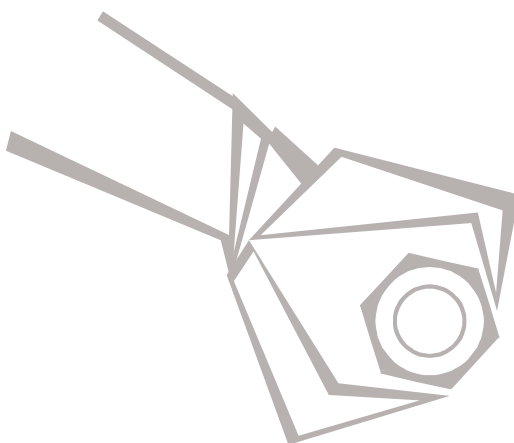


**30. JUBILARNO SAVETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA
SRBIJE I CRNE GORE 2005.
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM**

**30th JUBILEE CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING OF SCG
WITH FOREIGN PARTICIPANTS**

ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS



*Čačak, 2005.
Vrnjačka Banja 1-3. septembar 2005.
Srbija i Crna Gora*

**30. JUBILARNO SAVETOVANJE
PROIZVODNOG MAŠINSTVA
SRBIJE I CRNE GORE 2005.
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM
Čačak, 2005.**

**30th JUBILEE CONFERENCE ON
PRODUCTION ENGINEERING OF
SERBIA AND MONTENEGRO
WITH FOREIGN PARTICIPANTS
Čačak, 2005.**

ZBORNIK RADOVA

PROCEEDINGS

Urednik:
prof. dr Ratomir M. Ječmenica, dipl.maš.ing

Editor:
Professor prof.dr Ratomir M. Ječmenica.PhD

Tehnički urednici
Mirjana Brković
dr Srećko Ćurčić
dr Svetislav Marković
Zoran Živković

Technical editors
Mirjana Brković
dr Srećko Ćurčić
dr Svetislav Marković
Zoran Živković

Izdavač
Tehnički fakultet Čačak
Univerzitet u Kragujevcu
Svetog Save 65

Publisher
Tehnički fakultet Čačak
Univerzitet u Kragujevcu
Svetog Save 65

Za izdavača
Prof. dr. Jeroslav Živanić, dekan Fakulteta

For publisher
Prof. dr. Jeroslav Živanić, dekan Fakulteta

Lektori
Ivana Kićanović
Vesna Stanojević

Language supervision
Ivana Kićanović
Vesna Stanojević

Štampa
"Laser" Kraljevo

Printed by
"Laser" Kraljevo

Tiraž:
130 primeraka

Circulation:
130 primeraka

ISBN 86-7776-009-1

ISBN 86-7776-009-1

C9	Kakaš Damir, Novakov Tamara, Škorić Branko, Rakita Milan, Ivković Branko, Bibić N. JONSKA IMPLANTACIJA KRIPTONA U POVRŠINSKI SLOJ ALATNIH ČELIKA	203
C10	Čupković Đorđe, Plančak Miroslav, Kuzman K., Vilotić Dragiša POBOLJŠANO TEORETSKO REŠENJE PROCESA DVOSTRUKOG SUPROTNOSMERNOG ISTISKIVANJA I EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA	209
C11	Aleksandrović Srbislav, Stefanović Milentije, Vujinović Tomislav DUBOKO IZVLAČENJE PRI PROMENLJIVOJ SILI DRŽANJA I SLOŽENOJ ISTORIJI DEFORMISANJA	215
C12	Samardžić Milica, Stefanović Milentije, Aleksandrović Srbislav ELASTIČNE DEVIJACIJE OBLIKA PRI DUBOKOM IZVLAČENJU DELOVA KAROSERIJE OD AL-LEGURA	221
C13	Vlastelica Ivo, Kojić Miloš METODE REŠAVANJA I MODELIRANJE PROSTIRANJA PRSLINE NEPOROZNOG I POROZNOG METALA	227
C14	Kršljak Bogoljub OBRADA PLOČASTIH I LISNASTIH PRIPREMAKA DRVETA REZANJEM	237
C15	Marinković Velibor RAZMATRANJE TEHNOLOGIJE IZRADE LIMENIH ELEMENTA SA DVOSTRUKIM ZIDOM	241
C16	Rajnović Dragan, Erić Olivera, Šiđanin Leposava, Baloš Sebastian ADI MATERIJAL LEGIRAN SA 0.45% BAKRA	247
C17	Baloš Sebastian, Šiđanin Leposava, Rajnović Dragan PRIMENA KOMERCIJALNIH ČELIKA ZA BALISTIČKU ZAŠTITU	253
C18	Petrović Petar, Jakovljević Živana NOVI KONCEPT IDENTIFIKACIJE PROCESA KALANDRIRANJA PRIMENOM MULTIREZOLUCIJSKE ANALIZE GEOMETRIJE PROFILA POPREČNOG PRESEKA GUMIRANOG KORDA	257
C19	Janković Predrag, Radovanović Miroslav, Vićovac Nebojša OBRADA ABRAZIVNIM VODENIM MLAZOM	263
C20	Đorđević Ljubodrag, Petrović Zoran, Radičević Branko UTVRĐIVANJE ZAVISNOSTI IZMEĐU SREDNJE ARITMETIČKE I SREDNJE GEOMETRIJSKE HRPAVOSTI	269
C21	Đorđević Ljubodrag, Filipović Ivan, Đorđević Dejan FLEKSIBILNE LINIJE ZA OBLIKOVANJE LIMOVA I NJIHOVE SPECIFIČNOSTI	275
C22	Marković Svetislav, Vučetić Biljana, Tanasijević Slobodan, Nedić Bogdan PRIMENA ULTRAZVUKA U MAŠINSTVU I MEDICINI	281
C23	Popović Marko, Golubović Dragan, Milićević Ivan IDENTIFIKACIJA UGIBA OBRADAKA U PROCESU BRUŠENJA METODOM KONAČNIH ELEMENTA	289
C24	Lazić Vukić, Jovanović Milorad, Adamović Dragan, Nikolić Ružica, Ratković Nada IZBOR TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA I KONTROLE ODGOVORNIH ZAVARENIH SPOJEVA	297
C25	Adamović Dragan, Stefanović Milentije, Lazić Vukić, Živković Miroslav, Marjanović Nenad ISTRAŽIVANJE UTICAJA MATERIJALA ALATA I MAZIVA NA SILU DUBOKOG IZVLAČENJA SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA	303
C26	Đorđević Ljubodrag, Đurić Sava MOGUĆNOSTI PRIMENE PRIRODNOG GASA U MAŠINOGRADNJI	309
C27	Radiša Radomir, Pristavec Janez, Tanić D. OPTIMIZACIJA TEHNOLOGIJE LIVENJA ČELIČNIH ODLIVAKA	315
C28	Aksentijević Snežana, Aćimović Z. UTICAJ RAZVIJANJA GASOVA PRI EPC LIVENJU NA GREŠKE ODLIVKA I TROŠKOVE OBRADU	321



