



UNIVERZITET U NIŠU
TEHNOLOŠKI FAKULTET U LESKOVCU



Petar B. Stojanović

**PROUČAVANJE UTICAJA PARAMETARA PROCESA
TEKSTURIRANJA NA STRUKTURU I SVOJSTVA
TEKSTURIRANIH POLIESTERSKIH PREĐA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Leskovac, 2017.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF TECHNOLOGY LESKOVAC



Petar B. Stojanović

**THE STUDY OF THE INFLUENCE OF TEXTURING PROCESS
PARAMETERS ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF
TEXTURED POLYESTER YARNS**

DOCTORAL DISSERTATION

Leskovac, 2017.

Podaci o doktorskoj disertaciji

Mentor: Dr Dušan Trajković, vanredni profesor,
Univerzitet u Nišu, Tehnološki fakultet, Leskovac

Naslov: Proučavanje uticaja parametara procesa teksturiranja
na strukturu i svojstva teksturiranih poliesterskih pređa

Rezime: S obzirom da su procesi frikcionog teksturiranja POY PES filamenata nedovoljno proučeni, u okviru ove disertacije proučavan je uticaj parametara procesa teksturiranja na strukturu i svojstva teksturiranih PES filamenata u realnim - pogonskim uslovima, na mašini s kratkom zonom zagrevanja. Kao eksperimentalni materijal, korišćena je POY PES multifilamentna pređa koja je teksturirana u industrijskim uslovima, uz promenu temperature grejača, brzine teksturiranja, D/Y odnosa u zoni teksturiranja i stepena istezanja. Dobijeni uzorci teksturiranih pređa, okarakterisani su sa aspekta novodobijene strukture (stepen kristalnosti, stepen orijentisanosti) i svojstava (finoća teksturiranih pređa, prekidna jačina i prekidno izduženje, kao i karakteristike elastičnosti pređe i skupljanje pređe). Dobijeni rezultati su omogućili utvrđivanje fizičko - hemijskih promena na pređi teksturiranoj pri različitim parametrima teksturiranja, kao i njihov uticaj na fiziko - mehanička svojstva teksturiranih pređa.

Naučna oblast: Tehnološko inženjerstvo
Naučna disciplina: Materijali i hemijske tehnologije

Ključne reči: teksturirane pređe, brzina teksturiranja, prekidna sila, prekidno izduženje, stepen kristalnosti

UDK: 677.072.7:677.494.674

CERIF klasifikacija: T 470 Tekstilna tehnologija

Tip licence Kreativne zajednice: CC BY-NC-ND

Data on Doctoral Dissertation

Doctoral
Supervisor:

Dr Dušan Trajković, Associate Professor
University of Niš, Faculty of Technology, Leskovac

Title:

The study of the influence of texturing process parameters on the structure and properties of textured polyester yarns

Abstract:

As the processes of friction texturing of POY PES are insufficiently investigated, in the context of this dissertation the influence of texturing process parameters on the properties of textured PES filaments was studied under real-plant conditions, on the equipment with a short heating zone. As experimental material POY PES filament yarn was used that was textured under industrial conditions by changing heater temperature, texturing speed, D/Y ratio in texturing zone and the stretching degree. The samples of textured yarns obtained were characterized regarding the new structure obtained (crystallinity degree, degree of orientation) and properties (fineness of textured yarns, breaking strength and breaking elongation, and also yarn elasticity characteristics and yarn shrinking). The results obtained enabled determination of physical-chemical changes on yarns textured with various texturing parameters and also their impact on physical-mechanical properties of textured yarns.

Scientific
Field:

Technology engineering

Scientific
Discipline:

Materials and Chemical Technology

Key Words:

textured yarn, texturing speed, breaking force, breaking elongation, crystallinity degree

UDK:

677.072.7:677.494.674

CERIF
Classification:

T 470 Textiles technology

Creative
Commons
License Type:

CC BY-NC-ND

Cilj rada

Cilj rada ove disertacije je proučavanje uticaja parametara teksturiranja vlakana na strukturna stanja i vezu između njih i svojstava poliesterskih teksturiranih filamenata, dobijenih u realnim uslovima proizvodnje. Stoga je proučavano formiranje strukture vlakana, pri različitim uslovima procesa teksturiranja i definisanje veza između strukture i makroskopskih karakteristika teksturiranih pređa. Postavljeni ciljevi i rezultati istraživanja omogućili su uspostavljanje relacija između:

- Parametara procesa teksturiranja (temperature grejača, brzina teksturiranja, zategnutost pređa u zoni teksturiranja, stepen iztezanja i promena odnosa periferne brzine frikcijskih diskova i brzine pređe - D/Y) i strukture teksturiranih pređa - stepena kristalnosti i stepena orijentisanosti, odnosno;
- Strukture teksturiranih pređa i njihovih svojstava (finoće, gustine, prekidne jačine i prekidnog izduženja, karakteristika kovrdžavosti pređa i skupljanje pređa);
- Parametara tehnološkog procesa teksturiranja i reoloških karakteristika teksturiranih pređa (granice elastičnosti), koje uslovljavaju parametre procesa na sledećim fazama, kao i karakteristike finalnih proizvoda. Uspostavljene relacije predstavljaju doprinos razvoju metoda projektovanja, kako parametara procesa prerade tako i karakteristika proizvoda. Ovo je izuzetno značajno na sledećim fazama prerade (tkanje meblova i formiranje pletenih struktura za presvlake), jer se time predviđa nivo opterećenja do koga pređe moraju biti elastične, pa se na osnovu tih rezultata vrši optimizacija procesa teksturiranja.

Sadržaj rada

Doktorsku disertaciju čine, nekoliko međusobno spojenih delova u jednu celinu.

Prvi deo rada je posvećen kratkom pregledu razvoja postupaka teksturiranja i parametrima procesa teksturiranja, koji utiču na strukturu i kvalitet teksturiranih pređa. U ovom delu su analizirani varijabilni parametri procesa teksturiranja i njihov uticaj na karakteristike teksturiranih pređa. Osnovni parametri procesa teksturiranja, od kojih zavisi kvalitet teksturiranih pređa, su ujedno i parametri čiji uticaj je istraživan u eksperimentalnom delu rada a to su: istezanje, temperatura primarnog grejača, upredanje pređe ili D/Y odnos i brzina pređe (brzina teksturiranja).

U drugom delu disertacije su predstavljeni eksperimentalni materijal, tehničko-tehnološke karakteristike mašine FTF-15 (s kratkom zonom zagrevanja) i metode za određivanje stepena kristalnosti, dvojnog prelamanja i orijentisanosti pojedinačnih filamenata kao i metode za ispitivanje morfologije uzoraka, karakteristika kovrdžavosti i mehaničkih karakteristika.

Treći deo predstavlja rezultate analize eksperimentalnog materijala i to: uticaj parametara teksturiranja na strukturu, na karakteristike kovrdžavosti, na skupljanje i na mehanička svojstva teksturirane poliestarske pređe. Rezultati su sistematizovani zavisno od primenjenih temperatura prvog grejača i parametra D/Y. Dobijeni uzorci teksturiranih pređa okarakterisani su sa aspekta novodobijene strukture (stepen kristalnosti, stepen orijentisanosti) i svojstava (finoća teksturiranih pređa, mehanička svojstva, kao i karakteristike elastičnosti pređe i skupljanje pređe).

U poslednjem delu dati su zaključci o dobijenim rezultatima, koji su omogućili utvrđivanje fizičko - hemijskih promena na pređi, teksturiranoj pri različitim parametrima teksturiranja, kao i njihov uticaj na fiziko - mehanička svojstva teksturiranih pređa.

Naučni doprinos

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije daju značajan doprinos u oblasti proizvodnje teksturiranih poliestarskih filamentnih pređa a koji se odnosi na uticaj parametara teksturiranja na strukturu i svojstva poliestarskih vlakana. Pored toga što je omogućila bolje razumevanje samog procesa proizvodnje, ova disertacija je definisala i međuzavisnosti strukturnih i tehnoloških parametara, koje će poslužiti za dalje unapređenje i racionalizaciju proizvodnje. Karakterisanje strukture polimera/vlakana je od suštinskog značaja za utvrđivanje međusobnih zavisnosti između parametara procesa proizvodnje (teksturiranja), strukturnih parametara i svojstava dobijenih teksturiranih poliestarskih pređa. Slaganje dugih polimernih lanaca u trodimenzionalne strukture je u velikoj meri određeno karakteristikama njihove molekulske strukture, kao što su fleksibilnost, regularnost strukture i sl., međumolekulskim sadejstvom i uslovima spoljašnje sredine, kao što su temperatura, naprezanje, i sl. Analizom funkcije $F(\varepsilon)$ određene su vrednosti sila i relativnih izduženja na granici elastičnosti filamentnih PES pređa.

Na osnovu teorijskih razmatranja i eksperimentalnih rezultata, dobijena je jasna korelacija o uticaju parametara teksturiranja na strukturu i svojstva teksturiranih poliestarskih pređa, koja omogućuje pravilan odabir parametara teksturiranja pređa u industrijskim razmerama, i suštinski doprinosi razvoju metoda projektovanja, kako parametara procesa tako i karakteristika proizvoda.

S a d r ž a j

UVOD	9
1. TEORIJSKI DEO.....	12
1.1. Razvoj postupaka teksturiranja	12
1.2. Proces simultanog - frikcijskog teksturiranja.....	15
1.3. Parametri procesa teksturiranja koji utiču na strukturu i kvalitet teksturiranih pređa	22
1.3.1. Struktura poliestarskih vlakana	23
1.3.2. Uticaj temperature teksturiranja na strukturu vlakana	27
1.3.3. Formiranje lažnih uvoja	31
1.4. Varijabilni parametri procesa teksturiranja.....	39
1.4.1. Istezanje - stepen istezanja.....	39
1.4.2. Temperatura primarnog grejača	40
1.4.3. Intenzitet upredanja, D/Y - odnos	43
1.4.4. Temperatura sekundarnog grejača i negativno istezanje (skupljanje)	43
1.4.5. Brzina pređe (brzina teksturiranja)	44
1.5. Karakteristike teksturiranih pređa	48
1.5.1. Strukturne i mehaničke karakteristike teksturiranih pređa	48
1.5.2. Istezanje vlakana, savijanje i upredanje	48
1.5.3. Skupljanje pređa.....	51
1.5.4. Modifikacija karakteristika pređa	53
2. EKSPERIMENTALNI DEO	58
2.1. Materijal	58
2.2. Tehničko-tehnološke karakteristike mašine FTF-15.....	58
2.2.1. Određivanje stepena kristalnosti	60
2.2.2. Određivanje dvojnog prelamanja i orijentisanosti pojedinačnih filamenata.....	60
2.2.3. Ispitivanje morfologije uzoraka	61
2.2.4. Određivanje karakteristika kovrdžavosti	61
2.2.5. Skupljanje.....	61
2.2.6. Mehaničke karakteristike	62
2.3. Rezultati analize eksperimentalnog materijala	64
2.4. Uticaj parametara teksturiranja na strukturu teksturirane PES filamentne pređe	69
2.5. Uticaj parametara teksturiranja na karakteristike kovrdžavosti teksturirane poliestarske pređe.....	81

2.5.1. Uticaj temperature grejača i brzine teksturiranja na karakteristike kovrdžavosti teksturirane poliestarske pređe	81
2.5.2. Uticaj stepena istezanja i D/Y odnosa na karakteristike kovrdžavosti teksturirane poliestarske pređe	83
2.6. Uticaj parametara teksturiranja na skupljanje teksturirane PES filamentne pređe	84
2.7. Uticaj parametara teksturiranja na mehanička svojstva PES filamentne pređe	87
2.7.1. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu PES filamentne pređe	87
2.7.2. Uticaj temperature prvog grejača na prekidnu silu PES filamentne pređe	92
2.7.3. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje PES filamentne pređe.....	94
2.7.4. Analiza uticaja parametara teksturiranja na relativnu prekidnu silu i prekidno izduženje teksturirane PES pređe	98
2.7.5. Analiza povezanosti mehaničkih karakteristika na granici elastičnosti teksturirane PES filamentne pređe	102
2.7.6. Analiza uticaja parametara teksturiranja na silu i izduženje na granici elastičnosti teksturirane PES pređe	107
ZAKLJUČAK	112
LITERATURA.....	114
PRILOG	119
Biografija autora	140

UVOD

Proizvodnja i potrošnja tekstilnih vlakana u svetu je u stalnom porastu. Proizvodnja vlakana, posebno potrošnja, često se uzima kao merilo životnog standarda, tehnološke i industrijske razvijenosti neke zemlje ili dela sveta. Rast proizvodnje prirodnih vlakana je znatno sporiji od hemijskih, posebno sintetičkih vlakana koja sve više dominiraju na tržištu, a u okviru kojih se posebno izdvajaju poliestarska vlakna (PES).

Osnovne količine poliestarskih vlakana proizvode se iz polietilentereftalatnog (PET) homopolimera. To su PES vlakna prve generacije. Razvijene su i druge vrste homopoliestara i kopoliestara sa poboljšanim svojstvima. Razvojem PET vlakana pojavile su se na tržištu druga i treća generacija ovih vlakana, koja se često nazivaju i modifikovanim PET vlaknima. Razvoj postupka brzog ispredanja vlakana (Partially Oriented Yarn - POY i Highly Oriented Yarn - HOY), brzine od 3000 - 6000 m/min i više, visoko automatizovanih postrojenja za brzo teksturiranje sa brzinama od 1000 m/min i više, i integrisanog postupka ispredanja (istezanja i teksturiranja), omogućilo je sintetičkim, a posebno PES vlaknima, ekspanziju koja ih je na tržištu dovela na vodeće mesto među sintetičkim, odnosno svim tekstilnim vlaknima. Proizvodnja poliestarskih vlakana u 2012. godini dostigla je nivo od 41,31 miliona tona, tako da je udeo poliestarskih vlakana na tržištu tekstilnih vlakana u svetu u 2012. godini dostigao 50%.

Vodeće mesto među sintetičkim vlaknima, poliestarska vlakna su izborila zahvaljujući svojim izvanrednim fizičko - mehaničkim i tekstilnim svojstvima, mogućnostima unapređenja u procesu proizvodnje koja doprinose visokoj ekonomičnosti i stalnoj ekspanziji područja primene, bilo da se koriste samostalno ili u mešavini sa drugim vlaknima. PES vlakna se koriste za proizvodnju tekstilnih površina smanjene zapaljivosti, transportnih traka, pogonskog remenja, svih vrsta tehničkog tekstila, konca, užadi, mreža, cerada, filtera, jedara, sigurnosnih pojaseva, vatrogasnih creva, geotekstilnih materijala i slično [1].

U početku se proizvodnja hemijskih vlakana zasnivala na empirijskoj bazi, tj. na osnovu dotadašnjih iskustava, a bez poznavanja osnovnih teorijskih postavki o formiranju hemijskih vlakana. Tek krajem pedesetih i tokom šezdesetih godina prošlog veka počinju sistematska istraživanja u ovoj oblasti [2]. U procesu proizvodnje sintetičkih vlakana, postoji međusobna relacija između tehnoloških parametara proizvodnje, formirane nadmolekulske i mikrostrukture vlakana i svojstava proizvedenih vlakana. To znači da se variranjem tehnoloških parametara proizvodnje može uticati na strukturu, a time i svojstva vlakana [2, 3, 4].

U toku ispredanja vlakana, formira se njihova primarna struktura, koja je zavisna od tehnoloških parametara proizvodnje i ima veliki uticaj i na kasnije obrade kojima će vlakna biti izložena. Pošto ispredena poliestarska vlakna imaju mali stepen kristalnosti, njihova konačna nadmolekulska

struktura formira se u procesu teksturiranja. Teksturiranje je termomehanički ili mehanički proces obrade sintetičkih glatkih filamenata kojim se modifikuje njihov izgled i svojstva, uz nastajanje specifične teksture. Teksturiranjem se postiže veća fleksibilnost i rastegljivost glatkih filamenata i bolja sposobnost pokrivanja koja je rezultat veće voluminoznosti. Svi do sada razvijeni postupci teksturiranja, mogu se svrstati u tri osnovne grupe: mehanički (teksturiranje vazдушnim mlazom - aerodinamičko teksturiranje), termomehanički (torzioni postupak sa stvarnim upredanjem i sa lažnim, prividnim upredanjem, kovrdžanje sabijanjem u komori, kovrdžanje pletenjem/rasplitanjem, kovrdžanje prevođenjem preko zagrejjane ivice i zupčanika), i ostali postupci teksturiranja (izrada bikomponentnih pređa, pređe sa različitim stepenom skupljanja i hemijski postupci teksturiranja) [5, 6, 7].

Teksturiranje lažnim upredanjem je termomehanički postupak teksturiranja koji je zbog svoje produktivnosti i kvaliteta teksturiranih pređa dominantan, a između različitih mehanizama za lažno upredanje: vreteno rotorskog tipa, magnetno vreteno, frikcionni mehanizam, ovaj poslednji, uz primenu HT grejjaa i sa radnim brzinama do 1500 m/min, ima najveći značaj. Krajem poslednje decenije prošlog veka, inovirana je tehnologija frikcionnog teksturiranja lažnim upredanjem, korišćenjem kratke zone zagrevanja sa povećanim temperaturama na grejjaa (indirektno a ne kontaktno zagrevanje) sa ciljem da se povećaju brzine teksturiranje i do 1500 m/min, uz skraćenje vremena zagrevanja do 0,1 sekunde, koje će osigurati termoplastičnost filamenata dovoljnu za fiksiranje kovrdžavosti, uz zadovoljavajuće mehaničke karakteristike teksturiranih pređa. S obzirom da se poliestar brže zagreva od poliamida, teksturiranje poliestarskih filamenata karakteriše se većom efikasnošću procesa. U toku teksturiranja, pređa je izložena uticaju visokih temperatura i silama zatezanja i torzije, što utiče na strukturu pređe, a samim tim i na njena svojstva (geometrijska, fiziko - mehanička, fiziko - hemijska i dr.) [5, 7].

