmatra prilikom raznih analiza i simulacija:

- Analiza naponsko-deformacionih stanja i simulacija ponašanja konstrukcije samog pneumatika ili pojedinih njegovih sastavnih delova metodom konačnih elemenata u raznim uslovima rada,
- Simulacija vulkanizacije,
- Projektovanje, simulacija i tehnološka analiza procesa izrade kalupa za vulkanizaciju itd.

Geometrija i topologija automobilske pneumatike obiluje nizom egzotičnih oblika koje je veoma teško tehnički - korektno predstaviti (o problemu meridijalnog sažimanja je već bilo reči). Takođe, značajno svojstvo ovog proizvoda je i njegova "familija" - isti model automobilske pneumatike mora da bude izrađen u više veličina poput konfekcijskih proizvoda.

Iz izloženog se nameće pitanje: Kakva svojstva treba da ima geometrija (podaci koji opisuju geometriju) sa kojom se manipuliše u razvoju da bi bila idealna za koncept savremenog razvoja pneumatike? - Najjednostavniji odgovor na ovo pitanje bi bio da mora da bude sposobna:

1. Da se brzo menja - *fleksibilnost*,
2. Da trpi izmene i uticaj od strane više različitih učesnika u razvoju- *asocijativnost*,
3. Da ugradi u sebe složene strukture podataka u vidu pravila za njeno stvaranje, analizu i izmene – *na-znanju-zasnovana*.

Da bi bila fleksibilna, asocijativna i na-znanju-zasnovana mora da bude *geometrija kojom se upravlja promenljivama*, ili kako se to često naziva u terminologiji savremenih CAD sistema - parametarska.

Prepoznavanje geometrijskih parametara i njihovih odnosa i veza

Ono što je poznato i onima koji se ne bave stručno pneumaticima, a u vezi je sa geometrijom pneumatika jesu oznake koje se obavezno nalaze, zapisane u standardnoj formi, na bokovima pneumatika: 175/70 R 14, (slika 14).



Slika 14. Ugradni parametri automobilske pneumatike /7/, /6/

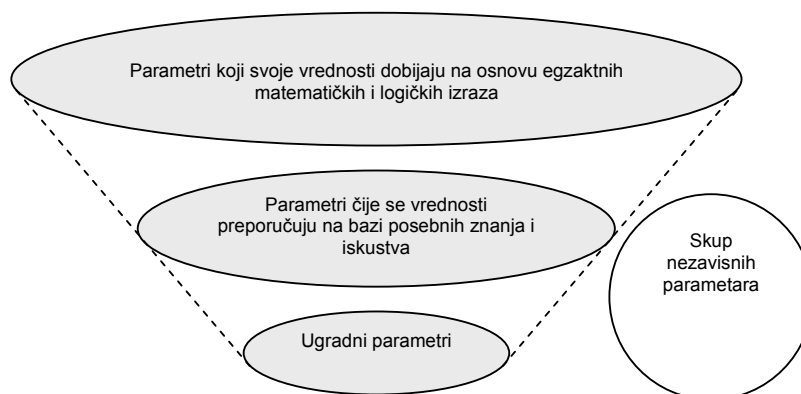
Upravo ova tri broja na pneumatiku (*serijska* definiše visinu torusa = $175 \times 70\%$) predstavljaju osnovna tri parametra geometrije automobilske pneumatike (parametri ugradnje). Ugradni parametri pneumatika obrazuju familiju modela (jedan isti model se izrađuje u više *dimenzija* - kombinacija osnovna tri parametra: 175 R13 70, 175 R14 70, 185 R14 65, ...). Na njihovim vrednostima, razvija se složena mreža parametara kojima se upravlja geometrijom pneumatika (Slika 15). Prvi naredni sloj parametara čine oni koji svoje vrednosti izvlače iz niza mogućih vrednosti koje se iskustveno i na bazi posebnih znanja preporučuju, a u skladu sa vrednostima ugradnih parametara.