NOVI KONCEPT IDENTIFIKACIJE PROCESA KALANDRIRANJA PRIMENOM MULTIREZOLUCIJSKE ANALIZE GEOMETRIJE PROFILA POPREČNOG PRESEKA GUMIRANOG KORDA

Petar B. Petrović, Živana B. Jakovljević

Mašinski fakultet u Beogradu, SCG, e-mail: pbpetrovic@mas.bg.ac.yu, zjakovljevic@mas.bg.ac.yu

Rezime: Najnoviji razvoj optoelektronike i iz nje izvedenih senzorskih sistema omogućio je da se tradicionalni radioaktivni sistemi za merenje debljine gumiranog korda na linijama za kalandriranje zamene laserskim proksimetrima. Pored apsolutne bezbednosti u radu, laserski proksimetri poseduju vrhunsku tačnost, veliku brzinu uzorkovanja i ekstremno malu prostornu rezoluciju. Ova svojstva omogućuju gradnju mernih stanica, koje pored merenja debljine, omogućuju skeniranje poprečnog preseka. Informacija o valovitosti i teksturi može se iskoristiti za identifikaciju tehnoloških parametara režima procesa kalandriranja, što omogućava njegovo upravljanje i optimizaciju u realnom vremenu. U ovom radu se izlaže novi koncept identifikacije parametara procesa kalandriranja na bazi multirezolucijske analize laserski skeniranog poprečnog profila gumiranog korda.

Ključne reči: Gumiranje korda, frikciono valjanje, laser, multirezolucijska analiza

NEW CONCEPTS OF IDENTIFYING PROCESSES OF TAPERING IN CASE OF APPLICATION OF MULTI-RESOLUTION ANALYSIS OF GEOMETRICAL PROFILES OF CROSS-SECTION OF RUBBER- COATED CORD

Resume: Recent development of optoelectronics and derived sensory systems has enabled the replacement of traditional radioactive systems for measurement of calendered rubber thickness at calendaring lines by laser proximeters. Besides absolute work safety, laser proximeters have extreme accuracy, high sampling rate and extremely small spatial resolution. These properties enable development of measuring systems, which besides thickness measurement enable lateral section scanning. Information about waviness and texture can be used for identification of calendaring process parameters, which enables real-time control and optimization of this process. This paper gives a new concept for identification of calendaring process parameters based on multiresolution analysis of scanned lateral profile of rubberized cord.