Tokom razvoja i proizvodnje teksturiranih PES vlakana, velika pažnja u istraživanjima je poklonjena pronalaženju i objašnjavaanju zavisnosti između parametara procesa teksturiranja i strukture teksturiranog filameta, odnosno zavisnosti između strukture i svojstava, što predstavlja i predmet rada ove doktorske disertacije. Teksturiranje je multiparametarski proces i parametri teksturiranja poliestarskog filameta znatno utiču na njegovo ponašanje tokom dalje obrade, a sve greške i neravnomernosti nastale u procesu teksturiranja postaju lako uočljive u gotovim proizvodima. Ovaj problem je naročito izražen kod teksturiranja delimično orijentisanog PES filameta (POY - Partially Oriented Yarn), o čemu nema mnogo podataka u literaturi. Oni se uglavnom odnose na proces teksturiranja u laboratorijskim uslovima [8, 9, 10]. Znatno veći broj radova je posvećen teksturiranju istegnuto g poliestarskog filameta (FOY - Fully Oriented Yarn) koji se odlikuje stabilnom strukturom i manje je osetljiv na promene parametara procesa teksturiranja [11, 12] ali i korišćenjem različitih postupaka teksturiranja [12, 13, 14].

S obzirom da su procesi frikcionog teksturiranja POY PES filamenata nedovoljno proučeni, u okviru ove disertacije proučavan je uticaj parametara procesa teksturiranja na strukturu i svojstva teksturiranih PES filamenata u realnim - pogonskim uslovima na mašini s kratkom zonom zagrevanja (FTF-15). Kao eksperimentalni materijal, korišćena je POY PES multifilamentna pređa finoće 278f36x1 dtex, koja nakon teksturiranja prelazi u finalni dtex - 167f36x1. Ova pređa je teksturirana u industrijskim uslovima, na mašini za istezno frikciono teksturiranje uz promenu temperature grejača, brzine teksturiranja, zategnutosti pređe u zoni teksturiranja i stepena istezanja. Dobijeni uzorci teksturiranih pređa okarakterisani su sa aspekta novodobijene strukture (stepen kristalnosti, stepen orijentisanosti) i svojstava (finoća teksturiranih pređa, prekidna jačina i prekidno izduženje, kao i karakteristike elastičnosti pređe i skupljanje pređe). Analizom prvog i drugog izvoda krive zavisnosti sila - izduženje, praćene su promene elastičnosti i određivane reološke karakteristike teksturiranih pređa.

Dobijeni rezultati su omogućili utvrđivanje fizičko - hemijskih promena na pređi teksturiranoj pri različitim parametrima teksturiranja, kao i njihov uticaj na fiziko - mehanička svojstva teksturiranih pređa, tako da su predloženi optimalni uslovi teksturiranja za pređu ispitivane finoće.

Na osnovu teorijskih razmatranja i eksperimentalnih rezultata, dobijena je jasna korelacija o uticaju parametara teksturiranja na strukturu i svojstva teksturiranih poliestarskih pređa, koja omogućuje pravilan odabir parametara teksturiranja pređa u industrijskim razmerama, i suštinski doprinosi razvoju metoda projektovanja, kako parametara procesa tako i karakteristika proizvoda.

1. TEORIJSKI DEO

U teorijskom delu rada dat je kratak prikaz osnovnih principa teksturiranja, kao i analiza parametara procesa teksturiranja, od kojih zavisi ishod procesa odnosno karakteristike teksturiranih pređa.

1.1. Razvoj postupaka teksturiranja

Rastuće tržište tekstilnih proizvoda, uz smanjenje prirodnih resursa a samim tim i proizvodnje prirodnih vlakana, ima za posledicu povećanu proizvodnju sintetičkih vlakana. U poređenju sa prirodnim vlaknima sintetička vlakna, prvenstveno u obliku filamenata, su inferiornija u pogledu opipa, mekoće, voluminoznosti i punoće, a superiornija u pogledu jačine, elastičnosti, otpornosti na habanje i sl. Imajući ovo u vidu, sasvim prirodno se nametnula potreba za razvojem procesa kojim će se sintetičkim filament pređama dati željena vizuelna i taktilna svojstva, uz očuvanje pozitivnih svojstava sintetičkih vlakana.

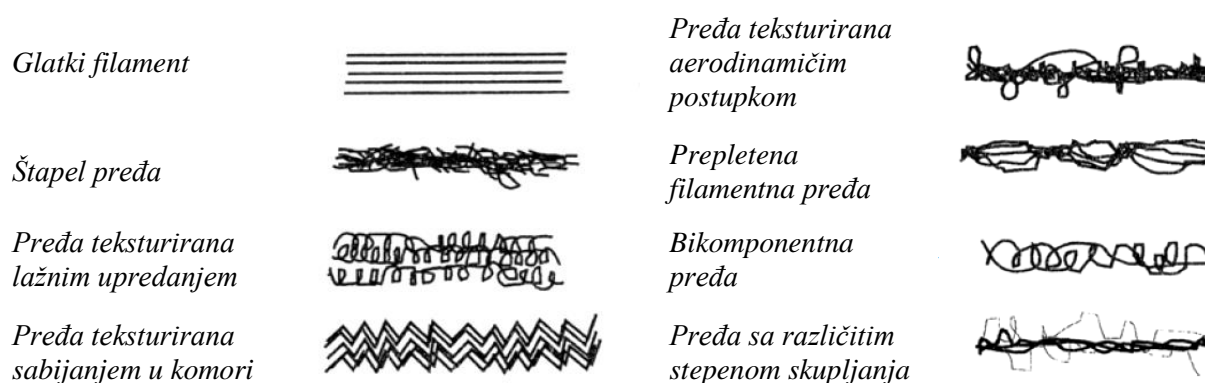
Teksturiranje je tehnološki proces obrade termoplastičnih sintetičkih glatkih filamenata kojim se vrši trajna promena njihovog izgleda i svojstava uz nastajanje specifične teksture i kovrdžavosti. Teksturiranjem se postiže veća fleksibilnost i rastegljivost glatkih filamenata i bolja sposobnost pokrivanja koja je rezultat veće voluminoznosti. Postupak dobijanja teksturiranog prediva znatno je kraći i ekonomičniji u odnosu na klasično pređenje, a dobijeno teksturirano predivo ili teksturirana pređa (engl. textured yarn) može biti: elastično (streč) predivo i voluminozno predivo. Elastična, streč, prediva odlikuju se velikim izduženjem, brzim oporavkom odnosno povratkom na prvobitne dimenzije po prestanku dejstva sile zatezanja i umerenom voluminoznošću. Za razliku od njih elastična prediva imaju jasnu definisanost petlji u pletenim strukturama, veliku glatkoću i mekoću opipa i povećanu voluminoznost, pa su pogodna za izradu svih tipova trikotaže. Voluminozne pređe predstavljaju teksturirane multifilamente povećane zapremine, u odnosu na konvencionalne pređe iste finoće i izrađene od istog osnovnog materijala, kako u neistegnutom tako i u istegnutom stanju. Njihova elastičnost i rastegljivost varira zavisno od postupka i uslova teksturiranja, ali je manja u poređenju sa elastičnim predivom [15, 16].

Postupak teksturiranja je poznat još od 1932. godine kada je švajcarska firma *Heberlein* patentirala postupak za kovrdžanje viskoznog i acetatnog filamenata trostadijumskim torzionim postupkom sa stvarnim upređanjem (upređanje, parenje, raspredanje) [17, 18]. S obzirom da se nije radilo o termoplastičnim vlaknima postignuti efekat nije bio trajan i kovrdže su se gubile nakon prvog pranja. Tek nakon otkrića termoplastičnih sintetičkih vlakana ovaj postupak je došao do punog izražaja. Od tada do danas razvijeni su mnogobrojni postupci teksturiranja. Svi do sada razvijeni

postupci teksturiranja mogu se svrstati u tri osnovne grupe: mehanički (teksturiranje vazдушnim mlazom-aerodinamičko teksturiranje), termomehanički (torzioni postupak sa stvarnim upređanjem i sa lažnim, prividnim upređanjem, kovrdžanje sabijanjem u komori, kovrdžanje pletenjem/rasplitanjem, kovrdžanje prevođenjem preko zagrejane ivice i zupčanika), i ostali postupci teksturiranja (izrada bikomponentnih prediva, prediva sa različitim stepenom skupljanja i hemijski postupci teksturiranja) [5, 6, 7, 19].

Na slici 1.1 dat je šematski prikaz podužnog izgleda i oblika kovrdža teksturirane pređe proizvedene različitim postupcima teksturiranja. Zbog ekonomičnosti, jednostavnosti i dobijanja određenih svojstava teksturiranih pređa, izdvojila su se tri postupka: teksturiranje sabijanjem u komori, aerodinamičko teksturiranje i teksturiranje lažnim upređanjem.

Postupak teksturiranja sabijanjem u komori je prvo primenjivan za kovrdžanje kabla za štapel vlakna, a danas ima veliki značaj za industrijsku primenu. Pređa se dovodi u zagrejanu komoru u kojoj se, usled razlike u brzini dovođenja i odvođenja filameta, vrši njegovo sabijanje. Usled sabijanja pređa dobija cik-cak kovrdže koje se, pošto je komora zagrejana, ujedno i termofiksiraju. Modifikacijom postupka teksturiranja sabijanjem u komori dobija se BCF pređa (**B**ulk **C**ontinuous **F**ilament) koja se primenjuje za izradu tepiha. Ovim postupkom se uspešno teksturira gruba monofilamentna i multifilamentna pređa koja se inače ne može teksturirati postupkom prividnog upređanja. Dobijena pređa je meka i voluminozna, ali nema veliku sposobnost istežanja i elastičnost [5, 6, 19].



Slika 1.1. Šematski prikaz podužnog izgleda teksturirane pređe proizvedene različitim postupcima teksturiranja [6]

Kod aerodinamičkog teksturiranja, glatki sintetizovani filament pretvara se u voluminozni filament pod dejstvom mehaničke sile u mlaznici koju izaziva struja komprimovanog vazduha. Ovaj postupak je primenjiv i za predivo koje nije termoplastično, s obzirom na to da se teksturiranje, odnosno formiranje prepletenih mesta na filamentu ostvaruje mehaničkom deformacijom filameta

koju izaziva strujanje vazduha. Kod teksturiranja termoplastičnog filament prediva koristi se zagrejani vazduh čime se postiže termostabilizovanje kovrdža. Predivo dobijeno po ovom postupku se skraćeno označava kao AJY (**A**ir **J**et **Y**arn). Aerodinamički postupak teksturiranja dugo vremena nije bio konkurentan ostalim postupcima teksturiranja, s obzirom da su se ovim postupkom mogle teksturirati samo grublje pređe, uz veliku potrošnju energije. Danas, mlaznice za teksturiranje su poboljšane tako da je brzina teksturiranja povećana za 20 - 30 %, povećani su kompaktnost i ravnomernost pređa, stabilnost pređa i mlaznice su danas veoma podesne za teksturiranje finog filameta. Danas se oko 70% instaliranih kapaciteta koristi za teksturiranje finih i srednje finih pređa, pri čemu su najzastupljenije poliestarske pređe [5, 6, 19, 20].

Za proizvodnju voluminoznog filameta manjeg izduženja, po izgledu sličnog konvencionalnoj pređi, sve veći značaj ima aerodinamički postupak teksturiranja, dok u proizvodnji vrlo elastičnog i voluminoznog teksturiranog filameta namenjenog izradi tekstilnih proizvoda, za sada, a verovatno i u budućnosti, dominira postupak sa prividnim (lažnim) upređanjem (posebno stvaranje lažnih zavoja frikcijom - frikciono teksturiranje).

Teksturiranje lažnim upređanjem je termomehnički postupak teksturiranja, koji je zbog svoje produktivnosti i kvaliteta teksturirane pređe dominantan, a između različitih mehanizama za lažno upređanje: vreteno rotorskog tipa, magnetno vreteno, frikcion mehanizam, ovaj poslednji, uz primenu HT grejača i sa radnim brzinama do 1500 m/min, ima najveći značaj [1, 5, 7]. Razvoj postupka teksturiranja lažnim upređanjem je tekao u pravcu objedinjavanja tri odvojena procesa: ispređanje filameta, istezanje i teksturiranje. U početku se svaki ovaj proces odvijao odvojeno, pa je kasnije došlo do objedinjavanja ispređanja i istezanja (istezno pređenje), a zatim se potpuno istegnuti filament, odvojeno, na posebnoj mašini teksturirao. Ekonomski razlozi, tj. snižavanja troškova proizvodnje, su doveli do daljeg objedinjavanja procesa završnog istezanja i teksturiranja i razvijen je tzv. proces isteznog teksturiranja (engl. draw texturing). Pređa dobijena po ovom postupku se skraćeno označava kao DTY (**D**raw **T**exturing **Y**arn). Istezno teksturiranje može biti sekventno i simultano, u zavisnosti od toga da li se istezanje izvodi istovremeno sa teksturiranjem ili teksturiranju prethodi predistezanje. Najviši stepen integrisanosti procesa ispređanja rastopa, istezanja i teksturiranja, tzv kontinualni postupak ispređanja - isteznog teksturiranja, moguće je postići pri velikim brzinama ispređanja rastopa, odnosno kontinualnim teksturiranjem potpuno orijentisanog filameta [1, 5, 6, 19].

Razvoj postupka teksturiranja lažnim upređanjem, koji je počeo pedesetih godina prošlog veka pojavom prvih mašina koje su dotadašnje tri faze na etažnim mašinama *Helanca* postupka (upređanje, termofiksiranje i raspredanje) spojile u jednu radnu fazu, obeležilo je značajno povećanje odvodnih brzina. Sedamdesetih godina prošlog veka brzine su bile na nivou oko 200 m/min, dok su dalja usavršavanja kako samih mašina tako i karakteristika filameta koji se

teksturirao dovela do današnjih brzina od 900 m/min za poliestar (za predivo finoće 78 dtex i do 1000 m/min) do 1100 m/min za finiji poliamidni filament. Ovakav napredak rezultat je kontinualnog nastojanja da se poboljša ekonomičnost procesa, kroz smanjene troškova konverzije pređe; razvoja i unapređenja fundamentalnih znanja neophodnih za bolje razumevanje procesa teksturiranja, posebno ponašanja pređe u sve tri zone (zona zagrevanja/hlađenja, zona raspredanja i zona namotavanja) i optimizovanja putanje pređe kroz njih; uvođenja frikcionih mehanizama i njihov dalji razvoj; kontinualnog unapređenja dizajna mašina, kao i kontinualnog poboljšanja kvaliteta sirove pređe [5, 7, 21].

Danas se postrojenja za teksturiranje lažnim upređanjem karakterišu visokim stepenom automatizacije, a upotreba visokotemperaturnih grejača dužine oko 1m, u odnosu na prvobitne grejače dužina oko 2,5 m, dovela je do značajnog smanjenja visine postrojenja i olakšala njegovo opsluživanje. Korišćenje kratke zone zagrevanja sa povećanim temperaturama na grejačima (indirektno, a ne kontaktno zagrevanje), uz skraćenje vremena zagrevanja do 0,1 sekunde koje osigurava termoplastičnost filamenata dovoljnu za fiksiranje kovrdžavosti, uz zadovoljavajuće mehaničke karakteristike teksturirane pređe, omogućilo je povećanje brzine teksturiranja i do 1500 m/min. S obzirom da se poliestar brže zagreva od poliamida, teksturiranje poliestarskih filamenata karakteriše se većom efikasnošću procesa. Poliestarski filament se može teksturirati u laboratorijskim uslovima brzinom od 1500 m/min, ali u proizvodnim pogonima brzine ne prelaze 1000 m/min, jer se iznad ovih brzina povećava nestabilnost procesa (tj. nestabilnost napona pređe, veći broj prekida filamenata i pređe i sl.) što za posledicu ima neravnomernost obojenja teksturirane filament pređe [1, 5, 7, 22, 23, 24].

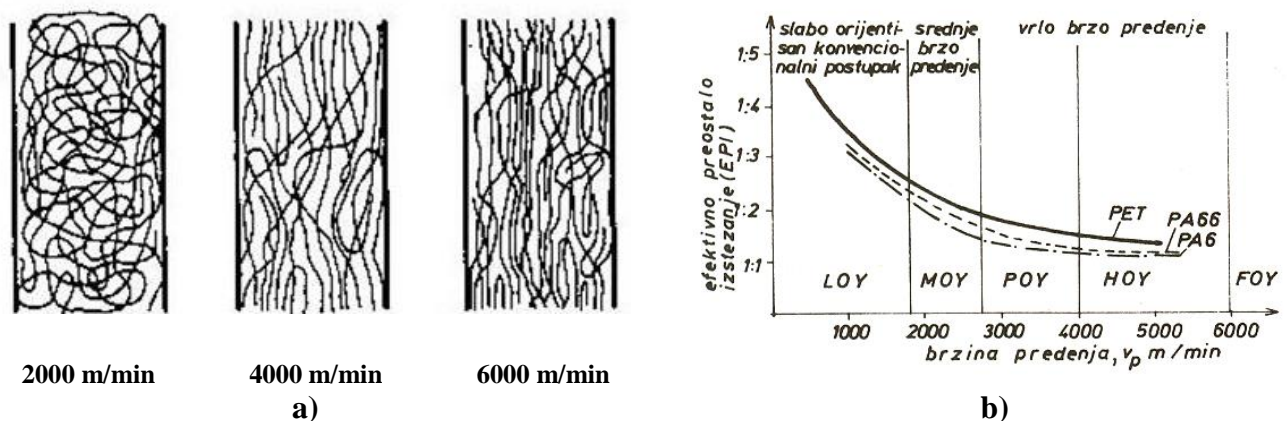
Dalje unapređenje postupka isteznog teksturiranja usmereno je na rešavanje problema koji se najčešće javljaju u toku teksturiranja: česti prekidi niti što narušava kontinuitet procesa; odvajanje pojedinačnih filamenata; pojava „slabijih mesta“; prekidi pojedinačnih filamenata; varijacije u kovrdžavosti i nedovoljna kovrdžavost; i abrazija polimera koja se najčešće pojavljuje na uvijaču [5, 6, 7, 22].

1.2. Proces simultanog - frikcijskog teksturiranja

Simultano - frikciono teksturiranje, na mašinama za teksturiranje sa različitim dužinama grejača je danas dominantni postupak teksturiranja filamentnih pređa. Suština simultanog teksturiranja lažnim upređanjem je u tome da se pređa simultano isteže, upreda, zagreva, a zatim hladi, raspreda i fiksira. Nakon raspredanja filamenti obrazuju svojom fiksiranom strukturom heliksa visoko- voluminoznu pređu.