Broj i raspored koraka u gazećem sloju automobilske pneumatike (od suštinskog značaja za stvaranje vibracija, ali i buke prilikom okretanja) predstavlja “na znanju zasnovanu” informaciju:

Redni broj koraka u gazećem sloju	1	2	3	4	5	6
Vrsta koraka	A	B	B	D	C	F

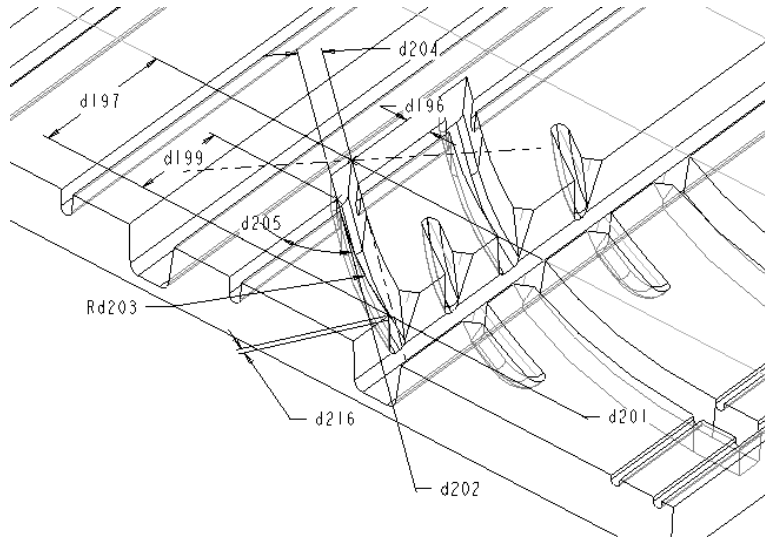
Tabela 1. parametar: Vrsta koraka - predstavnika grupe identičnih koraka, dat je preko naziva ovih vrsta (npr. A, B, C, D, E, F)

Sledeći skup parametara (na primer, neki od dimenzionih parametara geometrije kanala u gazećem delu) dobijaju svoje vrednosti na osnovu egzaktnih matematičkih izraza u kojima posredno, preko “na znanju zasnovanih” parametara, ali i neposredno figurišu neki od osnovnih parametara (Slika 16).



Slika 15. Struktura parametara

Naravno, postoji i veliki skup dimenzija čije su vrednosti potpuno proizvoljne, odnosno po slobodnoj volji konstruktora. Ipak, i te promenljive, putem mehanizma parametarskog modela, mogu biti efikasno iskorišćene radi brzih izmena modela.



Slika 16. Gabariti koraka (na slici parametar d197) su u egzaktnoj - matematičkoj zavisnosti od gabaritnih dimenzija pneumatika

Već na prvi pogled, jasno je da je mreža geometrijskih parametara jako složena, pri čemu se "najgušći" deo te mreže odnosi na strukturu parametara koji upravljaju geometrijom gazećeg dela (sloja) pneumatika ili tzv. dezena. Mreža parametara koji upravljaju geometrijom dezena, takođe se može podeliti u tri sloja:

Prvi - broj, raspored i gabariti koraka – predstavnika stoje u neposrednoj zavisnosti od gabaritnih dimenzija pneumatika (npr. Prečnik pneumatika, odnosno obimna dimenzija protektorskog prstena alata);

Drugi – "gabaritne" dimenzije koraka-predstavnika neposredno utiču na specifične dimenzije kanala koji ulaze u njegov sastav, te prema tome i na sve detalje geometrije samog koraka;

Treći - relativna lokacija i dimenzije pojedinih kanala u koraku dezena, takođe se definišu preko međusobne matematičke veze pozicije i dimenzija samih kanala.