Key words: cord rubberizing, friction rolling, laser, multiresolution analysis

1. UVOD

Gumirano metalkordno platno (GMP) ili gumirano tekstilno platno (GTP) predstavlja osnovni noseći element pneumatika za putnička/teretna vozila. Metalni ili tekstilni kord unutar GMP/GTP nosi radno opterećenje, dok je guma punilac koji obezbeđuje prostorni položaj niti i konačanu geometriju pneumatika. Ovakva struktura se može smatrati nekom vrstom kompozita, čija svojstva, između ostalog, veoma zavise od kvaliteta adhezione veze uspostavljene između gumene smeše i niti korda. Metalni/tekstilni kord se sastoji od upredenih metalnih/tekstilnih vlakana. U cilju povećanja adhezione veze tekstilnog korda i gumene smeše, tekstilni kord se impregnira odgovarajućim prevlakama koje poboljšavaju prijanjanje gume. U slučaju metalnog korda, čelične niti se oslojavaju specijalnim metalnim prevalkama, a u cilju povećanja kontaktne površine, primenjuju se različiti načini njihovog upredanja. Kod obe vrste korda važno je da se u potpunosti eliminiše prisustvo vlage, kao i da se ostvari odgovarajuća temperatura niti korda, neposredno pre procesa gumiranja. Gumiranje korda se ostvaruje procesom valjanja polimera, koji se realizuje na linijama za kalandriranje. Režim pod kojim se ostvaruje proces

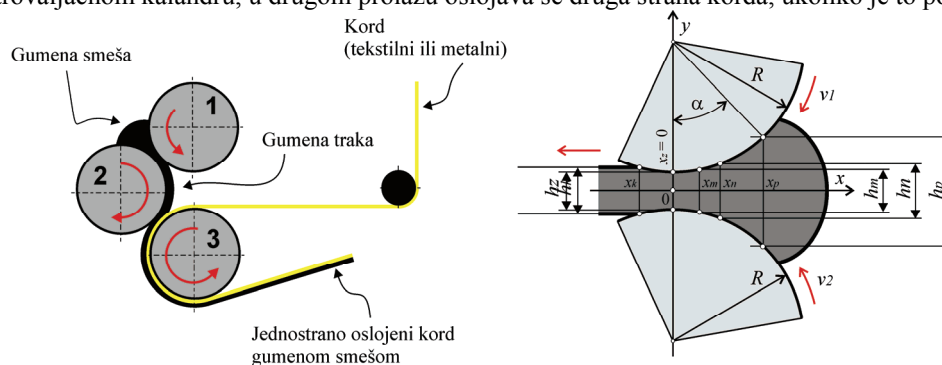
U okviru ovog rada saopšteni su rezultati istraživanja sprovedenih na projektu TR-6362A: 'Revitalizacija i informaciona integracija proizvodnih resursa u cilju podizanja konkurentnosti TRAYAL korporacije na međunarodnom tržištu' koje finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

valjanja gumene smeše je od presudnog uticaja na kvalitet oslojavanja korda, odnosno stepen ostvarene adhezije između gumene smeše i niti korda. Tehnološki režim oslojavanja zavisi od konfiguracije kalandra, temperature radne površine valjaka, broja obrtaja valjaka, svojstva gumene smeše, stepena njene deformacije u zazoru između valjaka kalandra, ravnomernosti hranjenja i raspodele gumene smeše duž zazora valjaka. Upravljanje procesom oslojavanja korda zahteva poznavanje modela procesa valjanja polimera u analitičkoj ili nekoj drugoj formi. Zbog svoje kompleksnosti, proces valjanja se vrlo teško matematički modelira.

U ovom radu se navodi novo konceptualno rešenje za identifikaciju nekih parametara procesa valjanja na bazi multirezolucijske analize profila poprečnog preseka gumiranog korda. Ovi parametri se mogu upotrebiti za praćenje i/ili upravljanje procesom gumiranja tekstilnog ili metalnog korda u realnom vremenu.

2. ANALITIČKI MODEL PROCESA VALJANJA POLIMERA

Minimalna konfiguracija mehanizma za oslojavanje se sastoji iz tri valjaka koji formiraju dva kinematska para na kojima se realizuju dva karakteristična oblika procesa valjanja [1]. Ovakav mehanizam se naziva trovaljačni kalendar (Slika 1a.). Na prvi par valjaka (valjci 1 i 2) se dovodi plastifikovana i termički pripremljena gumena smeša, koja se procesom valjanja prevodi u gumenu traku ravnomerne debljine. Gumena traka se dalje dovodi na drugi par valjaka (valjci 2 i 3), na koji se istovremeno dovodi i tekstilni ili metalni kord. Ovde se procesom valjanja vrši utiskivanje gumene smeše u međuprostor između korda, a takođe i u slobodni prostor unutar samih niti korda, ukoliko on postoji. Navedenim postupkom izvodi se jednostrano oslojavanje. Sličnim postupkom, takođe na trovaljačnom kalandru, u drugom prolazu oslojava se druga strana korda, ukoliko je to potrebno.