Preduslov za uspeh na tržištu frikcionog teksturiranja bilo je povećanje brzina ispredanja u procesu proizvodnje filamentnih vlakana. Naime, kod velikih brzina ispredanja stvara se visok gradijent podužne brzine, što uz veliki aerodinamički otpor, ima za posledicu dobru orijentaciju makromolekula već u duvnoj jami. To olakšava naknadno istežanje vlakana i smanjenje preostalog istežanja, povećava stabilnost namotaja, olakšava transport i omogućava duže skladištenje vlakana. Promenom brzine ispredanja može se dobiti nekoliko varijanti filament pređa s obzirom na orijentaciju makromolekula u vlaknu postignutu tokom ispredanja i stepen preostalog istežanja (slika 1. 2), pri čemu granice između pojedinih vrsta pređa nisu sasvim oštre i u literaturi se mogu naći različiti podaci za brzine ispredanja:

- Slabo orijentisani filament - LOY (*Low Oriented Yarn*), se ispreda pri brzinama od oko 500 - 1500m/min [6, 25], odnosno do 1800 m/min [1, 26];
- Srednje orijentisani filament - MOY (*Medium Oriented Yarn*), se ispreda pri brzinama od oko 1500-2500 m/min [6], a u literaturi se navode i brzine 1800-2800 m/min [1, 26];
- Delimično (parcijalno) orijentisani filament - POY (*Partially Oriented Yarn*), se proizvodi pri brzinama od oko 3000-3500 m/min [1, 27], odnosno 2800 - 4200 m/min [26], mada neki autori [7] u ovu grupu svrstavaju pređu proizvedena pri brzinama 3500 - 5200 m/min.
- Vrlo (visoko) orijentisani filament - HOY (*Highly Oriented Yarn*), se ispreda pri brzinama od oko 4000-6000 m/min [1, 6, 7, 25, 27];
- Potpuno orijentisani filament - FOY (*Fully Oriented Yarn*), se ispreda pri brzinama iznad 6000 m/min [1, 6, 7, 26, 27].



Slika 1.2. Uticaj brzine ispredanja rastopa polimera na:
a) strukturu vlakna [28]; b) efektivno preostalo istežanje [1]

Slabo orijentisani PET filament (LOY) se danas veoma malo koristi, uglavnom u sekventnom postupku isteznog teksturiranja, zato što ima veliko preostalo istežanje, nisku orijentaciju makromolekula i slabo izraženu kristaliničnost (tabela 1.1), sa ograničenom mogućnošću

skladištenja i transporta ovih pređa (nadmolekulska struktura polimera se značajno menja u toku skladištenja usled relaksacije naprezanja i pod dejstvom vlage iz spoljašnje sredine) [1, 6, 7, 25]. Treba istaći da se korišćenjem PET polimera velike molekulske mase i uz primenu stepena istežanja od 5 - 7 puta može dobiti filament pređa velike jačine i visokog modula [25, 26]. Ipak zbog neekonomičnosti i/ili lošijeg kvaliteta proizvodnja LOY pređa se napušta. Slična situacija je i sa srednje orijentisanom filament pređom (MOY) iako ove pređe ima srednje preostalo istežanje, malo veću kristaliničnost i znatno veći stepen orijentacije u odnosu na LOY.

Tabela 1.1. Uporedna svojstva LOY, POY i istegnutog POY poliestarskih pređa [7]

Svojstva filameta	LOY	POY	POY filament posle istežanja
Orijentisanost (dvojno prelamanje)	0,005	0,038	0,18
Stepen kristalnosti [%]	0	5	30
Gustina [g/cm ³]	1,338	1,341	1,380
Finoća [dtex]	552	273	167
Prekidna jačina [g/dtex]	1,1	2,0	3,9
Prekidno izduženje [%]	400	130	30
Modul [g/gtex]	20	27	99
Skupljanje u ključaloj vodi [%]	44	60	8

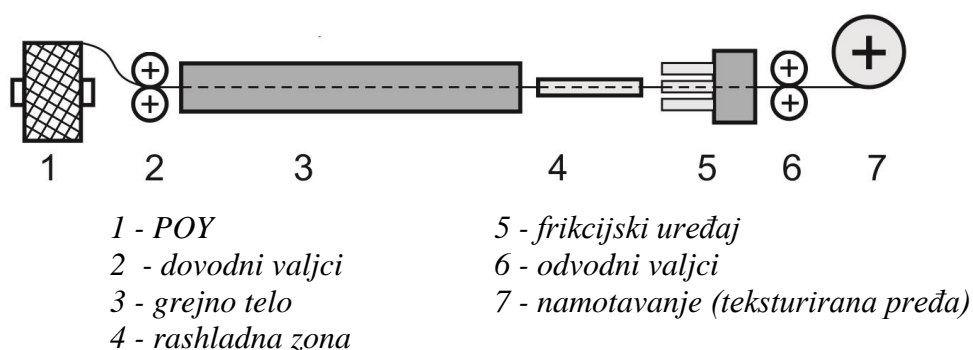
U savremenim postupcima proizvodnje vlakana iz rastopa, koji se odigravaju pri brzinama pređenja iznad 2800 m/min dobija se tzv. predorijentisani ili delimično orijentisani filament (POY), koji se za razliku od LOY i MOY pređa ne menja tokom skladištenja. Kod ovih pređa kristaliničnost je dosta niska, a orijentisanost visoka, ali se daljim postupcima prerade može povećati (tabela 1.1). Pretvaranje delimično orijentisanog polimera u potpuno orijentisano stanje obično se ostvaruje kroz neki od tehnoloških procesa kao što je istezno teksturiranje u kome je integrisano istežanje i teksturiranje [1, 7, 25].

Visoko orijentisani filament (HOY) i potpuno orijentisani filament (FOY) se proizvode pri velikim brzinama, predivo se karakteriše visokim stepenom kristalnosti i orijentisanosti, i pretežno se primenjuje kao glatki filament.

Ispređanje POY filameta predstavlja najšire primenjivanu tehnologiju proizvodnje poliestra. Namotaji POY pređe, koji su krajnji proizvod u procesu ispređanja, predstavljaju istovremeno polazni materijal za postupke: isteznog teksturiranja, isteznog snovanja, isteznog končanja ili isteznog namotavanja, pri čemu se od svih navedenih postupaka dalje prerade POY filameta najčešće koristi postupak isteznog teksturiranja.

Istovremenim istezanjem filament pređe i korišćenjem frikcionih diskova za lažno upredanje postignuto je bitno povećanje proizvodnje. Dodatnim istezanjem filamenata dovedenih u termoplastično stanje dolazi do naknadne raspodele i orijentacije kristalnih segmenata unutar vlakna čime se definišu njihove konačne mehaničke karakteristike. Jedinica za lažno upredanje sačinjena je od frikcionih diskova postavljenih na tri osovine koje obrazuju ravnokraki trougao. Odgovarajućim rastojanjem osovina i izborom prečnika diskova dobija se preklapanje diskova kojim se obuhvata pređa u uređaju, omogućuje prenos obrtog momenta i potrebne sile trenja između diskova i pređe.

Na šematskom prikazu simultanog-frikcionog postupka za teksturiranje lažnim upredanjem (slika 1.3) vidi se da se pređa u kontinuiranom procesu upreda blizu tačke omekšavanja i naknadnim hlađenjem se termički fiksira. Raspredanjem obrazuju pojedinačni filamenti sa fiksiranom kovrdžavom strukturom, pređu sa visokim volumenom i visokom elastičnošću. Postupak teksturiranja lažnim upredanjem iskoristio je sve prednosti koje proističu iz činjenice da je filament pređa koje se teksturira izrađena iz termoplastičnih polimera, tako da se pri: *istezanju* povećava stepen orijentisanosti i kristalnosti; *upredanju* deformišu pojedinačni filamenti unutar multifilamentne pređe; *termofiksiranju* pod dejstvom toplote i napreznja stabilizuju se filamentne niti u upredenom obliku (termofiksiranjem se stabilizuje i postignuta veća orijentisanost i stepen kristalnosti polimera); i *raspredanju*, koje se odvija pri takvim uslovima zatezanje i temperatura filameta, da se ne narušava struktura postignuta termofiksiranjem.



Slika 1.3. Šematski prikaz simultanog - frikcijskog postupka teksturiranja

Za vreme teksturiranja lažnim upredanjem, pređa prolazi kroz više zona, koje, sve imaju uticaj na konačni proizvod. To su:

- Ulazna zona gde se pređa (POY) skida sa kalemova i prolazi kroz ulazne valjke; glavni efekat je obezbeđenje niske zategnutosti kako bi se pouzdano kontrolisala pređa;
- Hladnu zonu gde pređa dobija prve zavoje kada napušta ulazne valjke;
- Vruća zona gde pređa prolazi kroz primarni grejač i već je visoko upredena;
- Zona hlađenja;

- Uređaj za lažno upredanje;
- Zona iza FTU (frikcijske torzione jedinice), vodič do odvodnih valjaka;
- Podešavanja u prvoj deonici zone teksturiranja.

Kod isteznog teksturiranja, zategnutost pređe u prvoj zoni je ograničena isteznim zatezanjem zagrejane pređe, koja pruža nizak otpor istezanju jer je u termoplastičnom stanju. Istezanje će do kraja zone teksturiranja porasti do vrednosti stepena istezana, zdatog relativnom brzinom izlaznog i ulaznog cilindra. Uređaj za upredanje generiše zahtevanu upredenost koja se razvija do limitirane upredenosti. Međutim upredenost varira unazad kroz zonu teksturiranja zbog različitih otpora uvijanju.

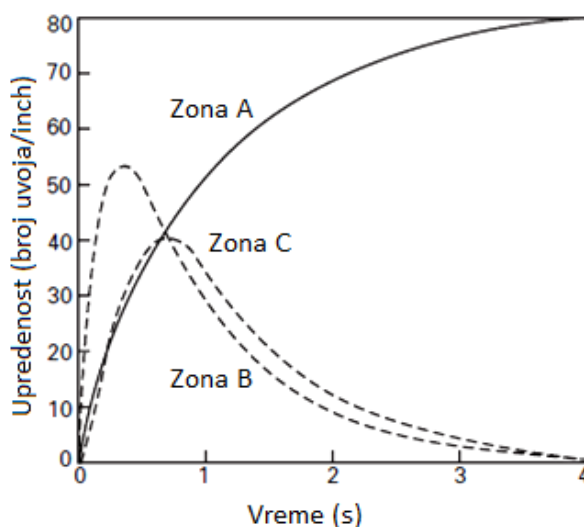
Hladna pređa koju dodaje ulazni cilindar iskazuje visoki otpor istezanju i upredanju. Vlakna nisu istegnuta i samo su delimično upredena. Uprkos tome upredenost je dovoljna za postizanje migracije segmenata vlakana unutar pređe. Naime pri upredanju snopa paralelnih vlakana bez migracije, istegnuta centralna putanja je kraća od spoljašnje helikoidne putanje. Kod limitiranog ugla upredanja od 70.5° spoljašna putanja je tri puta duža od centralne. Ako u njoj nema migracije to će dovesti do varijacije unutrašnjih zategnutosti i upredenosti vlakana. Zato je neophodno da se obezbedi brza izmena pozicije filamenata odnosno njihova migracija unutar poprečnog preseka pređe. Migracija se većinom obavi izmenom pozicije unutar segmenata pređe u kojima je pređa već upredena. Vlakna koja su u srži se omotavaju obzirom da se u spiralno uvijenim površinskim vlaknima razvija zategnutost. Iz toga proizilazi da se unutrašnjom promenom pozicije, centralna vlakna omotavaju. Dorada POY poliestera mora biti tako odrađena da obezbeđuje malo trenje između vlakana i visoko trenje između vlakana i torzionih diskova.

Kada pređa napusti zonu grejača otpor istezanju opada pa se ona izdužuje. Moment otpora uvijanju i torziji doprinosi da se reducira torzija pređe tako da upredenost opada. Komponente zategnutosti pređe ostaju i kontrolišu upredenost iza grejača. Nivo upredenosti je dostignut jer su neznatne promene u zoni hlađenja, nastaju promene mehaničkih karakteristika vlakana sa temperaturom pre no što se postigne konačni nivo.

Druge važne promene se dešavaju kada pređa napusti grejač. Zategnutost vlakana u upredenoj pređi ima bitne poprečne-radijalne komponente. One prouzrokuju bočni pritisak na omekšala topla vlakna deformišući njihove poprečne preseke posebno pošto se molekuli pokreću pod dejstvom istezanja. Kompresija je takva da je postignuto gusto pakovanje vlakana u poprečnom preseku pređe t.j. prostor između vlakana je potpuno eliminisan. U centru pređe vlakna su tako komprimovana da su dobila heksagonalni poprečni presek, ali blizu spoljašnosti ugao upredanja i zategnutost uslovljavaju eliptični oblik. Varijacije u obliku i varijacije istezanja između vlakana, imaju uticaja na oblik i kovrdžavosti vlakana, kao i drugih svojstava u finalnom produktu. Efekat zagrevanja je u relaksaciji unutrašnjih zategnutosti vlakana, koja se na taj način prilagođavaju upredanju i imaju

sklonost ka helikoidnom obliku. Ukoliko pređa zadržava oblik na kraju zone hlađenja, ona ga zadržava u upredenom obliku sa neznatnim promenama ako se zategnutost smanji.

Sumirajući navedeno, putanja pređe kod teksturiranja lažnim upredanjem može se posmatrati kroz tri odvojene zone, s obzirom na raspodelu uvoja (slika 1.4): *zona zagrevanja - hlađenja* (A) koja se nalazi pre jedinice za upredanje; *zona raspredanja* (B) između jedinice za upredanje i odvodnih valjaka i *zona namotavanja* (C) koja se nalazi između odvodnih valjaka i namotavanja pređe na cevke.



Slika 1.4. Raspodela uvoja po zonama: zona A - zona zagrevanja/hlađenja, zona B - zona raspredanja i zona C - zona namotavanja
Napomena: 10 uvoja/inch = 25 uvoja/cm [5]

Praćenje raspodele zavoja po dužini pokretne niti pri teksturiranju pokazalo je da je do grejača broj zavoja relativno mali i da se ulaskom u grejač naglo povećava usled deformisanja zagrejanje niti. Denton [5, 29] je analizom idealnog procesa teksturiranja, odnosno zanemarivanjem skupljanja pređe usled upredanja i uz pretpostavku da je zagrevanje pređe ravnomerno i da su brzine pređe i jedinice za lažno upredanje konstantne i nema klizanja niti, pokazali da se broj uvoja menja prema jednačinama:

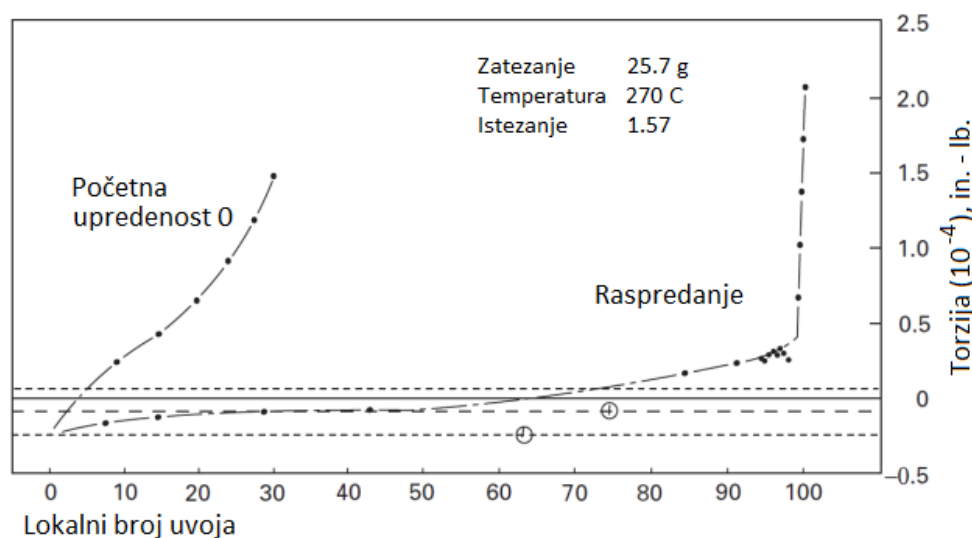
- za zonu zagrevanja/hlađenja:

$$N_1 = N \left[1 - \exp\left(-\frac{vt}{a}\right) \right] \left[m^{-1} \right]$$

- za zonu raspredanja:

$$N_2 = N \left(1 - \frac{b}{a} \right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{vt}{a}\right) - \exp\left(-\frac{vt}{b}\right) \right] \left[m^{-1} \right]$$

pri čemu je N krajnji broj uvoja u zoni zagrevanja/hlađenja, N_1 broj uvoja u zoni zagrevanje - hlađenje u vremenu t , N_2 broj uvoja u zoni raspredanja u vremenu t , a i b su dužine pređe u zoni zagrevanja/hlađenja, odnosno zoni raspredanja (m), dok je v brzina pređe (m/min). Na slici 1.4 data je raspodela uvoja po zonama za tipičan komercijalni proces teksturiranja lažnim upredanjem, izračunata na bazi ovog modela. Broj uvoja u zoni namotavanja (C) zavisi od dužine ove zone, što u praksi znači da postoje dužine koje su u startu neprihvatljive. Promena bilo kog parametra u toku procesa teksturiranja (npr. varijacije bilo kog svojstva sirovine - ulazne pređe, klizanje niti, i sl.) odraziće se na ravnomernost broja uvoja, što u nekim slučajevima može dovesti i do stvarnog upredanja teksturirane pređe, uz smanjenje kovrdžavosti i voluminoznosti teksturirane pređe. Intenzivna teorijska i eksperimentalna istraživanja u ovoj oblasti ostvarili su Thwaites [30, 31, 32], Thwaites i Hooper [33, 34], Featherstone i saradnici [35], Kang i saradnici [36], Du i Hearle [37]. *Thwaiters i saradnici* [24] su merili raspredanje istežno-teksturirane poliesterske pređe čiji uzorak je uzet iz zone hlađenja ispred vretena. Pri inicijalnom upredanju od 100 jedinica, torzioni moment je visok, ali on opada rapidno od 2 jedinice na 0.4 jedinice pri veoma malom opadanju upredenosti - samo oko jedne jedinice. Pri ponovnom upredanju torzija je rasla skoro linearno. Autori su izveli dva važna zaključka. Prvi, da je većina upredenosti uklonjena neposredno pre nego što je pređa napustila vreteno i drugi, da između linija upredanja i raspredanja na slici 1.5, visoki nivo torzionog momenta u parcijalno raspredenoj pređi može biti u ravnoteži sa niskim nivoom upredenosti u ponovno upredenoj pređi. To objašnjava zbog čega čvrsto upredene tačke zaostaju u pređi i kad je većinom raspredena.