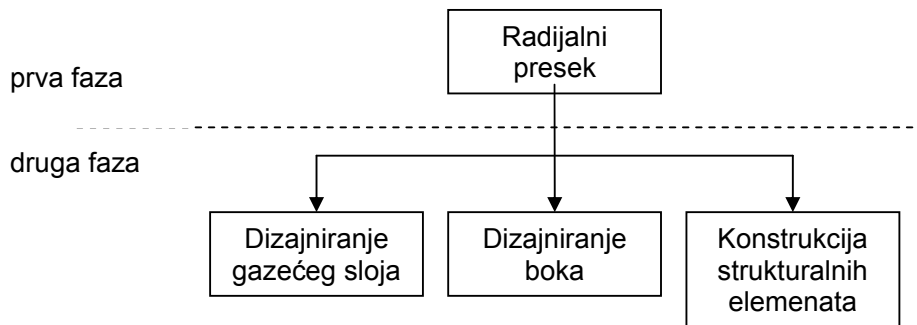
Postupak projektovanja /5/

Jezgro virtuelnog modela automobilske pneumatike čine informatički sadržaji koji opisuju geometriju jedinstvenog modela automobilske pneumatike. Proces stvaranja tzv. jezgra virtuelnog modela, treba da predstavlja začetak procesa razvoja svih

drugih virtuelnih modela automobilske pneumatike. U početku procedure projektovanja automobilske pneumatike potrebno je da se čitava mreža parametara, koji utiču na geometriju pneumatika, ustroji u računarski kontrolisanu strukturu. Time se, pre svega, stvara preduslov za maksimalno ubrzanje procesa projektovanja automobilske pneumatike. Ujedno, to je preduslov i za maksimalno skraćivanje vremena potrebnog za sprovođenje raznih analiza, simulacija i konačno procesa projektovanja tehnologije izrade kalupa za vulkanizaciju. U naporu da se stvori takva struktura, osmišljena je originalna procedura geometrijskog parametarskog projektovanja (modeliranja) automobilske pneumatike koja treba da maksimalno iskoristi prednosti koje nude CAD alati savremenih integrisanih CAx sistema.

Pre svega, deo procesa projektovanja u kome se formira oko 80% mreže parametara koji upravljaju geometrijom pneumatika, je *razbijen* na dve glavne faze (Slika 17):

1. Faza modeliranja spoljašnje konture poprečnog (radijalnog) preseka pneumatika,
2. Faza modeliranja geometrije -
 - a) gazećeg dela (dezena),
 - b) boka pneumatika (natpis i estetski oblici koji se graviraju) i
 - v) strukturnih sastojaka konstrukcije pneumatika (karkasa, protektor, ...)



Slika 17. Prve dve faze u projektovanju (definisaniu geometrije) pneumatika

U prvoj fazi, uvode se osnovni geometrijski parametri (širina, prečnik naplatka, serija profila – Slika 18). Zatim se uključuje skup iskustvenih i *na znanju zasnovanih* geometrijskih parametara (to mogu biti i razna geometrijska ograničenja) koji definišu geometriju radijalnog

preseka pneumatika (Slika 19), a takođe, tu su i geometrijski parametri gazećeg dela pneumatika. U ovoj fazi se stvara i tabela kombinacijâ vrednosti osnovnih i izvedenih parametara - familija novog modela pneumatika.

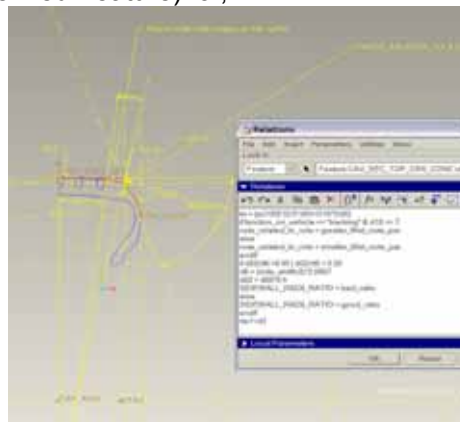
TYRE_SIZE	String	295/60 R 22.5
LI_MAX	Real Number	149.000000
LI_MIN	Real Number	146.000000
RIM_WIDTH	Real Number	9.000000
SECTION_WIDTH	Real Number	292.000000
OVERALL_DIAM	Real Number	926.000000
LCPAS	Real Number	6500.000000
LCPAD	Real Number	12000.000000
IP	Real Number	9.000000
RIM_DIAM	Real Number	22.500000
SERIES	Real Number	60.000000
FUNCTION_ON_VEHICLE	String	GUIDE
FUNCTION_QUOTIENT	Real Number	0.980000
TW	Real Number	120.000000
CAV_SEC_TOP_CRV_CONV	Integer	0
CAV_SEC_TOP_CRV_CONC	Integer	1
CAV_SEC_RIM_CRV_LT	Integer	1
CAV_SEC_RIM_CRV_CB	Integer	0
RTW1	Real Number	727.000000
GROOVES_NUMBER	Real Number	3.000000