Slika 1: (a) Trovaljačni kalendar (b) Geometrijski model procesa valjanja

Geometrijski model procesa valjanja prikazan je na slici 1b. Na osnovu ovog modela uz uvođenje određenih ograničenja, mogu se postaviti Navije-Stoksove jednačine koje opisuju tečenje gumene smeše u zahvatu para valjaka. Integracijom ovih jednačina dolazi se do zavisnosti pritiska kojim se gumena smeša sabija po dubini zahvata valjaka i brzine kretanja materijala u zahvatu valjaka. Zavisnost pritiska data je jednačinom:

$$p = p(x) = \frac{3\mu_{ef}v_1(1+f)}{2m} \left[\ln \frac{h}{h_z} - 2R \frac{h-h_z}{hh_z} + 2A \frac{h^2-h_z^2}{h^2h_z^2} + C_1 \right], x \geq 0 \quad (1)$$

gde su:

$$A = \frac{h_p h_z}{h_p + h_z} \left(R - \frac{h_p h_z}{h_p - h_z} \ln \frac{h_p}{h_z} \right); \quad m = \frac{h_p - h_z}{2R \sin \alpha}; \quad h = h_z + 2(R - \sqrt{R^2 - x^2}) \quad (1.1)$$

μ_{ef} - dinamički koeficijent trenja nevulkanizovane gume koja se na visokoj temperaturi nalazi u viskozno tekućem stanju, a C_1 predstavlja integracionu konstantu koja se određuje za uslov nultog pritiska na ulazu u zahvat. Ostale oznake su definisane geometrijskim modelom prikazanim na slici 1b.

U cilju ostvarivanja boljeg utiskivanja gumene smeše i u cilju upravljanja gradijentom brzine gumene smeše na izlazu iz zahvata valjaka, valjci se ne obrću istim brojem obrtaja. Odnos obodnih brzina valjaka:

$$f = \frac{v_2}{v_1} \quad (2)$$

naziva se frikcija, a sam proces valjanja, valjanje sa frikcijom. Frikcija predstavlja vrlo važan tehnološki parametar i pomoću nje se može jako uticati na proces valjanja polimera.

Sledeća jednačina opisuje brzinu kretanja materijala u zahvatu valjaka:

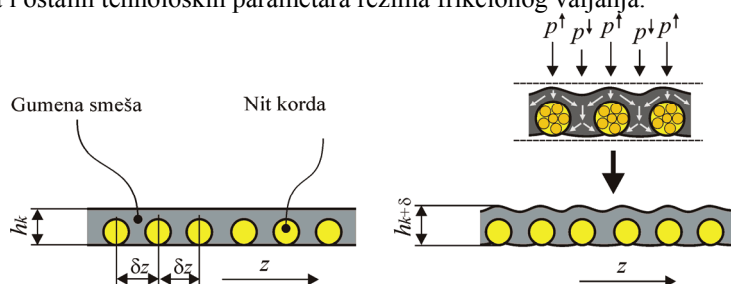
$$v_x = \frac{3v_1(1+f)}{4} \left(1 - \frac{h_m}{h} \right) \left(\frac{4y^2}{h^2} - 1 \right) + \frac{v_1(1-f)}{h} y + \frac{v_1(1+f)}{2} \quad (3)$$

gde h_m označava visinu zahvata na kojoj se ostvaruje maksimalna vrednost pritiska prema relaciji (1).

Prethodno navedeni hidrodinamički model frikcionog valjanja odnosi se na slučaj formiranja gumene trake, odnosno, kada se u zahvatu valjaka nalazi samo polimerni materijal. Kod oslojavanja korda, pored ne vulkanizovane gume, u zahvatu valjaka nalaze se i niti korda, koje dodatno ometaju tečenje materijala.

Kako je prikazano na slici 2a, u idealnom slučaju, kada su svi parametri režima frikcionog valjanja u savršenim proporcijama, na izlazu se dobija pravolinijski poprečni profil. Zbog različitih svojstava elastičnosti ne vulkanizovane gume i korda, promenljivog trenja između korda i ne vulkanizovane gume u bočnom pretoku i različitog stepena termičke dilatacije, realni profil nije pravolinijski već ima valovitu formu na kojoj su prisutne izrazite neravnine na mikro i makro nivou (Slika 2b.). Mikro neravnine predstavljaju hrapavost gumiranog platna i posledica su mehaničkih svojstava ne vulkanizovane gume i dejstva lokalnih površinskih sila u kontaktu sa valjkom. Makro neravnine na nivou teksture imaju regularan talasast oblik i posledica su preslikavanja korda na površinski sloj. Tipična dužina talasa teksture je 1-3 mm. Pored toga, na profilu je prisutna i makro valovitost (odstupanje od pravosti) čitavom širinom kao posledica neravnomernog naponskog stanja gumiranog platna.