Slika 1.5. Torzioni moment - upredanje, reakcija poliesterske pređe uzete iz zone hlađenja [34]

Pređa koja napusta torzionu jedinicu za lažno upredanje je čvrsto držana u zategnutom stanju, zadržava torzioni moment nastao kod raspredanja vlakana postavljenih u helikoidnu formu. Ova

torzija zaostaje u pređi i kada je namotana na kalem i biće reducirana posle određenog vremena relaksacije. Kod mašina sa dva grejača pređa se relaksira u sekundarnom grejaču uz dozvoljeno skupljanje 10-20% pri čemu se kovrdža. To se koristi kod poliesterskih pređa pri čemu je temperatura na sekundarnom grejaču niža od temperature prvog grejača.

Pošto toplota relaksira unutrašnje zategnutosti, i pošto je ovde upredenost jednaka nuli, to I zategnutost ne doprinosi torzionom momentu, pa je on između vretena i odvodnih valjaka jednak nuli. U svakom slučaju da spomenemo kao što je prethodno rečeno, pređa napuštajući vreteno želi zadržati torziju na nultim uvojima.

Na mašinama za teksturiranje POY poliesterskih filamenata se, iza odvodnih valjaka a pre uređaja za namotavanje, dodaje sekundarni grejač, čiji zadatak je fiksiranje teksture i relaksacija unutrašnjih naprežanja u teksturiranoj pređi.

Od prodora simultanog frikcionog teksturiranja, od pre 30-ak godina do danas, poboljšani su mnogi parametri i detalji procesa teksturiranja u pogledu razvoja diskova, grejača i brzine teksturiranja, ali se najmanje postiglo na polju povećanja brzine teksturiranja. Verovalo se da može da se postigne promena povećanja brzine primenom kratkih grejača i povećanjem temperature pa je već na ITMA 1995. u Milanu većina proizvođača mašina za teksturiranje prezentovala kratke grejače s visokom temperaturom.

1.3. Parametri procesa teksturiranja koji utiču na strukturu i kvalitet teksturiranih pređa

Od svih parametara procesa teksturiranja izdvojićemo one koji su najuticajni na strukturu i kvalitet teksturiranih pređa i to:

- Zagrevanje filamenata-temperatura grejača;
- Formiranje lažnih uvoja;
- Istezanje pređe

Jedino postupak teksturiranja vazдушnim mlazom (air-jet) ne menja unutrašnju strukturu vlakana, tako da nije potrebno razmatrati strukturu vlakana koja se teksturiraju putem vazdušnog mlaza. Svi drugi postupci teksturiranja uključuju fazu zagrevanja filamenata, što podrazumeva njihove efekte na molekularnom i nivou fine strukture, pa je za razumevanje i analizu njihovog uticaja neophodno poznavanje strukture vlakana.

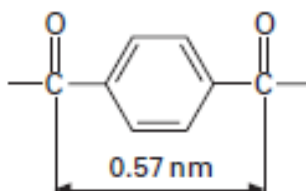
1.3.1. Struktura poliestarskih vlakana

Strukturna organizovanost vlakana obuhvata morfološke i energetske karakteristike na tri nivoa: molekulskom, nadmolekulskom i mikromorfološkom nivou. U toku ispredanja vlakana formira se njihova primarna struktura, koja je zavisna od tehnoloških parametara proizvodnje i ima veliki uticaj na kasnije obrade kojima će vlakna biti izložena. Pošto ispredena poliestarska vlakna imaju mali stepen kristalnosti njihova konačna struktura formira se u procesu istezanja, stabilizovanja, teksturiranja i drugim procesima obrade, a određena je parametrima procesa kao što su temperatura, brzina i stepen istezanja, ali i uslovima relaksacije i termostabilizovanja. S obzirom da polietilentereftalatna (PET) vlakna predstavljaju eksperimentalni materijal u ovoj disertaciji sva razmatranja strukture poliestarskih vlakana biće posvećena ovim vlaknima.

Molekulska struktura polimera i vlakana se definiše hemijskim i fiziko-hemijskim karakteristikama strukture i ima presudni značaj za izbor parametara procesa dobijanja vlakana i formiranje nadmolekulske i mikrostrukture, a samim tim i svojstva gotovih vlakana. Polazeći od polimera kao sirovine za proizvodnju vlakana treba istaći da dužina makromolekula PET-a, srednja molekulska masa i stepen polidisperznosti zavise od uslova esterifikacije, dužine trajanja reakcije, dodatih stabilizatora i katalizatora i sl. Linearnost molekula PET, regularnost rasporeda funkcionalnih grupa i visoka simetrija molekula monomera (tereftalne kiseline i etilenglikola) čine da se ovaj polimer sreće i u amorfnom i u kristalnom stanju, pri čemu dobijeni stepen kristalnosti i nadmolekulska struktura zavise od uslova proizvodnje vlakana, prvenstveno parametara procesa istezanja i toplotne obrade. U toku ispredanja vlakana, odnosno prolaska rastopa polimera kroz mlaznicu, očvršćavanja i predistezanja filamentnih niti formira se tzv. primarna struktura vlakana koja nije konačna i koja se menja u toku daljih faza obrade, ali i određuje uslove tih obrada, kao i strukturu i svojstva gotovih proizvoda. Tako npr. naglo očvršlo neistegnuto PET vlakno, ispredeno konvencionalnim postupkom tj. pri malim brzinama, je potpuno amorfno, s obzirom da PET polimer kristališe sporo. Istezanje sveže formiranih vlakana dovodi do ispravljanja polimernih lanaca, u pravcu dejstva sile, i fiksiranja novonastale strukture kristalisanjem polimera. Stepen kristalnosti istegnutih PET vlakana je oko 50 %. Kako bi se dobio proizvod ravnomerne strukture i svojstava veoma je bitno da se u toku procesa proizvodnje vlakana svi parametri procesa održavaju na utvrđenom nivou, bez njihovog variranja i oscilacija [26, 38, 39, 40].

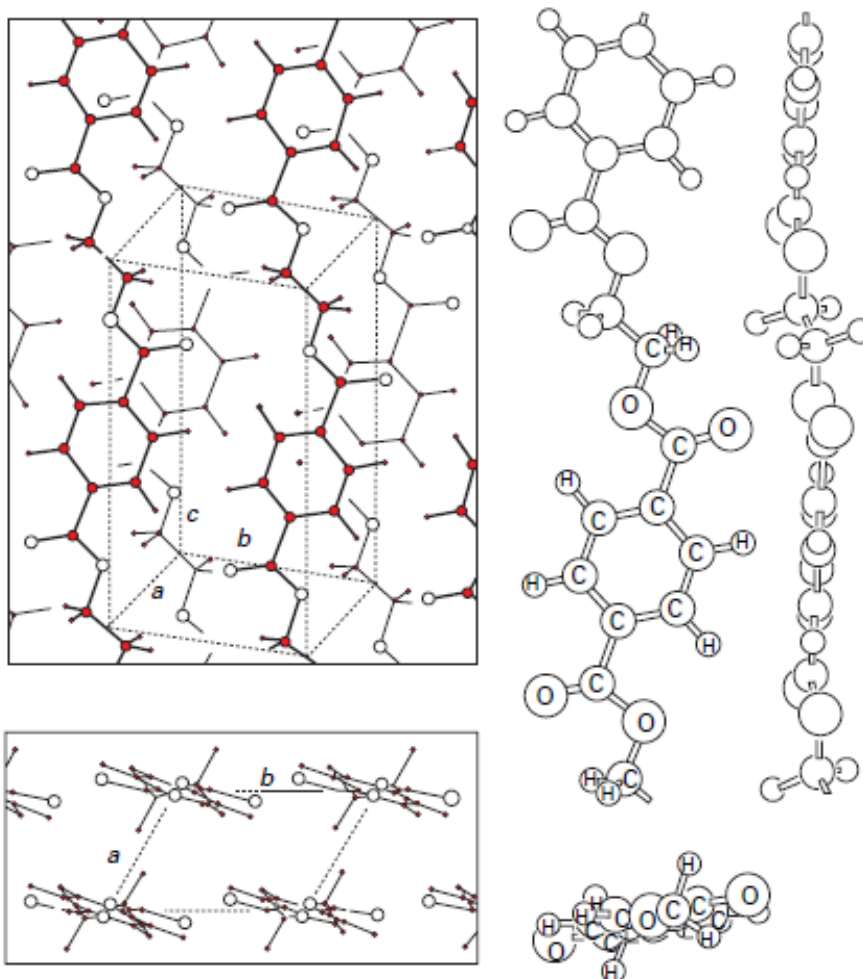
Prisustvo alifatično-aromatičnih grupa u makromolekulu PET polimera, čini njihovu strukturu složenijom u odnosu na strukturu čisto alifatičnih polimera. Alifatična sekvenca ($\text{—CO—O—CH}_2\text{—CH}_2\text{—O—CO—}$) odgovorna je za fleksibilnost polimernog lanca, čak i na sobnoj temperaturi, dok je aromatična sekvenca (slika 1.6) odgovorna za krutost polimernog lanca, zbog koje je otežano deformisanje oblasti manje sredjenosti. Takođe, usled elektronskog sadejstva

susednih benzolovih jezgara stvaraju se jake intermolekulske veze. Ukupni intenzitet intermolekulskih veza u slučaju PET vlakana je 1,37 kJ/mol, a od toga 1,02 kJ/mol čine disperzione sile između benzolovih jezgara, što znači da je jačina PET vlakana prvenstveno određena krutošću i intermolekulskim vezama benzolovih jezgara [26, 38, 39, 41].



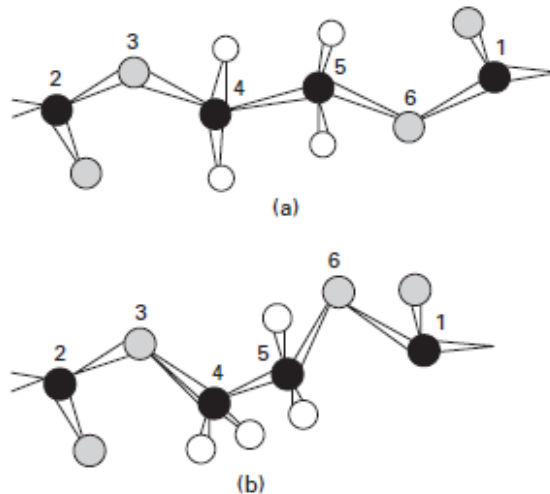
Slika 1.6. Dimenzije tereftalatnog segmenta PET polimera [26]

Izgled jedinične kristalografske ćelije PET je prikazan na slici 1.7. Rotacijom polimernog lanca oko C—O— veze dobijaju se dva konformera: planarni *trans*- i prostorni *gauche*- (*trans*- i *gauche*-) konformer, slika 1.8.



Slika 1.7. Jedinična kristalografska ćelija poliestarskog vlakna Terylene (levo) i konfiguracija molekula (desno) [38, 42]

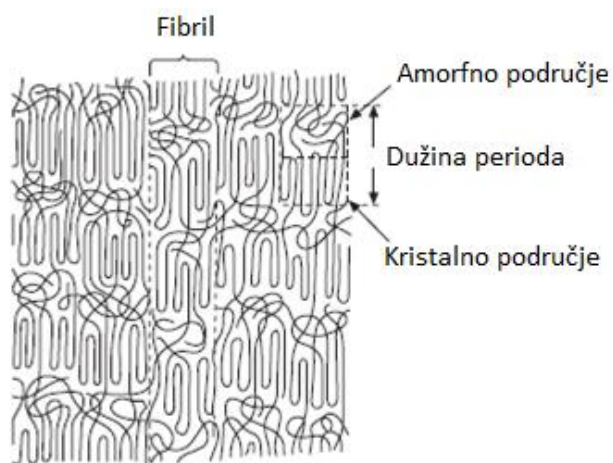
Trans-konformacija omogućava najispruženiji prostorni raspored polimernih lanaca, pri čemu se polimerni lanci nalaze na tzv. *van der Waals*-ovom rastojanju, pri kome su privlačne i odbojne komponente disperzionih sila u stanju ravnoteže. Kristalne oblasti PET sadrže samo trans-konformere, dok se u amorfni oblastima nalaze oba konformera, pri čemu je udeo trans konformera oko 64%, dok u potpuno amorfnom PET udeo trans konformera je oko 14 % (± 5 %). Na granici između kristalnih i amorfni oblasti nalaze se prelazne oblasti, debljine oko 1.03 nm, sa delimično narušenim daljim poretkom, a koje sadrže samo trans-konformere [26, 41, 42, 43].



Slika 1.8. Glikolni segment PET polimera u (a) trans- i (b) goš - konformaciji [26]

Perioda identičnosti PET vlakana je 1,075 nm, što je neznatno manje od teorijske vrednosti periode idealno ispruženog segmenta makromolekula koja iznosi 1,09 nm i ukazuje na skoro planarnu konformaciju makromolekula, odnosno činjenicu da PET kristališe sa skoro potpuno ispruženim molekulskim lancima, formirajući tako skoro savršene kristalne tvorevine. S obzirom na veliku ispruženost PET lanaca u kristalnim područjima, kristalna područja se karakterišu velikim modulom elastičnosti ali i malom elastičnom deformacijom [26, 41]. U literaturi se sreću različiti podaci o parametrima triklinične jedinične ćelije PET [1, 26, 40]. Prema *Daubeny* i saradnicima [42] dimenzije triklinične ćelije PET su: $a = 0,456$ nm, $b = 0,594$ nm, $c = 1,075$ nm, $\alpha = 98,5^\circ$, $\beta = 118^\circ$ i $\gamma = 112^\circ$, što odgovara gustini kristalnih područja $\rho_k = 1440$ kg/m³. *Fakirov* i saradnici [44] su korigovali ove vrednosti i predložili dimenzije $a = 0.448$ nm, $b = 0.585$ nm, $c = 1.075$ nm, $\alpha = 99.5^\circ$, $\beta = 118.4^\circ$ i $\gamma = 111.2^\circ$, što odgovara gustini kristalnih područja $\rho_k = 1515$ kg/m³, dok je gustina amorfni područja $\rho_a = 1335$ kg/m³. Mala razlika u gustini kristalnih i amorfni područja ukazuje na veliku sredenost amorfni oblasti u kojima dominiraju ispravljani prohodni molekuli, uz neznatno prisustvo prepletenih molekula i njihovih krajeva.

Na osnovu strukturnog modela koji je razvio *Peterlin* [45] i sopstvenih istraživanja *Prevorsek* i saradnici [46] su razvili „trofazni“ mikrofibrilni model poliamidnih i poliestarskih vlakana koji je aktuelan i danas [26, 40]. Naime, vlakna se sastoje iz visokouređenih kristalnih područja, klasičnih amorfnih oblasti i orijentisanih prelaznih oblasti, sa delimično narušenim daljim poretkom, na granici između kristalnih i amorfnih oblasti (anizotropna nekristalna faza), pri čemu je osnovni strukturni element svih semikristalnih vlakana fibril (slika 1.9). U PET vlaknima debljina mikrofibrila je oko 10 nm, dok je njihova dužina uporediva sa dužinom makromolekula – oko 10 μm. Mikrofibrili se sastoje od kristalnih i amorfnih oblasti koje se naizmenično ponavljaju, pri čemu je dužina velike periode, tj. dužina dve susedne amorfne i kristalne oblasti (slika 1.8.) oko 15 nm. Između susednih mikrofibrila nalaze se prelazne oblasti sa ispravljenim molekulima polimera, tzv. anizotropna nekristalna faza, čiji udeo varira između 10 i 30% u odnosu na kristalnu fazu. Kristalne oblasti PET vlakana se sastoje prvenstveno od savijenih segmenata molekula koji stvaraju lamele. Ovakav način kristalisanja posledica je nemogućnosti nasumično sklupčanih molekula da se potpuno isprave tokom kristalisanja, pa se presavijaju unazad. Uobičajena dužina polimernog lanca unutar kristalne oblasti je oko 20 osnovnih motiva, tako da je dužina kristalnih oblasti mala, a same kristalne oblasti su „ispresecane“ amorfnim oblastima. Veličina i raspodela po veličini kristalnih oblasti zavisi od parametara procesa formiranja i naknadne obrade vlakana i u velikoj meri određuje svojstva gotovih vlakana. Udruživanjem mikrofibrila nastaju fibrili za koje je takođe karakteristično postojanje interfibrilarnih amorfnih oblasti. Susedna kristalna područja u mikrofibrilu, kao i susedne mikrofibrile povezuje određeni broj ispruženih prohodnih (vezivnih) molekula koji su glavni nosioci mehaničkih svojstava vlakana [26].



Slika 1.9. Model strukture semikristalnih vlakana [26]

Za strukturu vlakana je veoma važna orijentacija makromolekula i njihovih agregata u pravcu ose vlakna, što zavisi od brzine ispredanja, tj. odnosa brzine protiskivanja rastopa polimera i brzine odvođenja očvrsele niti, kao i uslova naknadnog istežanja i termofiksiranja. Takođe, na povećanje

orijentisanosti makromolekula i njihovih agregata u pravcu ose vlakna utiče i povećanje molekulske mase polimera i ravnomernost raspodele molekulskih masa, što pooštrava zahteve u pogledu kvaliteta sirovina. U PET vlaknima kristalne oblasti su orijentisane pod uglom od 12° u odnosu na osu mikrofibrila. Sa povećanjem brzine ispredanja povećava se i orijentacija strukturnih elemenata što se odražava na povećanje gustine i stepena kristalnosti, odnosno dvojnog prelamanja. Važno je istaći da se orijentisane kristalne oblasti mogu dobiti pri ispredanju vlakana velikom brzinom, pri čemu je brzina kristalisanja orijentisanih strujnica pod naponom nekoliko hiljada puta brža od kristalisanja neorijentisanih rastopa [26, 40].

Razvoj postupaka ispredanja vlakana velikim brzinama posebno je imao veliki značaj za proizvodnju poliestarskih vlakana. Amorfna neistegnuta poliestarska vlakna su veoma nestabilna, jer se njihova struktura menja sa vremenom u toku skladištenja, pogotovo pri višim ambijentnim temperaturama. To za posledicu ima da se istezanje i stabilizovanje vlakana mora vršiti u tačno definisanom vremenskom intervalu od trenutka formiranja vlakana. Sa povećanjem brzine formiranja vlakana (brzina namotavanja) brzina kojom se orijentišu istegnuti molekuli nadmašuje brzinu relaksacionih procesa, tako da pri brzinama većim od 3000 m/min postignuti stepen orijentacije molekula je dovoljan da izazove kristalisanje polimera u toku hlađenja filamentnih niti. Kao što je u poglavlju 1.2. rečeno, dobijeni delimično orijentisani filament (POY) je stabilan i pogodan za transport i dalje teksturiranje. Daljim povećanjem brzine formiranja vlakana, iznad 5000 m/min, povećava se stepen kristalnosti svežeformiranog filameta, koji se može direktno koristiti za proizvodnju tekstilnih materijala, mada se u odnosu na konvencionalno poliestarsko predivo razlikuje po većoj istegljivosti. Detaljan pregled istraživanja uticaja brzine ispredanja poliestarskih vlakana na njihovu strukturu i svojstva dali su *Ziabicki* i *Kawai* [47], kao i *Nakajima* [48].