Slika 18. Osnovni skup parametara sa kojim se kreće u dalji razvoj i projektovanje pneumatika

U drugoj fazi, istovremeno i usaglašeno u više razvojnih odeljenja, pristupa se razradi dezena gazećeg dela, boka i strukturalnih elemenata (priprema modela za analizu MKE). Jasno je da drugu fazu odlikuje kolaborativni rad tri sastava stručnjaka u različitim oblastima projektovanja u uslovima smanjenog projektantskog manevarskog prostora što je uzrokovano geometrijskim ograničenjima nastalim u prethodnoj fazi. Iako su sve tri podfaze (gazeći deo, bok i strukturalni elementi) podjednako interesantne, ipak se, obzirom na svoju složenost, parametarsko modeliranje gazećeg dela izdvaja. Ispravna parametrizacija i način na koji se modelira geometrija dezena (gazećeg dela ili sloja) predstavlja mesto u razvoju automobilske pneumatika koje, najčešće u najvećoj meri, doprinosi smanjenju troškova razvoja. Iz tog razloga, osmišljavanju ovog dela razvoja dat je poseban značaj. Rešenje ovog problema je zasnovano na upotrebi *korisnički-definisanih* ili *sastavljenih* tehničkih elemenata (UDF : User Defined Feature) /3/, /2/.

```

P TREAD_WIDTH PARAMETER AT PART LEVEL GETS ITS VAL
D62 = SECTION_WIDTH/2
/* D48 = ((OVERALL_DIAM-RIM_DIAM*25.4)/2)*0.45
D49 = (OVERALL_DIAM-RIM_DIAM*25.4)/2
/* D55 = SECTION_WIDTH/2
/* D23 = ((OVERALL_DIAM-RIM_DIAM*25.4)/2)*0.45
D12 = RIM_DIAM*25.4/2
D21 = OVERALL_DIAM/2
D26 = RIM_WIDTH*25.4/2
D26 = 0.55*(OVERALL_DIAM-RIM_DIAM*25.4)/2
D34 = (RIM_WIDTH*25.4)/2
D35 = 0.55*(OVERALL_DIAM-RIM_DIAM*25.4)/2
D57 = OVERALL_DIAM/2
D58 = 25.4*RIM_WIDTH/2
IF FUNCTION_ON_VEHICLE == "tracking"
FUNCTION_QUOTIENT = 1
ENDIF
IF FUNCTION_ON_VEHICLE == "guide"
FUNCTION_QUOTIENT = 1.02
ENDIF
IF FUNCTION_ON_VEHICLE == "fullpr"
FUNCTION_QUOTIENT = 0.98
ENDIF
D59 = ((OVERALL_DIAM-RIM_DIAM*25.4)/2)*0.45
D60 = SECTION_WIDTH/2
/* D46 = FLOOR(D55 * FUNCTION_QUOTIENT * OVERALL_DIAM)
D3 = FLOOR(D59 * FUNCTION_QUOTIENT * OVERALL_DIAM)
D16 = FLOOR(D49 * FUNCTION_QUOTIENT * OVERALL_DIAM)
D50 = FLOOR(D42 * FUNCTION_QUOTIENT * OVERALL_DIAM)
D63 = 0.55*(OVERALL_DIAM-RIM_DIAM*25.4)/2
D61 = SECTION_WIDTH/2+0.5
D70 = RIM_WIDTH*25.4/2
D64 = D70 * 22
D118 = OVERALL_DIAM/2
  
```



Slika 19. Ograničenja i logičke relacije između parametara kojima se kontroliše geometrija automatizuju i ubrzavaju rad kako u ranoj, tako i u svim drugim fazama projektovanja pneumatika