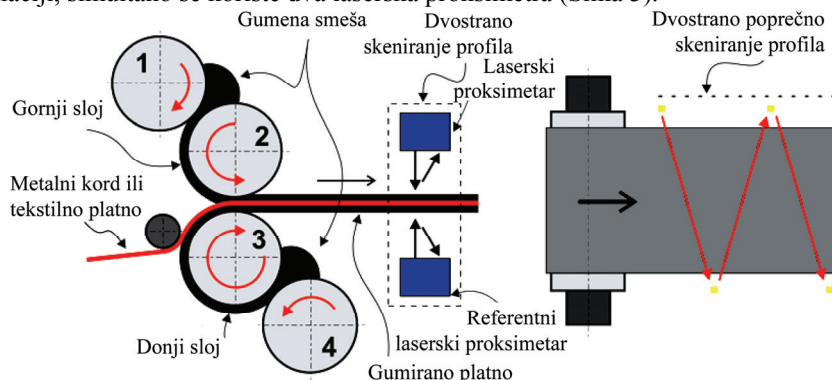
Sa tehnološkog aspekta procesa frikcionog valjanja, od posebnog interesa su neravnine tipa teksture. U zavisnosti od pritiska koji je ostvaren u zahvatu tokom procesa valjanja (utiskivanja gumene smeše u prostor između niti) i brzine valjanja, razlika između idealnog profila bez teksture i ostvarenog profila na kome je prisutna tekstura će biti manja ili veća. Ova razlika je kompleksan nosilac informacija koji se može iskoristiti za identifikaciju pritiska i ostalih tehnoloških parametara režima frikcionog valjanja.



Slika 2: Idealni (a) i realni (b) profil poprečnog preseka gumiranog korda

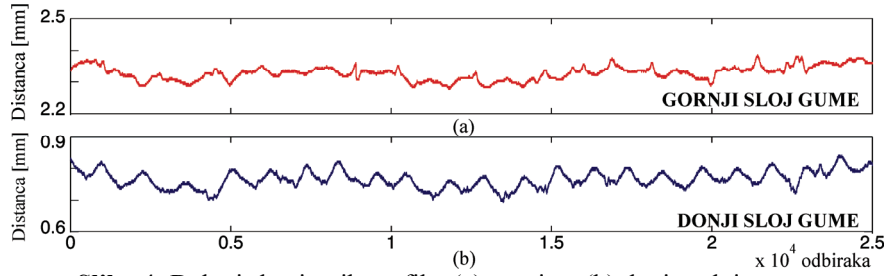
3. IDENTIFIKACIJA PROFILA POPREČNOG PRESEKA GUMIRANOG PLATNA

Kako bi se izvršila identifikacija profila poprečnog preseka gumiranog platna potrebno je njegovo dvostrano skeniranje (skeniranje donjeg i gornjeg sloja gume) na izlazu iz kalandra. Široko rasprostranjena beskontaktna metoda za merenje debljine gumiranog platna u industriji je zasnovana na radioaktivnim gama zracima. Zbog opasnosti koje ovakvi merni sistemi nose po osoblje i okolinu u poslednje vreme oni se zamenjuju alternativnim sistemima zasnovanim na optičkoj laserskoj triangulaciji [2]. Kod korišćenja metoda zasnovanog na optičkoj laserskoj triangulaciji, simultano se koriste dva laserska proksimetra (Slika 3).



Slika 3: Šema procesa kalandriranja: poprečni presek četvorovaljačnog kalandra S konfiguracije sa položajem senzora za identifikaciju profila poprečnog preseka gumiranog platna

Prvim proksimetrom se meri visina gornjeg sloja gumiranog platna u odnosu na referentnu površinu (donji sloj gumiranog platna), dok se drugi koristi za određivanje pozicije referentne površine u prostoru. Sinhronizacijom laserskih proksimetara moguće je odrediti debljinu gumiranog platna na poziciji na kojoj je se u datom trenutku proksimetri nalaze, pri čemu se dozvoljava da platno pliva u prostoru. Pri tom izmereni signal sa prvog proksimetra nosi informaciju o profilu gornjeg, dok signal sa drugog proksimetra nosi informaciju o profilu donjeg sloja gumiranog platna. Na Slici 4 su prikazani delovi skeniranih profila gornjeg i donjeg sloja gume. Analizom skeniranog profila poprečnog preseka gumiranog platna moguće je doći do informacija koje se mogu upotrebiti za upravljanje procesom kalandriranja.



Slika 4: Delovi skeniranih profila: (a) gornjeg; (b) donjeg sloja gume

4. MULTIREZOLUCIJSKA ANALIZA SKENIRANOG PROFILA

Kako bi se obezbedila odgovarajuća upravljačka informacija neophodno je iz snimljenih signala izdvojiti teksturu od valovitosti i površinske hrapavosti. Do sada korišćene tehnike za ovu analizu zasnovane su na filtriranju signala niskofrekventnim filterima. Pri tom se najčešće jedan filter koristi za uklanjanje hrapavosti i teksture i određivanje valovitosti, a drugi za uklanjanje hrapavosti. Definisane odgovarajućih filtera je složen zadatak, a njihova primena najčešće zahteva veliki broj računskih operacija što je nepovoljno sa aspekta primene u realnom vremenu. Pored toga, ovakvo filtriranje nije reverzibilan proces – jednom filtriran signal se ne može na osnovu dobijenog filtriranog signala rekonstruisati.

U ovom radu se predlaže pristup identifikaciji teksture i valovitosti profila gumenog sloja baziran na multirezolucijskoj analizi.