1.3.2. Uticaj temperature teksturiranja na strukturu vlakana

U procesu teksturiranja, pod dejstvom mehaničkih sila i toplote dolazi do promena u strukturi filamentnih niti. Kad se kao sirovine koriste potpuno istegnute pređe, fina struktura će biti stabilizovana i tokom zagrevanja će nastati samo manje promene. Situacija je drugačija kod isteznog teksturiranja neistegnutih ili delimično orijentisanih pređa (POY). Istezanje u kombinaciji sa upredanjem, vodi do velikih poremećaja i novog reformiranja fine strukture (nadmolekularne).

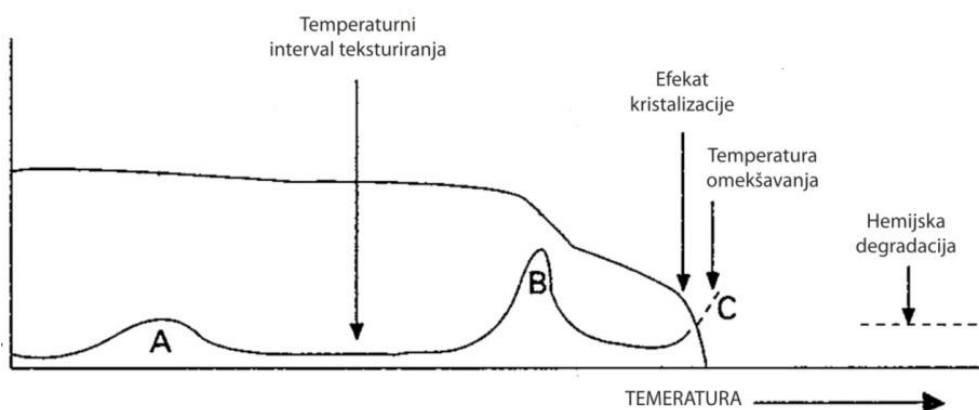
Što se tiče poliestera, u poređenju sa poliamidom, efekti su još jači, jer je neistegnuti poliestar amorfan; kristalizacija se javlja tokom istezanja. Poliester POY, proizveden na otprilike 3000 m/min, ima početnu kristalnost, koja stabilizuje strukturu do stepena koji eliminiše razlike između proizvodnje i teksturiranja, ali pun razvoj kristalizacije se javlja tek tokom istezanja. Iznad 3500

m/min, gustina počinje da raste naglo, a na 6000 m/min, može se uporediti sa istegnutom pređom. Posledica kombinacije istežanja i upredanja u procesu simultanog istežnog-teksturiranja je takva da se orijentisane fine strukture, moraju posmatrati kao prateće spiralne linije unutar vlakana, pod helikoidnim uglovima koji se povećavaju od nule duž ose do maksimuma na površini vlakana. Fina struktura se takođe poklapa sa savijenim oblikom spiralne putanje samih vlakana unutar pređe [5]. Zbog intenzivnog upredanja u prvom delu zone upredanja nastaju radijalne sile koje dovode do sabijanja omekšalog vlakana po poprečnom preseku, gustog pakovanja koje čak deformiše poprečni presek vlakna. Posledica intenzivnijeg istežanja i upredanja je takva da su vlakna, tokom procesa sa velikim deformacijama, podložna velikim poprečnim silama u upredenoj pređi pod tenzijom. Ovo deformiše i oblik vlakana u poprečnom preseku, tako da dobijaju oblik približno pravilnog šestougona (slika 1.10).



Slika 1.10. Izgled poprečnog preseka filamenata u pređi teksturiranoj u simultanom - istežnom procesu teksturiranja [28]

Posmatrajući uticaj temperature u zoni teksturiranja na modul istežanja vlakana, poliamid 66 i poliesterska (PET) vlakna imaju pet važnih regiona termičkih prelaza: na oko -100°C , 100°C , 200°C , 260°C i 300°C . Temperature su približne, jer su prelazi široki i položaj pikova tranzicije zavisi od stepena promena i drugih faktora. Četiri od ovih promena su prikazane na dijagramu na slici 1.11.



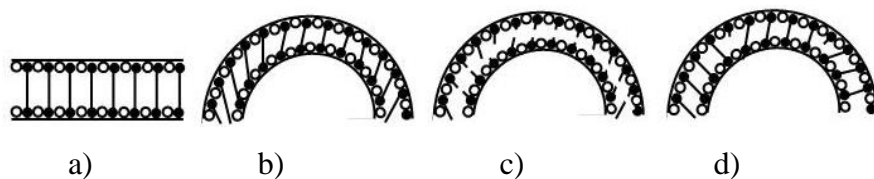
Slika 1.11. Šematski prikaz termičke tranzicije u „idealnom vlaknu“ [5]

Dva niža temperaturna prelaza (A i B) su najbolje proučavana pomoću dinamičkih mehaničkih ispitivanja. Najniži pri temperaturi od -100°C , bi imao značaj za upredene pređe pri vrlo niskim temperaturama, na primer u vasioni. Sledeći, na oko 100°C , ima veliku praktičnu važnost za ponašanje pređe posle teksturiranja (relaksacija). Topljenje (omekšavanje) nastupa za poliesterska vlakna na oko 260°C (niža u poliamidu 6), je očigledna promena iz čvrstog u tečno stanje, koje se može proučavati detaljnije putem termičke analize. Najviša temperaturna tranzicija je hemijska degradacija, što ograničava vreme zadržavanja pređe u zoni zagrevanja pri visokim temperaturama jer ukoliko dođe do akumuliranja veće količine toplote i porasta temperature filamenata može doći do slepljivanja istih (punktovanja).

Efekti na oko 200°C (niže za poliamid 6), su kritični faktori u proizvodnji teksturiranih pređa, ali, iznenađujuće je, da se oni u velikoj meri ignorisani u studijama pa se rezultati dinamičke mehaničke analize najčešće zaustavljaju na oko 180°C , pre nego što su efekti očigledni. O tome se više zna na osnovu inženjerskih reakcija u pogonima nego na osnovu fundamentalnih istraživanja, što važi generalno za dobar deo istraživanja vezanih za postupak teksturiranja, mada se poslednjih godina sve više autora bavi izučavanjem promena strukture u procesu teksturiranja. Rezultati do kojih su došli Yildirim i saradnici [8, 49] ispitujući promene u strukturi POY PET filamena teksturiranog na različitim temperaturama prvog grejača od 150 do 230°C pokazuju da, usled procesa rekristalizacije, stepen kristalnosti raste sa porastom temperature grejača do dostizanja maksimalne vrednosti na oko 200°C , a zatim opada. S druge strane, Canbaz Karakaşa i Dayioğlu [10] su utvrdili da se sa povećanjem temperature teksturirane PET pređe u opsegu od 155 do 185°C (nije navedena temperatura prvog grejača) povećava stepen kristalnosti, i to utoliko više ukoliko je temperatura pređe viša, uz povećanje orijentisanosti, ali i porast kristala, odnosno velike periode, u odnosu na ove veličine u neteksturiranom filamentu. Promene u strukturi filamentnih niti pri teksturiranju uslovljene su temperaturom i ravnomernošću njene raspodele u filament pređi i svakoj niti pojedinačno, što znači da su pored temperature prvog grejača, bitni i vremena toplotne obrade tj. brzina niti odnosno teksturiranja, ali i finoća pređe i pojedinačnih niti, o čemu će biti reči kasnije.

Dobijena struktura pređe se stabilizuje hlađenjem; nakon primarnog grejača pređa u upredenom stanju prolazi kroz zonu hlađenja koja se proteže od izlaza iz primarnog grejača do frikcionog agregata (slika 1.3.). Stabilizovanje je jedan od najkritičnijih stadijuma u teksturiranju i šematski je prikazano na slici 1.12. Sintetizovani polimeri imaju dugačke molekulske lance međusobno povezane međumolekulskim vezama (slika 1.12.a), koje se deformišu (slika 1.12.b) i raskidaju (slika 1.12.c) povećanjem temperature i/ili deformisanjem polimera putem napona koji se vlaknu saopštava upredanjem, istezanjem i/ili savijanjem. Pre ulaska pređe u mehanizam za upredanje potrebno je pređu ohladiti kako bi se stabilizovali uvoji koje je pređa dobila u zoni zagrevanja. U

procesu stabilizovanja dolazi do uspostavljanja novih, energetski jačih i termodinamički stabilnijih međumolekulskih veza (slika 1.12.d).



Slika 1.12. Princip toplotnog stabilizovanja [6]

Odgovarajuće hlađenje je od izuzetne važnosti za teksturiranje, jer se stabilizovanje pređe ostvaruje hlađenjem a ne zagrevanjem i delovanje primarnog grejača je beskorisno ukoliko nije praćeno efikasnim hlađenjem do tog stepena da, pre odvajanja od jedinice za upredanje, temperatura pređe bude ispod temperature ostakljivanja (u slučaju poliestra ispod 100°C). Ako ne bi bilo hlađenja onda bi raspredanju bila izložena omekšana nit pa bi se efekat upredanja, odnosno teksturiranja, znatno smanjio. Ovo je posebno važno u slučaju poliestarske pređe. Naime, kada se porede poliamidni i poliestarski filament zagrejani i hlađeni istim brzinama uočavaju se značajne razlike. Efikasnost stabilizovanja poliamida je mnogo više zavisna od zagrevanja nego poliestra, pri čemu uspešnost stabilizovanja poliestra više zavisi od efikasnosti hlađenja [6, 7, 50].

Kod mašina koje rade malim brzinama moguće je prirodnim hlađenjem sniziti temperaturu prediva ispod temperature ostakljivanja (T_g), dok se kod mašina koje rade velikim brzinama moraju primeniti neki drugi načini hlađenja, pri čemu hlađenje može biti: aktivno i pasivno. Kod pasivnog hlađenja pređa se hladi u direktnom kontaktu sa pločom za hađenje, toplota se odvodi sa pređe na ploču i prenosi na okolni vazduh. Kod aktivnog hlađenja, hlađenje može biti poboljšano prinudnom konvekcijom bilo usisavanjem vazduha ili duvanjem komprimovanog vazduha kroz otvore na ploči za hlađenje. Uporedna istraživanja uticaja načina hlađenja na svojstva teksturirane pređe su pokazala da pređa hlađena normalnim kontaktom sa pločom za hlađenje (pasivni način) ima bolja svojstva, što je objašnjeno razlikom u „dubini“ hlađenja pređe [51]. Ako se pređa ohladi brzo, što je slučaj kod aktivnog hlađenja, razlika temperatura površine i sredine pređe je velika, što dovodi do različitog naprezanja između filamenata na površini i u sredini pređe. Posledica toga može biti oštećenje pređe odnosno smanjenje kvaliteta pređe. Najjednostavniji način da se poboljša efikasnost hlađenja je povećanje zone hlađenja tj. povećanje rastojanja između grejača i mehanizma za upredanje, pri čemu se značajno povećava stepen kovrdžavosti teksturiranog filameta. S obzirom da pri povećanju dužine zone hlađenja nastaju vibracije niti koje pogoršavaju upredanje i usložnjavaju putanju kretanja niti, u cilju unapređenja stabilnosti procesa teksturiranja pored zone primarnog grejača potrebno je skraćivati i zonu hlađenja. Rešenja u poboljšanju hlađenja se traže u

primeni kontaktnih rashladnih pločica, upotrebi rashladnih fluida ili sličnih rashladnih elemenata, pri čemu se posebna pažnja posvećuje kretanju odnosno putanji prediva u zoni hlađenja [7, 50, 51, 52].

1.3.3. Formiranje lažnih uvoja

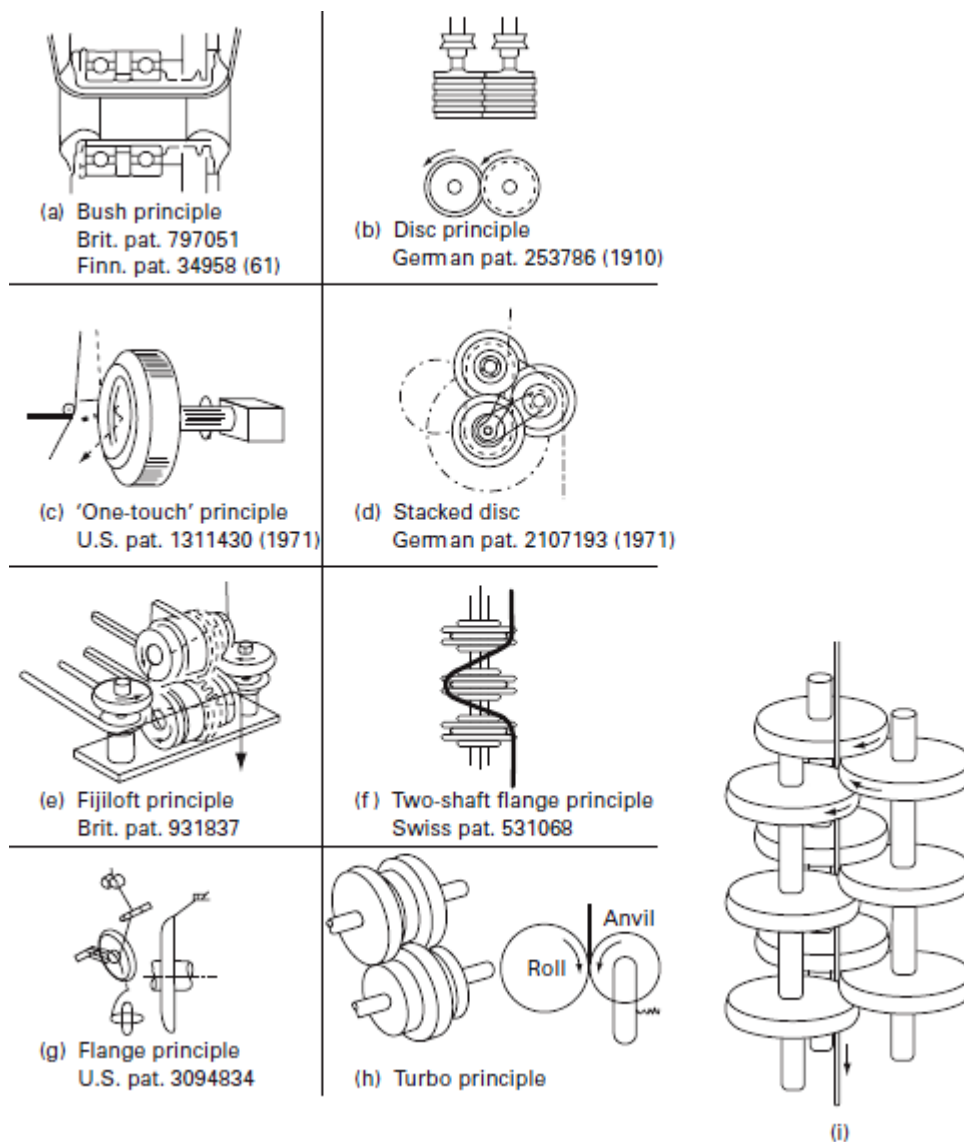
Centralni uređaj u procesu simultanog-isteznog-teksturiranja je frikcijski uređaj za lažno upredanje koji se često naziva frikcijski agregat ili FTU (Friction twist unit). Sam čin upredanja zagrejanih i istegnutih niti, a potom i njihovo raspredanje u ohlađenom stanju, su ono što pređi daje osobine kovrdžavosti i voluminoznost. Otuda potiče i naziv lažno upredanje.

U početku su se kod postupka teksturiranja lažnim upredanjem koristila magnetna vretena koja su davala uvoje pređi. Jedan od faktora koji je ograničavao produktivnost mašina za teksturiranje bila je i brzina kojom su se davali uvoji pređi, tj. brzina vretena, jer od nje zavisi i brzina prolaza prediva. Naime teorijski izračunata maksimalna brzina vretana je od 900.000-1.000.000 o/min što omogućava proizvodne brzine do 360 m/min [6].

Rešenje ovog problema ostvareno je uvođenjem frikcionog vretana, mada sa dosta poteškoća zbog neujednačenog kvaliteta teksturiranih pređa tj. pojave zatvorenih (neteksturiranih) delova posebno kod grubljih filamenata. Danas, zahvaljujući zajedničkom naporu proizvođača filamenata, preparacije i opreme, uz primenu odgovarajućih materijala za izradu frikcionih vretena (poliuretan, keramika, dijamant), ovi problemi su prevaziđeni, a brzine teksturiranja poliamida i poliestra su oko 1.000 m/min. Frikciono upredanje se sastoji od upredanja prediva usled njegovog uvrtnja prilikom frikcionog kontakta sa pokretnom površinom ili površinama frikcionih pločica ili diskova. Umesto frikcionih pločica mogu se koristiti i kaiševi, pri čemu različiti proizvođači imaju različite varijante frikcionih agregata za teksturiranje (slika 1.13), koji se po vrsti kontakta sa filamentom mogu podeliti na dva tipa: mehanizmi za upredanje sa unutrašnjim (slika 1.13 (a), (c), (e) i (g)) i spoljašnjim trenjem (slika 1.13 (b), (d), (f) i (h)) [5, 6].

Mehanizmi sa unutrašnjim trenjem su se koristili za teksturiranje finijeg poliamidnog filamena namenjenog za izradu čarapa. Mehanizmi sa spoljašnjim trenjem intenzivno su razvijani početkom 70-tih godina prošlog veka u želji da se obezbedi: sigurna i stabilna transformacija uvoja na finim i srednje finim pređama; jednostavnost opsluživanja, rukovanja i održavanja; mogućnost izbora diskova različitog stepena tvrdoće; izbor diskova koji stvaraju manje buke uz što veću brzinu kretanja niti, kao i osetljivost prenosa uvoja prema variranju napona niti izazvana kvalitetom ulazne niti. Kao rezultat ovih stremljenja razvijen je tzv. triplet sistem (slika 1.13 (d) i (i)) kod kog se frikciono diskovi postavljaju na tri osovine koje formiraju ravnostrani trougao. Rastojanje ovih osovine je manje od poluprečnika diskova čime se postiže njihovo preklapanje. Broj uvoja koji se

zadaje pređi zavisi od dva glavna faktora: broja kontakata između prediva i frikcionih diskova, odnosno obuhvatnog ugla, i relativnog odnosa periferne brzine diska i brzine prediva, tzv. D/Y odnosa. Obuhvatni ugao je definisan kao ukupni kontakt pređe i svih diskova frikcione jedinice (obuhvatni ugao prediva = $\Sigma(\alpha_1 \dots \alpha_n)$ pri čemu je α_i kontaktni ugao pređe i radne površine i -tog diska, a n broj diskova). Obuhvatni ugao se može varirati povećanjem ili smanjenjem: prečnika i debljine frikcionih diskova, horizontalnog rastojanja između frikcionih diskova, vertikalnog rastojanja između frikcionih diskova i/ili broja frikcionih diskova. U praksi se najčešće koriste poslednje dve mogućnosti, pri čemu se najčešće koristi promena broja frikcionih diskova.