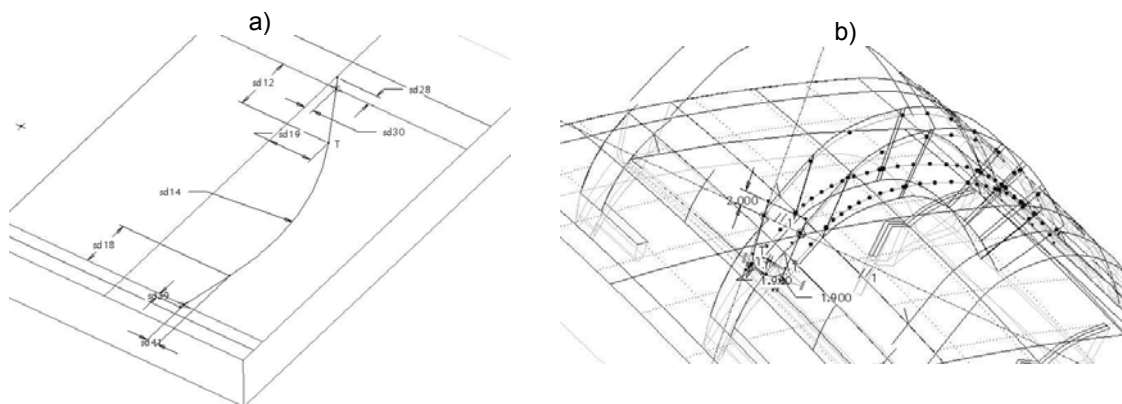
Procedura kojom se stvara parametarski model gazećeg sloja započinje time što se najpre modelira *matrica* odnosno model koji sadrži sve vrste kanala (tehničkih elemenata) prisutnih u gazećem sloju pneumatika. Ujedno, svi geometrijski odnosi koji postoje između kanala u pogledu lokacije i dimenzija kao i veze sa drugim parametrima (poput gabaritnih mera koraka - zavisnost između geometrije dezena i, u prethodnoj fazi modelirane geometrije radijalnog preseka pneumatika, izvedena je na osnovu datog rasporeda koraka po obimu torusa i njihovih gabaritnih dimenzija), uključuju se u model matrice. U nastavku procedure, sledi grupisanje samostalnih tehničkih elemenata u *generički* korisnički-definisan tehnički element (GUDF: Generic User Defined Feature). Termin *generički* potiče odatle što ovako sastavljeni tehnički element može da, u zavisnosti od određenih, njemu svojstvenih parametara, poprimi različite varijantne oblike. Ti varijantni oblici su, zapravo, različiti koraci predstavnici identičnih grupa koraka prisutnih u gazećem sloju. Parametri koji imaju sposobnost da uzimaju različite vrednosti i time utiču na stvaranje varijanti GUDF-a, mogu biti dva tipa:

- Numerički tip - odnosi se na geometrijske parametre koji svojim (numeričkim) vrednostima definišu geometriju kanala koji ulaze u sastav koraka predstavnika. Vrednosti ovih parametara mogu biti kontrolisane na tri načina:

- Neposrednim izražavanjem volje konstruktora,
- Izborom prethodno utvrđene kombinacije vrednosti parametara iz tabele kombinacija (tabela familije); svaka kombinacija parametara, predstavljena je jednim zapisom u tabeli familije čije je "ključno" polje *naziv koraka-predstavnika* (a, b, c, d, e, f).
- Primenom programske procedure koja može da sadrži i elemente znanja u formi produkcionih pravila.
- Binarni tip - odnosi se na parametar koji utvrđuje status pojavljivanja pojedinih tehničkih elemenata u određenoj varijanti GUDF-a. Vrednosti ovih parametara mogu biti kontrolisane na isti način kao i kod numeričkih parametara.

O problemu referenci ili parametara lokacije

Jedna od izuzetno važnih osobina parametarskog projektovanja upotrebom tehničkih elemenata jeste shema prostornog referenciranja tehničkih elemenata. Zapravo, efikasnost procedure modeliranja i kasnija sposobnost modela na izmene esencijalno zavisi od izbora tehničkih elemenata koji se uzimaju kao prostorne reference za druge (buduće) tehničke elemente (Slika 20). Pogrešno izabrani entiteti za prostorno referenciranje mogu dovesti do neočekivanih reakcija CAD sistema i potpune neupotrebljivosti čitavog pristupa /9/ (projektovanja upotrebom tehničkih elemenata).