Multirezolucijska analiza (MRA) [3] je nastala kao rezultat istraživanja u oblasti analize slike. Osnovna ideja na kojoj se ona zasniva je da se informacija koju signal nosi može reorganizovati kao skup detalja koje on sadrži na različitim rezolucijama. Naime, ako je dat skup rezolucija 2^j , $j \in \mathbf{Z}$, skup detalja koje signal sadrži pri rezoluciji 2^j dat je razlikom njegove aproksimacije pri rezoluciji 2^j i 2^{j-1} . Drugim rečima, svaki signal f se može prikazati kao suma njegove aproksimacije na rezoluciji $J - Af$ i detalja $- Df$, $j \in [1, J]$ koji su mu oduzeti pri prelasku sa sa viših na niže rezolucije, tj:

$$f = A_J f + \sum_{j=1}^J D_j f \quad (4)$$

Aproksimacija funkcije na rezoluciji 2^j , može se odrediti dekomponovanjem funkcije f na ortonormalni bazis $\{\phi_{j,n}(x) = 2^{j/2} \phi(2^j x - n), j, n \in \mathbf{Z}\}$ koji se naziva ortonormalni bazis funkcija skaliranja, gde je ϕ tzv. funkcija skaliranja, x nezavisno promenljiva, a n faktor koji definiše translaciju funkcija skaliranja duž ose x . Dakle, aproksimacija signala na rezoluciji j data je relacijom:

$$A_j f = \sum_n \langle f, \phi_{j,n} \rangle \phi_{j,n} = \sum_n a_n^j \phi_{j,n} \quad (5)$$

i okarakterisana je skupom skalarnih proizvoda – koeficijenata aproksimacije $a_n^j = \langle f, \phi_{j,n} \rangle$, $n \in \mathbf{Z}$ gde $\langle \rangle$ označava skalarni proizvod.

Pri aproksimiranju funkcije na nižoj rezoluciji (pri porastu j), dolazi do gubitka određenih informacija. Postavlja se pitanje da li je moguće i ove informacije sačuvati. Pokazuje se da, kada su određeni uslovi ispunjeni [3, 4, 5], postoji ortonormalni vejevlet bazis $\{\psi_{j,k} = \psi(2^j x - n), j, n \in \mathbf{Z}\}$, gde je ψ funkcija koja se naziva vejevlet, x nezavisno promenljiva, a n faktor koji definiše translaciju vejevleta duž ose x , takav da je:

$$A_{j-1} f = A_j f + \sum_n \langle f, \psi_{j,n} \rangle \psi_{j,n} \quad (6)$$

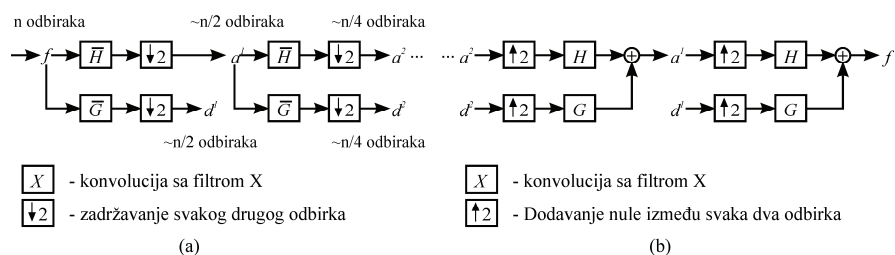
Dakle, detalji koji su oduzeti signalu pri prelasku sa rezolucije 2^j na rezoluciju 2^{j-1} dati su relacijom:

$$D_j f = \sum_n \langle f, \psi_{j,n} \rangle \psi_{j,n} = \sum_n d_n^j \psi_{j,n} \quad (7)$$

i okarakterisani su skupom skalarnih proizvoda – koeficijenata detalja $d_n^j = \langle f, \psi_{j,n} \rangle$, $n \in \mathbf{Z}$

Koeficijenti a_n^j i d_n^j se dobijaju takozvanom šemom filtriranja koja predstavlja vejevlet reprezentaciju tj. diskretnu vejevlet transformaciju (DWT) [3, 4] polaznog signala f . Postoji više različitih familija funkcija skaliranja i njima odgovarajućih familija vejevleta u obliku: $\{\phi_{j,n}(x) = 2^{j/2} \phi(2^j x - n), j, n \in \mathbf{Z}\}$, odnosno $\{\psi_{j,k} = \psi(2^j x - n), j, n \in \mathbf{Z}\}$ koje čine ortonormalni bazis. One se opisuju vejevletima $\psi_{0,1}$ kao tipičnim predstavnicima. U zavisnosti od svojih karakteristika različiti vejevleti (na osnovu kojih se definišu različiti ortonormalni bazisi) su svrstani u određene familije kao što su Daubechies vejevleti, coiflet-i, biortogonalni vejevleti... Izbor vejevleta [3, 4], pa samim tim i ortonormalnih bazisa funkcija skaliranja i vejevleta zavisi od željenih rezultata analize signala.

MRA daje brz jednoprolazni hijerarhijski algoritam za izračunavanje koeficijenata aproksimacije a_n^j i detalja d_n^j , tj. za izvođenje DWT koji se može opisati šemom filtriranja prikazanom na Slici 5a.