Slika 1.13. (a) - (h) Različite verzije frikcionih jedinica; (i) detaljni prikaz preklopljenih diskova datih pod (d) koji su danas najčešće korišteni frikcioni agregat [5]

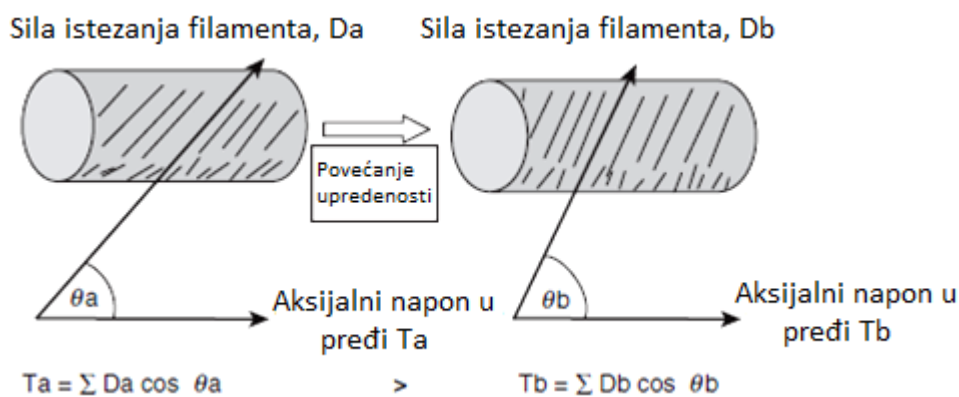
U tabeli 1.2 dati su karakteristični parametri za dve tipične frikcione jedinice.

Tabela 1.2. Karakteristični parametri za dve tipične frikционе jedinice [5]

Tip frikционе jedinice	Temco 471	Barmag tip 8
Aksijalno rastojanje [mm]	33,77	36,9
Preklapanje diskova [mm]	11,23	15,2
Površina preklapanja diskova [mm ²]	41,9	101,6
Prečnik cilindra [mm]	6,01	9,5
Površina trougla [mm ²]	184	425,4
Max brzina [o/min]	15000	16000
Kontaktni ugao prediva i diska [°]	45,9	43,7
Prečnik spirale [mm]	25	28
Dimenzije diska		
Prečnik [mm]	45,0	52,11
Debljina [mm]	6,0	9,0
Otvor za osovinu [mm]	12,0	12,0 ili 14,45

Konfiguracija odnosno raspored diskova u frikcionom agregatu određen je parametrima proizvodnog procesa, kao što su podužna masa i brzina pređe, nivo upredenosti i slično. U sastav frikcionog agregata ulaze tri vrste diskova: ulazni, radni i izlazni. Pri izboru kako broja frikcionih diskova, tako i njihovom preklapanju, mora se voditi računa o željenoj voluminoznosti pređe i uticaju preklapanja diskova na broj prekida pređe, s obzirom da važe pravila: što je veći broj radnih diskova to je veća voluminoznost pređe i što je veći broj radnih diskova to je veći broj prekida pređe. Kao što je prethodno navedeno korišćenje više diskova znači veći obuhvatni ugao između pređe i diskova, ali i veći ukupni kontakt između pređe i površine diskova. Oba ova parametra povećavaju efikasnost upredanja za dati D/Y odnos, što znači veći broj uvoja pređe u zoni grajača, a samim tim i voluminoznija pređa. Što se tiče broja prekida pređe, uzimajući za primer poliestarski filament i njegovu inertnost ka radu usled saopštenog upredanja, što je veći obuhvatni ugao i zadati broj uvoja, to je veća verovatnoća da dođe do prekida pređe [5].

Treba imati u vidu da se, pri nepromenjenom stepenu istežanja, napon u pređi pre frikционе jedinice (T_1) smanjuje sa povećanjem nivoa upredenosti, slika 1.14. Smanjenje napona u pređi T_1 posledica je povećanja ugla upredanja pređe (θ - ugao zavojnice istegnute i upredene pređe) u plastifikovanom stanju, s obzirom da sile kontrakcije nisu značajne jer je pređa u plastifikovanom stanju (temperatura pređe je iznad temperature ostakljivanja), aksijalni napon u pređi je u velikoj meri određen sumom napona u pojedinačnim filamentima, a ugao upredanja raste sa povećanjem broja uvoja [7].



Slika 1.14. Smanjenje napona u pređi sa povećanjem nivoa upredenosti [7]

Sve veće povećanje proizvodnih brzina na mašinama za teksturiranje nametnulo je potrebu za efikasnijim prenosom uvoja na pređu uz očuvanje njenih prekidnih i taktilnih karakteristika. Kako je brzina frikcionih jedinica ograničena čisto mehaničkim parametrima kao što su moguće opterećenje i vibracije, dimenzije frikcionih diskova (debljina i prečnik) morale su biti povećane kako bi se pređi mogao zadati veći broj uvoja. Povećanje debljine i prečnika frikcionih diskova dovelo je do većeg kontakta pređe i radnih površina frikcionog diska omogućavajući zadavanje većeg broja uvoja. Danas su na tržištu dostupni diskovi različitih dimenzija, od prvobitnih debljine 4 mm i prečnika 45 mm, preko diskova debljine 6 mm i prečnika 45, 50 i 52 mm, do diskova debljine 9 mm i prečnika 52 i 53 mm. U poslednje vreme na tržištu su se pojavili i diskovi prečnika 12 mm ali njihova primena još uvek nije rasprostranjena [5, 6, 7, 53].

Usavršavanje frikcionih diskova je bilo usmereno u pravcu optimizovanja njihove geometrije i materijala za izradu frikcionih diskova. Diskovi mogu imati različite profile radnih površina (sferne, polukružne, ravne) tako da zbog različite zakrivljenosti površine diska predivo ostvaruje različitu površinu i ugao kontakta. Profili diskova utiču na efektivnost upredanja, nivo kovrdžavosti i ravnomernosti pređe, kao i na klizanje pređe [5, 6].

Zahvaljujući zajedničkom naporu proizvođača mašina i opreme za teksturiranje, razvijeni su različiti materijali za izradu frikcionih diskova (poliuretan, keramika, nikal/dijamant, plazmom naslojena keramika), pri čemu su komercijalno najznačajniji keramički i poliuretanski frikcionni diskovi. Iako oba tipa frikcionih diskova imaju svoje prednosti (tabela 1.3), većina proizvođača teksturiranih pređa se odlučuje za poliuretanske diskove s obzirom na njihovu mekšu površinu i veće trenje u odnosu na pređu, tako da bolje „drže“ pređu, tj. manje je klizanje pređe, i u poređenju sa keramičkim diskovima, pri istom D/Y odnosu daće više uvoja pređi, smanjujući tako napon u pređi posle frikcionih jedinica (T_2).

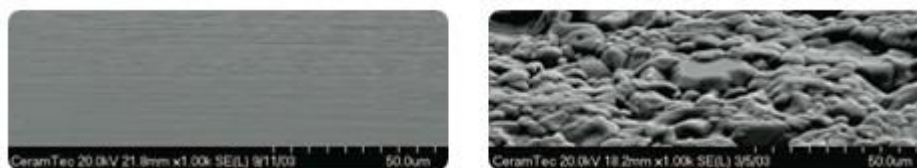
Tabela 1.3. Prednosti i nedostaci keramičkih i poliuretanskih frikcionih diskova [5]

Keramički diskovi	Poliuretanski diskovi
Prednosti Jeftini (dugoročno) Dugotrajni Škripav opip finalnih tekstilnih proizvoda	Prednosti Mala količina snega* Mekan opip finalnih tekstilnih proizvoda Veoma voluminozna pređa „nežni“ prema pređi
Nedostaci Velika količina snega* Mala voluminoznost pređe Mehanička oštećenja pređe	Nedostaci Visoka cena Ograničen vek upotrebe Lako se oštećuju

* Termin **sneg** se koristi da opiše abrazionu prašinu tj. beli depozit koji se formira na mašinama za teksturiranje, prvenstveno oko frikcionog agregata i u zoni hlađenja. Depozit se sastoji od niskomolekulskih frakcija polimera (oligomeri) i preparacije, a formira se usled kombinovanog dejstva toplote i abrazije na površinu filament pređu.

Takođe, s obzirom da su sintetizovana vlakna obično tvrđa od poliuretana, primenom ovih diskova nema uočljive abrazije vlakana [5, 53]. Neki proizvođači daju prednost novim tipovima keramičkih diskova izrađenih iz tzv. „meke keramike“, pri čemu ovaj termin treba da istakne poboljšane performanse novih materijala [5, 54]. Ovi diskovi imaju prednosti keramičkih diskova navedene u tabeli 1.3, uz poboljšanu ravnomernost pređe, bez oštećenja površine nanetom preparacijom ili usled naglog zaustavljanja mašine, veliku fleksibilnost u pogledu radnih brzina i finoće pređa, lako čišćenje i održavanje i znatno manje generisanje abrazione prašine, tzv. snega.

Hrapavost površine diskova zavisi od materijala diskova i određuje koeficijent trenja između diskova i niti koja se teksturira. Sve nepokretne vođice u zoni upredanja treba da imaju što glađu površinu, izuzev frikcionog diska čija površina treba da je sitnozrna i sa finom hrapavošću, slika 1.15 [1, 5, 53 54].



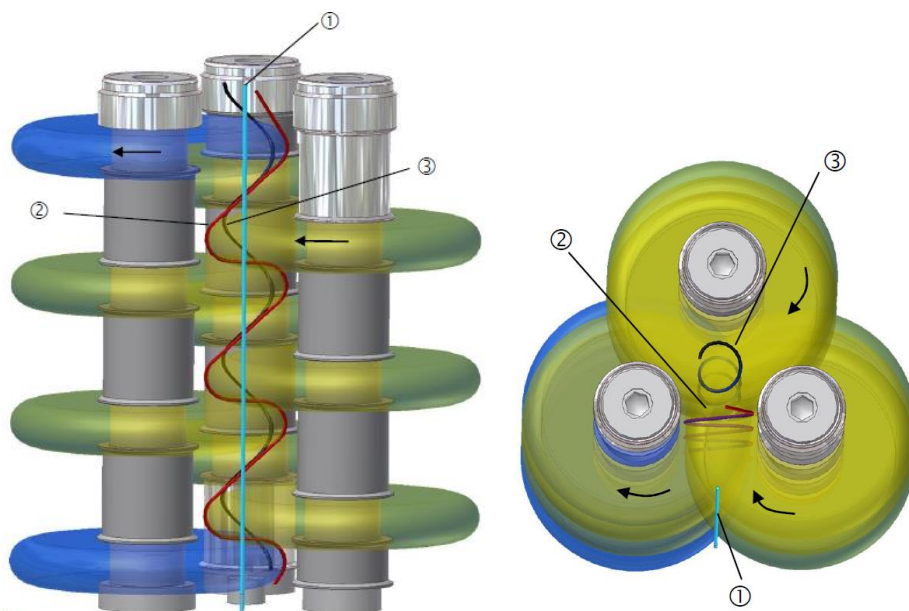
Slika 1.15. Izgled površine vođice (levo) i frikcionog diska Cerasoft®G (desno) [54]

Na slici 1.16 prikazan je izgled frikcionog agregata. Ulazni i izlazni diskovi na početku i na kraju frikcionih jedinica štite radne diskove i produžavaju njihov radni vek, tako što smanjuju napon na prvom i poslednjem radnom disku smanjenjem obuhvatnog ugla. Istovremeno ulazni disk inicira upredanje pređe, olakšavajući tako rad radnim diskovima. Ovo je posebno važno u slučaju poliuretanskih diskova koji su osetljiviji na oštećenja i čiji je radni vek kraći od keramičkih diskova [5].



Slika 1.16. Izgled frikcionog agregata [55]

Šematski prikaz putanje prediva između diskova na primeru frikционе jedinice Temco® - Open/Close-System prikazan je na slici 1.17. Konfiguracija odnosno raspored diskova u vertikalnom i horizontalnom pravcu, odnosno stepen njihovog preklapanja, su takvi da sile trenja između površine diska i pređe u zoni kontakta generišu i upredanje i transport pređe. U položaju 1 na slici 1.17, pređa zauzima vertikalni položaj u odnosu na frikционе diskove tako da nije izložena dejstvu rotirajućih diskova, nema saopštavanja upredanja već samo vertikalni transport pređe.



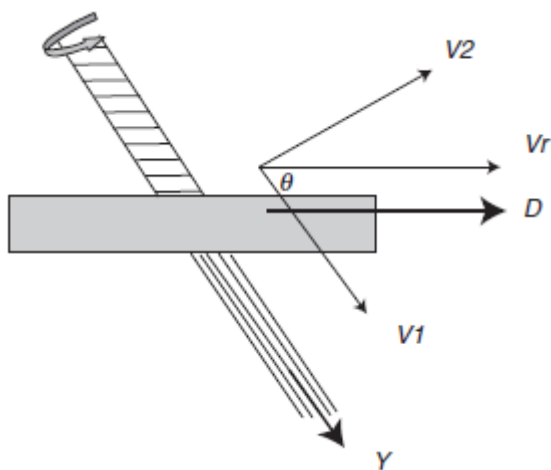
Slika 1.17. Šematski prikaz frikcionog agregata i putanje prediva između diskova [55]

Putanja pređe 2 odgovara klasičnom frikcionom agregatu sa fiksiranom centralnom jedinicom, dok putanja 3 odgovara frikcionoj jedinici Temco® - Open/Close-System. U slučaju klasičnog

frikcionog agregata pređa je izložena velikim naprezanjima u zoni preklapanja diskova što može dovesti do prekida pređe, dok su u slučaju „otvorene/zatvorene“ jedinice za teksturiranje ovi „skokovi u naponu“ znatno manji tako da su ovakve frikzione jedinice veoma pogodne za teksturiranje finije pređe, pogotovo mikrofilamenata [55].

Kod frikcionog teksturiranja lažnim upredanjem, kao što je već rečeno uvoji se saopštavaju pređi usled frikcionog kontakta sa rotirajućim površinama frikcionih diskova, pri čemu da bi došlo do istovremenog upredanja i transporta pređe, pređa dolazi na površinu frikcionog diska pod određenim uglom. Sa slike 1.18 jasno se vidi da se variranjem kontaktnog ugla između pređe i površine frikcionog diska menjaju komponente vektora brzine pređe, a samim tim i broj uvoja koji se saopštava pređi. Kao što se sa slike 1.18 jasno vidi jedna komponenta brzine (V_2) dovodi do formiranja uvoja, a druga komponenta (V_1) omogućava dalje kretanje pređe. Ukoliko nema klizanja, ugao zavojnice pređe jednak je uglu između ose pređe i pravca kretanja frikzione površine. Da bi se izbeglo oštećenje pređe abrazijom usled klizanja pređe na površini frikcionog diska 70-tih godina prošlog veka intenzivno je proučavana geometrija putanje pređe kako bi se definisao odnos periferne brzine diska i brzine pređe (D/Y) u zavisnosti od ugla zavojnice istegnute i upredene pređe (θ) koji će minimizirati klizanje pređe. Teorijska analiza dala je uslov koji mora biti ispunjen da ne bi došlo do klizanja pređe [7, 56, 57]:

$$\frac{D}{Y} = \frac{2}{1 + \cos\theta}$$



Slika 1.18. Teorijska razmatranja brzina u frikcionoj jedinici [7]

Oznake na slici su:

N - broj uvoja po jedinici dužine neupredene istegnute pređe

$$\left(N = \frac{\sqrt{2(\sec\theta - 1)}}{\pi r(1 + \sec\theta)} \right);$$

ρ - gustina polimera;

V_2 - brzina rotacije upredene pređe;

V_r - periferna brzina upredene pređe;

D - periferna brzina diska;

V_1 - linearna brzina upredene pređe;

Y - linearna brzina neupredene pređe;

r - ekvivalentni prečnik neupredene pređe aproksimiran snopom paralelnih filamenata

$$(r = \sqrt{\frac{\text{dtex}}{\pi r 1000000}});$$

θ - ugao zavojnice istegnute i upredene pređe [7].

Rieter-Scragg je lansirao na tržište seriju frikcionih jedinica, *Positorq*, dizajniranih tako da se postigne niska vrednost D/Y i minimizira oštećenje filamentnih niti usled abrazije uvođenjem pređe u frikcionu jedinicu pod teorijski izračunatim uglom θ [7], dok je razvoj mašina za teksturiranje išao je u pravcu zamene centralnog pogona sa individualnim pogonom svakog frikcionog agregata [58]. Uticaj parametara jedinice za frikciono teksturiranje i frikcionih diskova na stabilnost procesa teksturiranja i kvalitet teksturirane pređe može se sumirati na sledeći način [5, 6, 7]:

- Vrednost i pravac komponenti kretanja pređe podešava se unutar pouzdanih granica preko brzine diska i aksijalnog rastojanja između tri osovine u triplet sistemu. Maksimalno aksijalno rastojanje između tri osovine u triplet sistemu je definisano dizajnom mašine za teksturiranje i prostorom predviđenim za smeštaj frikcionog agregata. Tipična osovinska rastojanja su 36 mm ili 37 mm (TEMCO, Barmag-Oerlikon), odnosno 34,5 mm (*Rieter-Scragg Positorq 2*).

- Dimenzije frikcionog diska (prečnik i debljina) uslovljene su međuosovinskim rastojanjem, kako bi se obezbedilo željeno preklapanje diskova i odgovarajući kontaktni ugao pređe i radne površine diska, a u skladu sa realnim D/Y odnosom i željenim stepenom kovrdžavosti.

- Profil radnih površina frikcionih diskova može biti simetričan i asimetričan, i utiče na frikciono ponašanje pređe i putanju pređe preko radne površine diska, a samim tim i na stepen upredanja pređe i optimalno podešavanje D/Y odnosa. Takođe, zaobljenost radne površine diskova i njihova debljina utiču na smanjenje normalnih sila u zoni kontakta disk - pređa, što pozitivno utiče na kvalitet teksturiranih pređa.