Slika 20. Kriva-vodilja tzv. sweep feature-a kojom se formira kanal "vezuje se" na najstabilnije (postojeće) tehničke elemente u cilju stabilnosti izmene modela

Ovaj problem posebno dolazi do izražaja kada se vrši sklapanje korisnički-definisanih tehničkih elemenata. U slučaju tehnologije modeliranja UDF-a koji su korišćeni za stvaranje modela gazećeg sloja automobilske pneumatike, osnovna namera je bila da se izvrši izbor što

manjeg i *nezavisnijeg*² skupa entiteta koji bi se koristili za prostorno referenciranje tehničkih elemenata koji pripadaju GUDF-u, odnosno UDF-u.

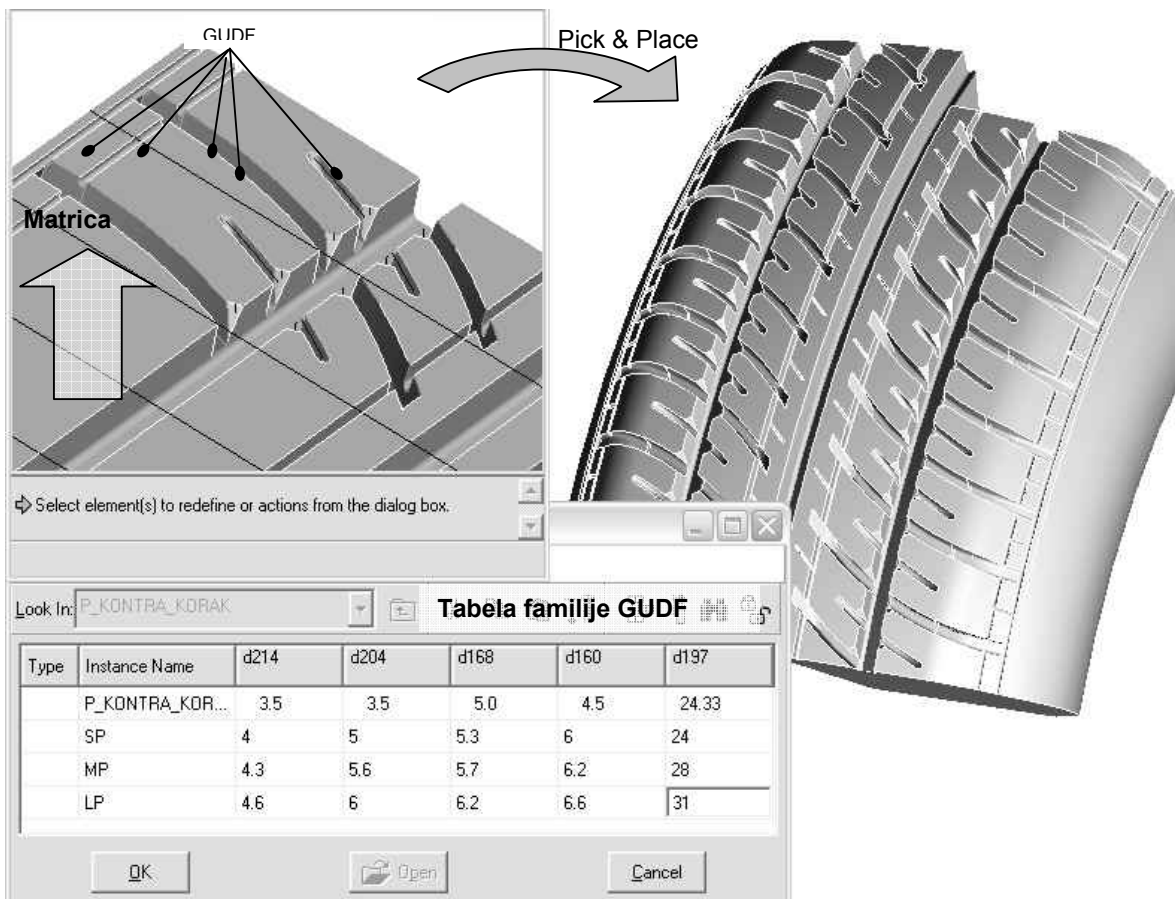
² Nezavisnost izvesnog entiteta (tehničkog elementa) je određena brojem i stepenom nepromenljivosti entiteta koji mu prethode i istovremeno mu služe kao prostorne reference.