Slika 5: Šema filtriranja za proračun: (a) direktne DWT; (b) inverzne DWT

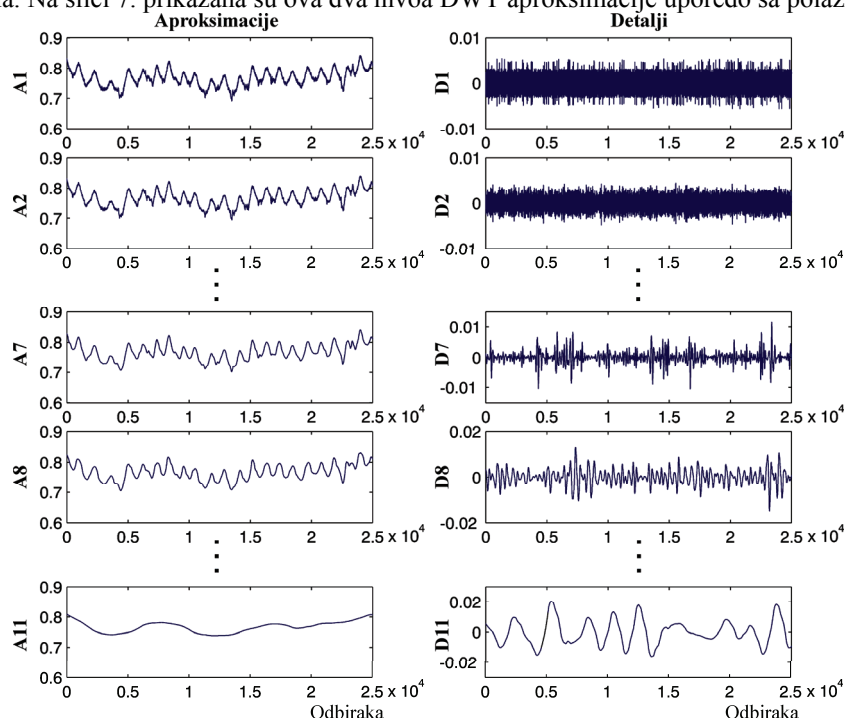
Korišćenjem prikazanog hijerarhijskog algoritma koeficijenti detalja d_n^j se izračunavaju na osnovu koeficijenata aproksimacije a_n^{j-1} i to njihovim filtriranjem visokofrekventnim filtrom \bar{G} , a zatim uzimanjem svakog drugog (obično parnog) odbirka. Analogno, koeficijenti aproksimacije a_n^j se izračunavaju filtriranjem koeficijenata a_n^{j-1} niskofrekventnim filtrom \bar{H} i uzimanjem svakog drugog odbirka.

Formiran je i reverzibilan algoritam [3] za izračunavanje signala f na osnovu koeficijenata a_n^j i d_n^j , tj. za izvođenje inverzne DWT. On se može opisati šemom filtriranja datom na slici 5b. Koeficijenti aproksimacije a_n^{j-1} se izračunavaju tako što se između svaka dva koeficijenta a_n^j i d_n^j ubacuje po jedna nula, a zatim se vrši konvolucija ovako dobijenih sekvenci sa filterima H i G i rezultujuće sekvence se, konačno, sabiraju.

Filteri H , G , \bar{H} i \bar{G} predstavljaju simetrične konjugovane filtere i oni se izračunavaju na osnovu odabranog vejevleta, odnosno familije funkcija skaliranja [3]. Impulsni odziv ovih filtera predstavljen je nizom konačnog broja koeficijenata koji može biti vrlo mali što je izuzetno značajno sa aspekta primene date analize u realnom vremenu. Na primer za vejevlete iz Daubechies familije ovaj broj je $2K$, gde je $K \in \mathbb{N}$ red vejevleta u datoj familiji. Šema filtriranja za izvođenje inverzne DWT može se iskoristiti za izračunavanje aproksimacije signala na rezoluciji (nivou DWT) $J - A_j f$ (relacija (6)) ako se koeficijenti detalja d_n^j , $j \in [1, J]$ – relacije (4 i 7) tokom proračuna proglašavaju za nule. Detalji $D_j f$ se mogu izračunati na sličan način.

Za analizu profila gumiranih slojeva platna odabran je vejevlet db4 (4. vejevlet iz Daubechies familije vejevleta) [4, 5]. Broj koeficijenata u impulsnom odzivu konjugovanih simetričnih filtera H , G , \bar{H} i \bar{G} koji odgovaraju ovom vejevletu je 8, što znači da je na svakom nivou DWT potreban bafer od po samo 8 odbiraka za sprovođenje konvolucije. Ovo je izuzetno značajno sa aspekta primene predloženog algoritma u realnom vremenu. Na slici 6 prikazani su neki od nivoa aproksimacije i detalja signala datog na slici 4b dobijeni njegovom DWT dekompozicijom pomoću db4 vejevleta. Ove aproksimacije i detalji su rekonstruisani na osnovu koeficijenata detalja i aproksimacije izračunatih šemom filtriranja prikazanom na slici 5.