- Hrapavost površine frikcionih diskova utiče na torziju i stvaranje uvoja u pređi, kao i na kretanje pređe. Povećanjem hrapavosti površine povećava se broj uvoja, ali imajući u vidu da ovo može dovesti do pogoršanja mehaničkih karakteristika pređe i većeg stvaranja depozita, povećanje broja uvoja se uglavnom postiže promenom kontaktnog ugla pređe i radne površine diska. Treba imati u vidu i da mala hrapavost površine diska može dovesti do varijacije torzije, a samim tim i do

ravnomernosti gustine i raspodele kovrdža kod teksturirane pređe, kako u okviru jednog frikcionog agregata tako i između različitih pozicija na istoj mašini za teksturiranje.

- Povećanjem broja frikcionih diskova povećava se torzija i broj uvoja, a samim tim i stepen kovrdžavosti. S druge strane, povećanje kontakta pređe i frikcionih diskova, usled povećanja broja frikcionih diskova, može negativno uticati na mehaničke karakteristike teksturirane pređe ali i maksimalne radne brzine. U višediskovnom frikcionom sistemu uticaj mehaničkog napona na pravac kretanja pređe se svodi na najniži nivo. Takođe, pri prolasku pređe kroz frikcionu jedinicu napon u pređi posle frikcionne jedinice (T_2) može biti veći od napona pre nje (T_1), zavisno od brzine kretanja pređe pre i posle frikcionne jedinice. Da bi se održala stabilnost procesa, poželjno je da odnos T_2/T_1 bude u dizapazonu od 0,8 do 1,1. Ukoliko je napon u pređi posle frikcionne jedinice suviše mali može doći do klizanja uvoja i stvaranja „slepljenih mesta“, dok suviše veliki napon u pređi posle frikcionne jedinice može dovesti do kidanja filamentnih niti, pogotovo u slučaju finijih filamenata.

- U zavisnosti od vrste frikcionih diskova (npr. tvrdi keramički ili meki poliuretanski) menjaju se fiziko-mehaničke karakteristike i opip pređe. Korišćenjem poliuretanskih diskova dobija se teksturirana pređa mekšeg opipa.

1.4. Varijabilni parametri procesa teksturiranja

U ovom delu su analizirani varijabilni parametri procesa teksturiranja i njihov uticaj na karakteristike teksturiranih pređa. Osnovni parametri procesa teksturiranja od kojih zavisi kvalitet teksturiranih pređa su ujedno i parametri čiji uticaj je istraživan u eksperimentalnom delu rada;

- Istezanje I;
- Temperatura primarnog grejača;
- Upredanje pređe ili D/Y odnos;
- Brzina pređe (brzina teksturiranja).

1.4.1. Istezanje - stepen istezanja

Istezanje ili stepen istezanja je količina pređe istegnute između ulaznog i izlaznog cilindra, a izračunava se kao odnos brzina ova dva cilindra;

$$I = \frac{V_u \text{ [m/min]}}{V_i \text{ [m/min]}}$$

Stepen istežanja je jedan od najvažnijih parametara procesa teksturiranja jer je u direktnoj vezi sa naponom niti tj. silom zatezanja niti pre i posle frikcionog agregata. Stepene istežanje određuje:

- Konačno izduženje teksturirane pređe;
- Podužnu masu teksturirane pređe;
- Relativnu prekidnu silu teksturirane pređe [cN/dtex];
- Nivo kidanja filamenata (visoka istežanja povećavaju broj prekida);
- Stabilnost procesa teksturiranja (prenisko istežanje vodi nestabilnosti pređe, a previsoko do pojave talasanja zategnutosti pređe u zoni teksturiranja (surging));
- Sposobnost prijema boje kod bojenja: visoki nivo istežanja-nizak nivo vezivanja boje i obrnuto;
- Nivo zaostale kovrdžavosti (viši nivo istežanja povećava molekularnu orijentaciju čime smanjuje kovrdžavost teksturirane pređe)

Istežanje se normalno podešava na nivo 22-28% ($I = 1.22 - 1.28$) [5].

1.4.2. Temperatura primarnog grejača

Primarna toplota se dodaje pređi na ulazu u zonu između dovodnih valjaka i centralnog vodiča pređe. Zagrevanje pređe na ulazu u zonu teksturiranja pomaže istežanju i upređanju pređe i njenim omekšavanjem (termoplastičnošću je čini lakše istegljivom). Temperature primarnog grejača direktno utiču na sledeće:

1. voluminoznost (stvaranje kovrdža);
2. sposobnost bojenja;
3. nivo prekida vlakana;
4. relativnu prekidnu silu pređe.

Povećanje temperature primarnog grejača dovodi do povećanja voluminoznosti teksturirane pređe, ali i do povećanja kidljivosti filamentata i smanjenja prijema boje. S druge strane, smanjenje temperature primarnog grejača ima za posledicu smanjenje voluminoznosti teksturiranja pređe, smanjenje kidljivosti filamenata ali i povećanje prijema boje.

Primarni grejač omogućava zagrevanje filamenta do potrebnog nivoa i održavanje potrebne temperature dovoljno dugo da dođe do slabljenja međumolekulskih veza čime se stvaraju uslovi za njegovo teksturiranje lažnim upređanjem. Temperatura grejača na mašini za teksturiranje, tj. temperatura teksturiranja, zavisi od temperature ostakljivanja, temperature topljenja i molekulske strukture polimera od kog je dobijeno predivo. Proizvođači POY filamenta preporučuju optimalnu temperaturu grejača, a proizvođači teksturiranog prediva je utvrđuju kroz probno teksturiranje s

obzirom da je potrebno uskladiti brzinu teksturiranja, temperaturu grejača i dužinu grejača [24, 59, 60].

Odabrana temperatura primarnog grejača je obično kompromis kako bi se omogućila ujednačena sposobnost obojenja, potrebni nivo voluminoznosti i minimalizaciju nivoa prekida filamenata. Temperatura je obično u rasponu od 190-230⁰C za kontaktne grejače (tabela 1.4). Takođe, treba napomenuti da se poliamid 6 proizvodi obrađuju na nižim temperaturama grejača od poliestera ili poliamida 6,6, a poliolefinska vlakna (polipropilen i polietilen) se obrađuju na još nižim temperaturama.

Tabela 1.4. Tipične dužine kontaktnih grejača na paru [7]

Parametri grejača	PES	PA 66	PA 6	PP
Dužina grejača [m]	2,0-2,5	1,8-2,0	1,8-2,0	1,8-2,0
Tipičan opseg temperatura [°C]	190-230	190-220	170-190	110-180

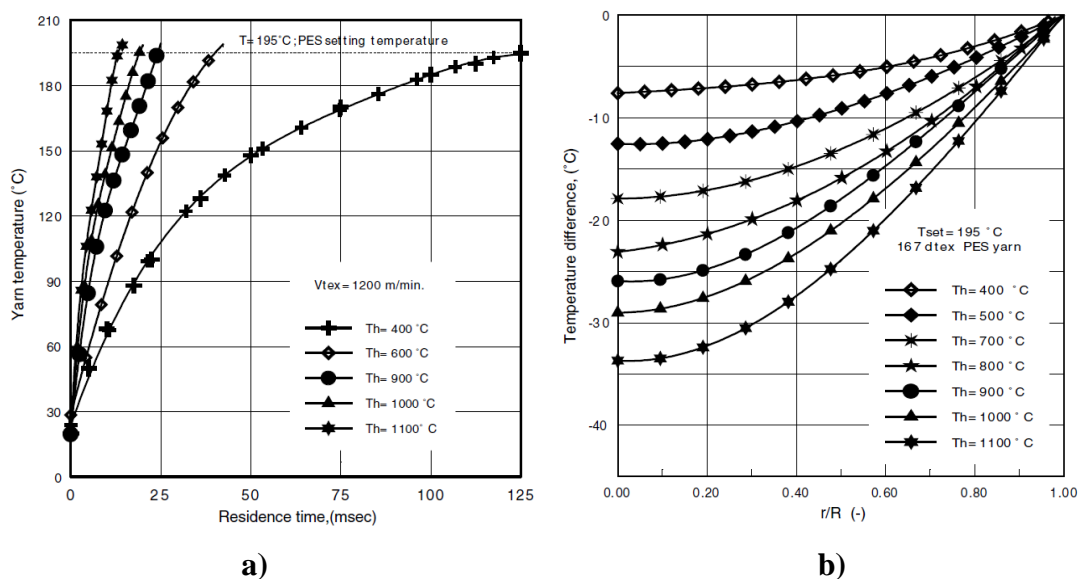
Izuzetak čini prerada modifikovanih polimera koji su po svojoj prirodi podložniji oštećenju niti. Oni koji su modifikovani, na primer, katjonski obojive niti ili imaju svojstva da su otporni na plamen, obično se teksturiraju na oko 15-20⁰C nižim temperaturama od normalnih poliestera, koji se boje disperznim bojama. Sjajnije pređe, odnosno, one sa nižim sadržajem titanijum dioksida, takođe zahtevaju niže temperature primarnog grejača. U tom slučaju temperatura se održava na niskim vrednostima da bi se proizvela tanja, manje voluminozna pređa (niska temperatura primarnog grejača se može koristiti u kombinaciji sa višim temperaturama sekundarnog grejača, za poliesterske i polipropilenske pređe). Razlog za to je što tanke pređe reflektujuju više svetla pa ostavljaju utisak da su svetlije i sjajnije. To je zbog niže amplitude kovrdža koja omogućava da se više svetla reflektuje.

Sa porastom brzine teksturiranja povećavala se i dužina grejača (tabela 1.4), pri čemu je kontrola stabilnosti putanje pređe postala otežana. Problemi uzrokovani trenjem pređe o površinu grejača rešeni su tako što je površinski sloj grejača izrađen od keramike čime se produžio radni vek grejača. Ali i dalje je ostao problem stabilnosti putanje pređe s obzirom da zbog postizanja željenog efekta pređa stalno rotira i da gusto upredena pređa nije priljubljena uz površinu grejača. To je dovelo do razvoja bezkontaktnih visokotemperaturnih grejača (HT grejača), odnosno zagrevanja pređa konvekcijom [6, 7, 24].

U grejaču, pređa se zagreva konvekcijom, usled toplog vazduha, i radijacijom sa zidova grejača, pri čemu dominira prenos toplote konvekcijom. S obzirom da je zagrevanje pređe bezkontaktno za vođenje pređe kroz grejač koriste se vodiči prediva. Za teksturiranje PET filamenta HT grejači

imaju keramičke vodiče, naizmenično raspoređene duž grejača, koji diktiraju putanju pređe i pridržavaju upredenu pređu. Iako su temperature grejača (npr. tipično 380°C do 420°C za teksturiranje PET filameta finoće 167 dtex, pri brzini teksturiranja 1000 m/min) značajno iznad temperature omekšavanja (230-240°C) i temperature topljenja polimera (oko 260°C), vreme zadržavanja pređe u grejaču je kratko tako da je temperatura pređe na izlazu grejača u granicama normalnih radnih temperatura (oko 210°C) [7].

S obzirom na ovako visoke radne temperature vreme zadržavanja pređe u zoni zagrevanja je, u zavisnosti od brzine kretanja pređe i dužine grejača, od 0,12 do 0,072 s. U toku ovako kratkog vremena pređa mora da se zagreje iznad temperature ostakljivanja, pri čemu raspodela temperature po poprečnom preseku multifilamentne pređe mora biti ravnomerna, kako bi se dobila teksturirana pređa ravnomernih svojstava. Povećanje temperature grejača ima za posledicu intenzivnije zagrevanje pređe (slika 1.19.a), samim tim skraćuje vreme zadržavanja pređe u grejaču i posledično pad temperature po poprečnom preseku niti, što se jasno može videti na slici 1.19.b [24, 61].



Slika 1.19. a) Temperatura PES pređe u zavisnosti od temperature grejača, finoća filameta 167 dtex; b) Radijalna raspodela temperatura po poprečnom preseku niti, rezultati simulacije [24]

S obzirom da radijalni gradijent temperature utiče na kovrdžavost (stepen kovrdžavosti i stabilnost kovrdža) i sposobnost bojenja teksturirane pređe, poznavanje uticaja variranja temperature grejača na svojstva teksturirane pređe olakšava utvrđivanje optimalne temperature grejača. U svojim istraživanjima *Eskin* je pokazao da se razlika u temperaturi površine i jezgra pređe povećava sa povećanjem temperature grejača (slika 1.19), brzine teksturiranja i smanjenjem finoće pređa, dok se razlika u temperaturama površine i jezgra pređe smanjuje sa povećanjem dužine grejača [24].

1.4.3. Intenzitet upredanja, D/Y - odnos

Najčešća metoda promene intenziteta upredanja pređe je promena periferne brzine diskova, pri konstantnom broju diskova i razmaka između njih. Ovo menja odnos između periferne brzine frikcijskih diskova i linearne brzine pređe odnosno D/Y.

Na savremenim mašinama, moguće je da se svaka pojedinačna frikcijska jedinica za upredanje pokreće sopstvenim motorom, pa se može i nezavisno podešavati intenzitet upredanja. Promenom smera okretanja diskova se lako menja smer uvoja (*S* ili *Z*).

Zategnutost pređe ispred (T_1) i iza (T_2) frikcijske jedinice reguliše se D/Y odnosom. Prilikom podešavanja odnosa D/Y, cilj je da se uravnoteže obe zategnutosti, kako bi imali stabilnu situaciju u pređi sa bilo koje strane frikcijske jedinice:

$$T_2/T_1 = 1.0$$

Ukoliko je ovaj odnos neuravnotežen moguća su dva slučaja i to:

- $T_2/T_1 < 1$

Ovakvo stanje nastaje u slučaju da je visoki D/Y odnos; odnosno, brzina frikcijskih diskova je prevelika. Pošto je uloga frikcijske jedinice ne samo da upreda pređu već i da vrši transport, to znači da se u ovom slučaju pređa bukvalno potiskuje između diskova. Na taj način frikcijska jedinica pokušava da "skladišti" previše pređe između ulaznih i izlaznih diskova. Ovo je nestabilna situacija, i ako odnos tenzije spadne na ispod 0,8, može doći do neravnomernog upredanja pređe. To može biti u obliku:

- a) talasanja previsoke upredenosti uzduž teksturirane pređe;
- b) guste zbijene sektore vrlo male dužine sa naizmenično preupredenim i neupredenim delovima pređe

Oba slučaja dovode do vidljivih nedostataka na gotovim proizvodima.

- $T_2/T_1 > 1$

U ovom slučaju se frikcionni diskovi okreću previše sporo; tj. D/Y odnos je suviše nizak. Pređa se bukvalno izvlači iz frikcijske jedinice jer se diskovi okreću toliko sporo da ometaju pređu. Ovo je, naravno, veoma stabilna situacija unutar frikcijske jedinice trenja, ali daje povoda za mehanička oštećenja pređe, odnosno kidanje filamenata i povećanje kidanja pređe, a u slučaju poliuretanskih diskova, povećano habanje diskova.

1.4.4. Temperatura sekundarnog grejača i negativno istezanje (skupljanje)

Kombinacija temperature na sekundarnom grejaču i skupljanje pređe (negativno istezanje) na ulazu u njega obezbeđuju kovrdžanje pređe. Pre nego što pređa uđe u drugi grejač ona ima veoma visoki

procenat skupljanja. Da bi se smanjilo takvo skupljanje, koriste se sekundarni grejači, konvencionalni, obično na temperaturama između 150 i 240⁰C i visokim temperaturama kod bezkontaktnog tipa grejača sa konvekcijom (do 350⁰C), zavisno od procesa. Što je viša temperaturau u drugom grejaču, to će biti manje i konačno kovrdžanje pređe.

Normalna, kontrakcija pređe u drugom grejaču se podešava što je više moguće u granicama stabilnosti pređe, obično u opsegu 3-12% zavisno od konfiguracije mašine i zahteva samih proizvoda. Ako se primenjuje preterana kontrakcija u drugom grejaču, zategnutost pređe u cevi grejača je mala i time omogućava da raspoloživa toplota ima svoje maksimalno dejstvo. Ako je kontrakcija u drugom grejaču mala, zategnutost pređe je veća, što ograničava uticaj toplote. Ukoliko je brzina punjenja grejača prevelika (prevelika kontrakcija) pređa se može omotavati oko odvodnog cilindra iz zone teksturiranja i izazvati prekid.

1.4.5. Brzina pređe (brzina teksturiranja)

Sve do pojave simultanog istezno-friksijskog teksturiranja brzina pređe je bila limitirana uglavnom mehaničkim faktorima. Svi raniji uređaji za lažno upredanje su ograničenog kapaciteta pa nisu mogli zadovoljiti potrebe za intenzitetom upredanja pri višim brzinama pređe. U okviru principa teksturiranja sa lažnim upredanjem uređaj sa magnetnim vretenom, koji je bio poslednja faza u razvoju uređaja za lažno upredanje je omogućavao brzine pređe do 100 m/min. Taj nedostatak je prevaziđen sa friksijskim-torzionim jedinicama za upredanje (FTU), čijom primenom se brzina pređe može povećavati i do 1500 m/min.

Nova rešenja su izbacila na površinu nove probleme i to:

- dužina grejača koja omogućuje dovoljno zagrevanje pređe u veoma kratkom vremenu;
- stabilnost procesa teksturiranja, zbog prevelike dužine zone teksturiranja dolazi do talasanja pređe kao i talasanja zategnutosti pređe što limitira produktivnost, a povećava broj defekata na teksturiranj pređi.

Kod konvencionalnih mašina sa dugim niskotemperaturnim grejačima, dužina grejača je bila 2500 mm (ICBT-FTF 12) što uz dužinu zone hlađenja 1485 mm daje ukupnu zonu teksturiranja od 4250 mm. Prvi problem je što sa ovim dimenzijama mašina za teksturiranje zahteva mnogo proizvodnog prostora, visoke investicione troškove, troškove održavanja itd. Drugi problem je u vremenu zadržavanja pređe u zoni grejača (0.3 s pri 500 m/min ili 0.15 s pri 1000m/min), koje kod niskotemperaturnih grejača ne obezbeđuje dovoljno zagrevanje pređe, što ponovo limitira produktivnost mašine.

Kod dužine zone teksturiranja od 4250 mm bez obzira na kvalitetne vodiče dolazi do talasanja pređe, do talasanja zategnutosti pređe što sve vodi defektima na teksturiranoj pređi, povećanju broja prekida, zastoje u procesu itd.