U tu svrhu, kao najpovoljniji (najstabilniji) referentni entiteti, pokazali su se takozvani pomoćni tehnički elementi (tačke, krive, ravni i ose).

U zadnjoj fazi, modeliranje dezena automobilskog pneumatika svodi se na jednostavan proces umetanja odgovarajućih varijanti GUDF-a (koji, dakle, predstavljaju korake – predstavnike) iz matrice (model matrice može da bude a) ravanski – poput kaiša u kome su «ugravirani» generički tehnički elementi (Slika 21) koga tek treba saviti u oblik toroida (kao u dokumentaciji) ili b) toroidalan – poput konačnog oblika toroida pneumatika koji se projektuje. U drugom slučaju «graviranje» kanala preko skupa GUDF-a vrši se neposredno u toroidalni zapreminski model (Slika 20 b) što svakako predstavlja realniji i bolje kontrolisani geometrijski model, ali ujedno i složeniji u prethodno modelirani toroid – pripremni model gazećeg sloja (Slika) prema datom rasporedu koraka. Pri tom se vrši *sprezanje* korisnički-definisanih parametara iz modela podloge – toroida, sa parametrima umetnutih UDF-a. Ovo je bitno zato što se time obezbeđuje veza izme-

đu parametara geometrije gazećeg sloja i ugradnih parametara pneumatika, ali i veza sa geometrijom boka i ramena pneumatika. Na ovaj način organizovana i promenljivama-upravljana geometrija modela automobilskog pneumatika, daje sposobnost modelu da menjajući vrednosti ugradnih parametara (izborom zapisa - kombinacije vrednosti ugradnih parametara iz tabele) lako i brzo prerasta u konkretnu instancu familije. Model matrice gazećeg sloja, pripremni model gazećeg sloja, i drugi strukturni sastojci pneumatika (bok / karkasa, inerlajner,.../, protektor /.../, stopa / žičani obruč, ojačanje, .../,) stvaraju se u odvojenim procesima modeliranja i konačno sklapaju u potpuno parametrizovani sklop.

Modeliranje protektorskog prstena kalupa se izvodi u jednoj CAD operaciji (Bulovo oduzimanje) čime se protektorski prsten dobija kao otisak gazećeg sloja u punom materijalu. I svi ostali elementi kalupa se dobijaju tako da se uspostavlja potpuna asocijativnost između geometrije modela pneumatika i modela kalupa (Slika 22).