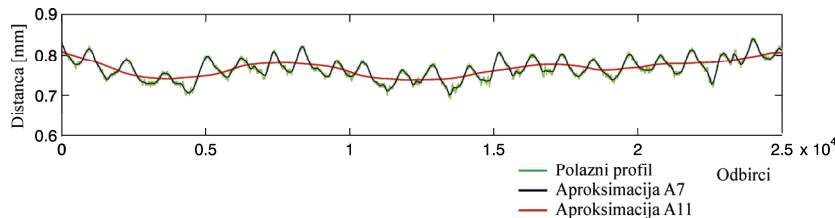
Očigledno je da aproksimacija signala na jedanaestom nivou DWT sadrži izdvojenu sveobuhvatnu valovitost skeniranog profila. Sedmi nivo transformacije, s druge strane, sadrži makroneravnine zajedno s sveukupnom valovitosti profila. Na slici 7. prikazana su ova dva nivoa DWT aproksimacije uporedo sa polaznim signalom.



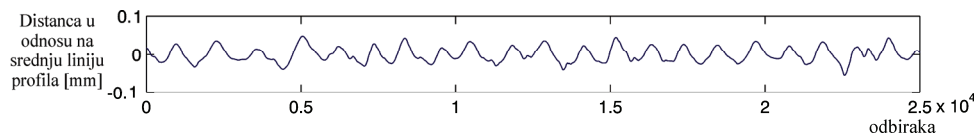
Slika 6: DWT dekompozicija signala datog na slici 4.b pomoću db4 vejevleta na 11 nivoa –nivoi 1, 2, 7, 8 i 11

Na osnovu date DWT dekompozicije, moguće je izdvojiti samo informaciju o profilu makroneravnina. Za to postoji više načina. Sa aspekta vremena potrebnog za proračun najpogodnije je da se koeficijenti aproksimacije na jedanaestom nivou aproksimacije a_{11}^n proglašavaju nulama, a da se zatim izračuna aproksimacija na sedmom nivou tako dobijene DWT. Ovo je ustvari analogno sabiranju detalja koji su signalu oduzeti pri prelazu sa sedmog na jedanaesti nivo DWT, što ustvari odgovara oduzimanju makroneravnina od zbira sveukupne valovitosti i makroneravnina. Ovako određene makroneravnine prikazane su na slici 8. Na sličan način moguće je doći i do signala koji sadrži samo informacije o mikroneravninama.

Izdvojene informacije o makroneravninama i sveukupnoj valovitosti profila gornjeg i donjeg sloja gume mogu se dalje iskoristiti kao osnova za upravljanje parametrima procesa kalandriranja



Slika 7: Uporedan prikaz profila donjeg sloja gume (slika 4.b) i njegovih DWT aproksimacija A11 i A7



Slika 8: Izdvojene makroneravnine donjeg sloja gume (slika 4.b)

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan bazni analitički model procesa frikcionog valjanja izveden na osnovu hidrodinamičkog pristupa u modeliranju toka materijala u zahvatu valjaka. Rešavanjem Navije-Stoksovih jednačina za zadati skup ograničenja, postavljene su analitički izrazi za promenu pritiska i profila brzina strujanja polimera iz kojih se izvodi opšti model polja brzina. Ovim izrazima pokazane su međuzavisnosti osnovnih procesnih veličina, kao i potvrda pretpostavke da se elementi režima procesa frikcionog valjanja ne vulkanizovane gume preslikavaju u teksturu profila poprečnog preseka gumiranog korda. Primenom multirezolucijske analize skeniranog profila na bazi diskretne vejtlet transformacije, raspregnute su karakteristične komponente i ekstrahovana komponenta koja je osnovni nosilac informacija o procesu valjanja. Postavljeni model multirezolucijske analize verifikovan je na eksperimentalnim merenjima. Za kompletiranje postavljenog koncepta, neophodna su dalja eksperimentalna i teorijska istraživanja. Zbog specifičnosti ne vulkanizovane gume i procesa kalandriranja, eksperimentalni deo istraživanja je moguć samo u realnim industrijskim uslovima.

LITERATURA

- [1] Лукач Ю. Е., Рябинин Д. Д., Метлов Б. Н.: Валковые машины для переработки пластмасс и резиновых смесей, Машиностроение, Москва, СССР, 1967, УДК 678.053.5.
- [2] Petrović P., B., Lukač Ž., Milačić V., R.: Can Laser Triangulation Replace Radioactive Sensors For In-Process Thickness Measurement in Tiremaking Industry?, The 11th International CIRP Life Cycle Engineering Seminar Proceedings, Belgrade, Serbia, pp. 101-107, June 2004
- [3] Mallat S., G.: A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol II, No. 7, pp. 674-693, July 1989.
- [4] Daubechies I.: Ten Lectures on Wavelets, CBMS-NSF regional conference series in applied mathematics, 61, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, Pennsylvania, 1992.
- [5] Daubechies I.: The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis, IEEE Transactions on Information Theory, Vol.36, No.5, pp.961-1004, September 1990