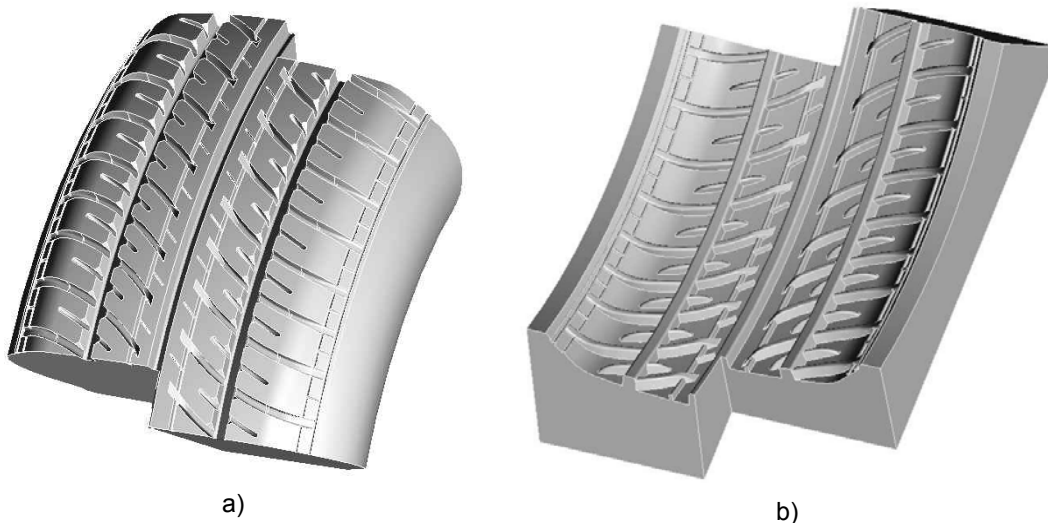


Slika 21. Procedura umetanja generičkih UDF-a zapreminskog modela /4/

ZAKLJUČAK

Prilagođeno ili krojeno rešenje za projektovanje automobilske pneumatika zasnovano na tehnologiji parametarskog modeliranja automobilske pneumatika upotrebom tehničkih elemenata, pokazala je izuzetne rezultate u pogledu skraćenja vremena razvoja modela automobilske pneumatika i kalupa za vulkanizaciju. Primera radi, ovo rešenje pruža mogućnost da

se od grubih krokija do estetskog modela (Slika 23, estetski model, bez strukturnih elemenata koji čini osnovni model za donošenje rane odluke o prihvatanju predloženog dizajna) stiže za 4 sata rada veštog konstruktora. Takođe, kreiranje modela za analizu MKE, kalupa za vulkanizaciju i dobijanje tehničke dokumentacije za svakog od članova familije ostvaruje se izuzetno brzo korišćenjem svojstva asocijativnosti.



Slika 22. Virtualni prototipovi: (a) master model pneumatika i (b) model kalupa za vulkanizaciju su potpuno povezani i svaka izmena na tzv. master modelu automatski se odražava i na modelu kalupa



Slika 22. Primarna verzija estetskog modela automobilske pneumatika

LITERATURA

- /1/ www.conti-online.com, 2004.
- /2/ M. S. Stojkovic, M. Manic, M. Trajanovic, N. D. Korunovic, "Customized Tire Design Solution Based on Knowledge Embedded Template Concept", *Tire Science and Technology*, TSTCA, Akron OH US, 2003.
- /3/ Stojkovic M., Manic M., Trajanovic M., "Knowledge-Embedded Template Concept",

Proceedings 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, 2003, p.p. 285-293.

- /4/ Stojkovic, M., *Virtual Manufacturing Advisor*, Master thesis, Faculty of Mechanical Engineering of University of Nis, Serbia and Monte Negro. 2002.
- /5/ Stojković M., Trajanović M., "Parametric design of automotive tyre", *ANG1/P046, ASME - Greek section, First Nat. Conf. on Recent Advances in Mech. Eng.*, Patras, Greece, 2001.
- /6/ Stojković M, Trajanović M, Cekić M, Jovanović G, "Ubrzanje procesa projektovanja pneumatika primenom parametarskog projektovanja", *XVII konferencija: Nauka i motorna vozila - JUMV '99* Beograd. 1999.
- /7/ Stojković M, Trajanović M, Cekić M, Korunović N, "Parametarsko modeliranje dezena gazećeg sloja automobilske pneumatika", *25. JUPITER Konferencija*, Beograd, 1999.
- /8/ Frederick J. K., *Tire Technology*, Goodyear Tire & Rubber Company, Pub. Dept. 1998

/9/ William C. Regli and Michael J. Pratt¹, *What are feature interactions*, Proc. of The 1996 ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference August 18-22, Irvine, California, 96-DETC:DFM-1285, 1996.

COMPUTER AIDED DESIGN OF TIRES

Paper presents original and customized solution of computer aided design of tire and curing mold. Paper includes description of problems with which joint team of experts from Faculty of Mechanical Engineering and Ruber Products Company –

Tigar from Pirof have been faced during research and analyse of optimal methodology for rapid development of virtual prototype of tire. The procedure of tire design which will be shortly exposed in the paper represents the result of a lasting several years research and analysis in the field of simultaneous tire design process. The basic aim of the research was to reduce redundancy of activities which are performed during tire design process. In accordancy with that, there was a request that new approach of tire design has to assure possibility of simultaneous performing all other development activities and contribute of productivity increase.