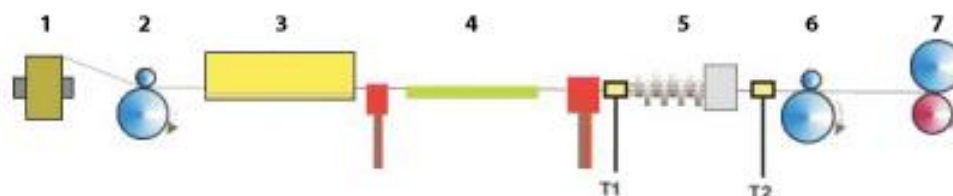
To su sve razlozi koji su doprineli razvoju novih mašina sa kratkim visokotemperaturnim grejačima. Dužina grejača je skraćena na 1400 mm, pa na 1000 mm, što je uslovalo povećanje temperature grejača. U tabeli 1.5 su data vremena zadržavanja pređe u zoni grejača, postignute temperature pređe, temperature grejača i brzine pređe na mašini sa dužinom grejača 1000 mm i dužinom zone hlađenja 800 mm [62].

Iz tabele 1.5 se jasno vidi uticaj temperature grejača i brzine pređe na postignutu temperaturu pređe posle zagrevanja i hlađenja.

Istraživanje je obavljeno na laboratorijskom uređaju zatekstruiranje prikazanom na slici 1.20.

Tabela 1.5. Temperatura pređe posle zone zagrevanja, posle zone hlađenja i vremena zadržavanja u zoni grejanja i zoni hlađenja ($D/Y = 2.2$) [69]

Temperatura pređe posle grejača [°C]	Temperatura grejača [°C]	Brzina teksturiranja [m/min]	Vreme zadržavanja pređe u grejaču [s]	Vreme zadržavanja pređe u zoni hlađenja [s]	Temperatura pređe iza zone hlađenja [°C]
160	380	600	0,1	0,08	74
170	415	600	0,1	0,08	75
180	438	600	0,1	0,08	78
190	466	600	0,1	0,08	80
200	476	600	0,1	0,08	83
210	492	600	0,1	0,08	87
220	512	600	0,1	0,08	90
200	500	700	0,085	0,068	91
200	518	800	0,075	0,060	96
200	531	900	0,064	0,063	103



T_1 - zategnutost pređe ispred frikcijske jedinice i T_2 - iza frikcijske jedinice

1 - POY

2 - Dovodni valjci

3 - Primarni grejač

4 - Ploča za hlađenje

5 - FTU jedinica za lažno upredanje

6 - Odvodni valjci

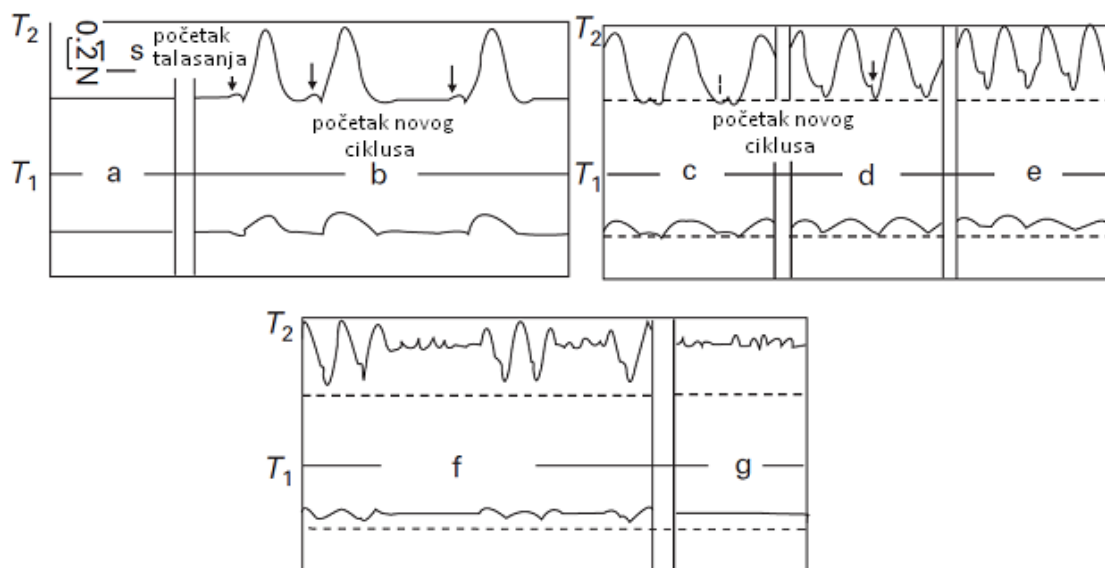
7 - Kalem sa teksturiranom pređom

Slika 1.20. Laboratorijska mašina za teksturiranje korišćena u istraživanju [63]

Konstrukcija savremenih mašina za teksturiranje omogućava brzine teksturiranja i od 1500 m/min međutim faktori ograničenja su mogućnosti materijala (vrste vlakana) i zahtevane karakteristike teksturiranih pređa.

Drugi problem je procesni, koji nastaje zbog većih nestabilnosti zategnutosti pređe što uslovljava proizvodnju defektne pređe, nazvan „talasanje“ (surging). Tipične brzine pređe u industrijskoj praksi pri kojima nastaje talasanje je između 700 i 1000 m/min. Tačna brzina zavisi od karakteristika mašine, procesnih uslova i pređe, ali bez obzira na to koji tip mašine je u pitanju talasanje je neizbežno. Iskustveno se zna da što je kraća putanja pređe kroz zonu teksturiranja veća je brzina pri kojoj se pojavi talasanje.

Du i Hearl su izvestili o studiji incidenta talasanja [5, 62]. Na sledećoj slici je prikaz zategnutosti pređe ispred (T_1) i iza FTU jedinice (T_2) i kritične brzine pređe kod teksturiranja poliesterskih pređa na komercijalnoj mašini sa jednim grejačem.



Slika 1.21. Profil zategnutosti T_1 i T_2 i kritične brzine,

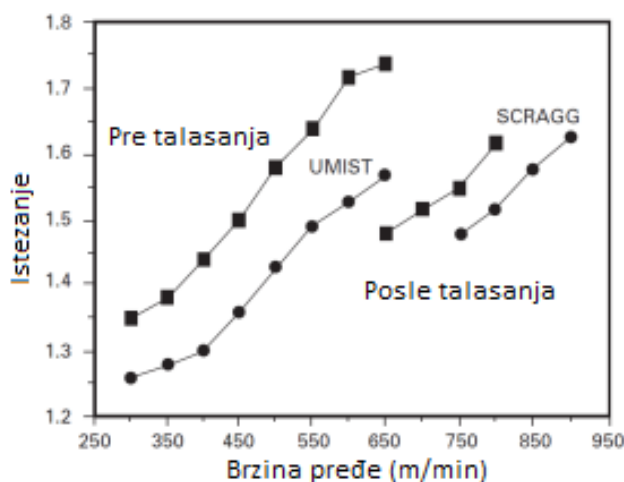
kod teksturiranja poliesterske pređe na komercijalnoj mašini

brzine pređe m/min; a) 710, b) 720, c) 740, d) 770, e) 800, f) 820, g) 830 [5, 62, 64]

Pri 710 m/min zategnutosti su skoro konstantne i proizvodi se dobra pređa. Kod 720 m/min se destabilizovala viša zategnutost (T_2) koja dobija kontinuiranu nestabilnost pri brzini od 740-800 m/min. Na 820 m/min visoka nestabilnost se zamenila periodom reduciranih varijacija zategnutosti. Konačno pri 830 m/min sistem se smirio u novom smirenom stanju sa malim neregularnim varijacijama zategnutosti. Ovo pokazuje da talasanje samo po sebi nije problem koji zahteva objašnjenje. Važniji je efekat taj da proces može raditi u dva moda. Ispod kritične brzine proces

može raditi ispravno. Iznad kritične brzine on radi u drugačijem modu i proizvodi lošu pređu. Talasanje se javlja iznad granične brzine kada sistem fluktuirá između dva moda. Nerešen problem je kako sistem radi iznad kritične brzine.

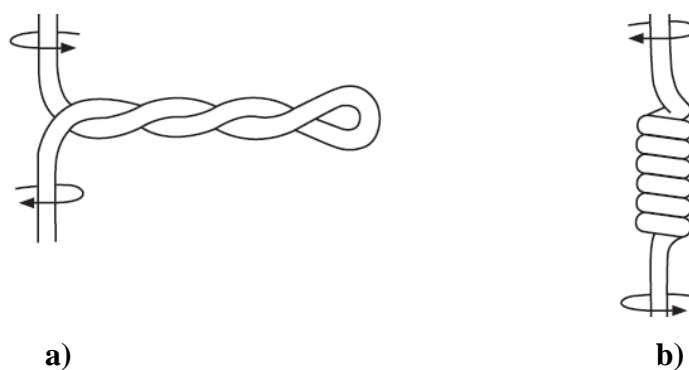
Da bi razjasnili ovo ponašanje autori su napravili opsežnu studiju na laboratorijskom uređaju, horizontalnom sa jednim grejačem. Na slici 1.22 su prikazane promene od pre nastanka talasanja do posle talasanja uz opadajući D/Y odnos i to na laboratorijskoj i komercijalnoj mašini.



Slika 1.22. Zavisnost kritične brzine pređe od odnosa D/Y na laboratorijskom (UMIST) i komercijalnom eksperimentu (SCRAGG) [5, 62, 64]

Sa praktične tačke gledišta najinteresantniji rezultat je, da je kritična brzina veća pri višim odnosima D/Y . U uslovima talasanja proizvedena pređa je veoma neregularna i uzrokuje šarenilo proizvoda u bojačnicama. U zoni iznad talasanja (post-surging) kovrdžavost i voluminoznost su niži i uzduž pređe se smenjuju zaostali S i Z uvoji.

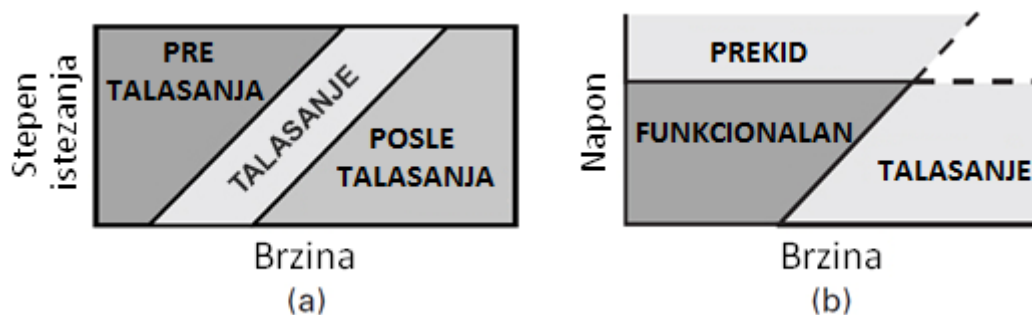
Postoje mnogi mogući uzroci za nestabilni proces. Neupredeni sektori pređe se javljaju kod neadekvatnog zahvata pređe diskovima. Pri niskoj zategnutosti i visokoj upredenosti pređe se javljaju na pređi pletenice i cilindrične zamke, slika 1.23.



Slika 1.23. Pletenice a) cilindrične zamke, b) koje nastaju kod preupredenosti nezategnute pređe [5]

Čak i kad se ovi uzroci eliminišu stabilnim procesnim uslovima, nestabilnost nastaje iznad kritične brzine koja opada sa opadanjem zategnutosti pređe.

Na slici 1.24 je šematski prikazan slučaj kad se tri moda procesa sumiraju a), kao i praktični procesni uslovi b). Za maksimalnu produkcijsku brzinu, zategnutost pređe treba da je visoka, ali se ne sme desiti da ona prevaziđe granicu deformacije pređe.



Slika 1.24. a) Šematski prikaz uslova za talasanje, b) Primenljiva zona za teksturiranje [5]

1.5. Karakteristike teksturiranih pređa

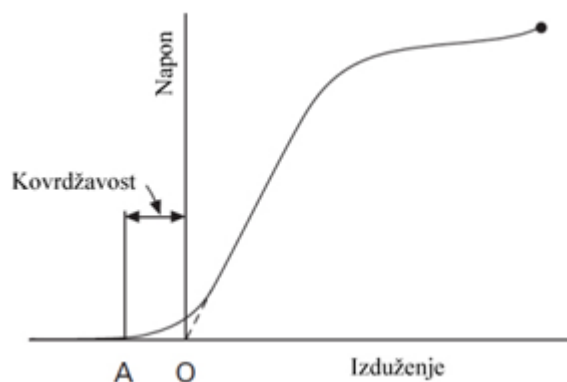
1.5.1. Strukturne i mehaničke karakteristike teksturiranih pređa

Strukturne i mehaničke karakteristike filamentnih pređa temeljito su obrađene na planu upredenih, kordnih pređa i ostalih pređa za industrijske aplikacije i sve informacije se mogu primeniti na planu teksturiranja lažnim upređanjem [65].

Prema tome to važi kako za helikoidnu strukturu idealizirane pređe, za kontrakciju upredenih pređa, granicu upredenosti i deformaciju vlakana u upređenoj pređi.

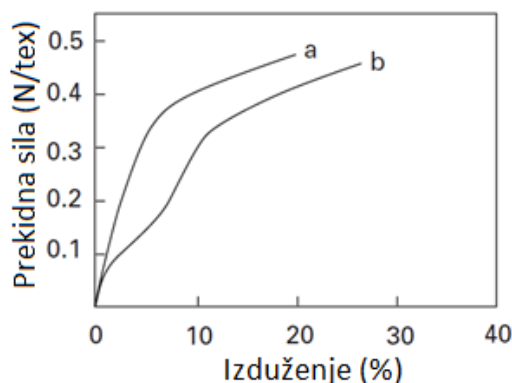
1.5.2. Istezanje vlakana, savijanje i upređanje

Za filamente iz teksturirane pređe, kriva sila-istezanje započinje sa laganim ispravljanjem kovrdža. Veličina tog istežanja je determinisana geometrijom kovrdža. Kada dođe do ispravljanja kovrdža zatezanje rapidno raste. *Morton i Hearle* [30, 38] su dali razumljivi opis isteznih karakteristika vlakana. Opšte rečeno reakcija je nelinearna, visko-elastična i pokazuje nepotpunu relaksaciju.



Slika 1.25. Kriva sila - izduženje za kovrdžavi filament [65]

Kod poliestera, inicijalni oblik krive zavisi od termičke i mehaničke obrade vlakana. Na slici 1.26 je prikazan uticaj zagrevanja poliesterskog vlakna pre i posle tretiranja vodom na 95°C.



**Slika 1.26. Krive sila - izduženje poliesterskog vlakna
a) pre i b) posle tretiranja vodom na 95° C [38, 65]**

Prekidna sila i prekidno izduženje zavise od stepena molekularne orijentacije u vlaknu koja je determinisana procesom istežanja. Visoko istežanje povećava prekidnu silu, a smanjuje prekidno izduženje. Na ove osobine utiču i karakteristike pređe zbog ostalih sila koje egzistiraju u teksturiranoj pređi. Na modul istežanja (strmina krive sila-izduženje) koji takođe raste sa molekularnom orijentacijom, utiče intenzitet savijanja koji zajedno sa torzionim momentom determiniše sile kovrdžanja.

Svojstvo savijanja opisuje relacija između momenta savijanja (M) i krivine (C) koja je recipročna radijusu krivine. Na primer za linearno-elastične materijale, $M = BC$ gde je B krutost savijanja, data sa;

$$B = \left(\frac{1}{4} \pi\right) \cdot \left(\frac{\eta ET^2}{\rho}\right)$$

gde je: η - faktor krivine,

E - modul istezanja,

T - linearna gustina (podužna masa) i

P - gustina tj. zapreminska masa.

Osnova za ovu relaciju je to da je kod savijanja materijal u omotaču pod dejstvom istezanja a u unutrašnjosti pod kompresijom. Faktor oblika je 1 za vlakna okruglog poprečnog preseka a kod ovalnog oblika, što može biti rezultat teksturiranja lažnim zavojima, krutost savijanja može biti niska u jednom smeru a visoka u drugom smeru, a to utiče na oblik uvijanja. Maksimalna i minimalna vrednost su najvažniji za krutosti savijanja, B_1 i B_2 . Zavisnost od podužne mase i prečnika vlakna je važna; krutost rapidno narasta ako raste debljina. Ovde se javljaju takođe i velike razlike za pređe jednakih podužnih masa ako se menjaju broj filamenata i na osnovu toga podužne mase individualnih vlakana. Upredanje uključuje smicanje koje narasta od nule u centru vlakna okruglog poprečnog preseka do maksimalnog u spoljašnosti. Zato sledi slična relacija. Torzija je proporcionalna upredanju i torzionoj krutosti (R) i to:

$$R = \frac{\varepsilon n T^2}{\rho}$$

Gde je: ε - faktor oblika jednak 1 za vlakna okruglog izgleda poprečnog preseka, a n - je modul smicanja. Jedinice u jednačini su po *SI* sistemu mernih jedinica sa M [Nm], c u [mm^{-1}], što daje B u [$\text{m}\cdot\text{Nm}$], E u [N/tex], T u [tex] i ρ u [g/cm^3]. Ovo podrazumeva odgovarajuće jedinice, dakle torzija u [Nm] i upredenost u [mm^{-1}], čime se dobija R u [$\text{m}\cdot\text{Nm}$], n u [N/tex] i ρ u [g/cm^3].

Ova jednačina može biti korišćena u diskusiji o strukturnoj mehanici teksturiranih pređa, ali stoga što je veliki broj faktora koji utiču na vrednosti modula nije moguće napraviti kvantitativna predviđanja na osnovu korišćenja vrednosti za svojstva vlakana. Međutim neke opšte razlike između tipova vlakana se mogu odrediti, kako je prikazano u tabeli 1.6.

Tabela 1.6. Komparativne vrednosti gustina, modula savijanja i torzije [38]

Vrsta vlakna	Gustina	Savijanje		Torzija	
		Modul istezanja [GPa]	Relativna prekidna sila [N/tex]	Modul smicanja [GPa]	n [n/tex]
Poliamid (3 tipa)	1,14	1,9-3,8	1,7-3,3	0,33-0,48	0,29-0,42
Poliester	1,39	6,2	4,5	0,85	0,63
Polipropilen	0,92	3,4	3,7	0,75	0,82

Niži moduli poliamida govore o tome da su sile koje se razvijaju u teksturiranoj poliamidnoj pređi niže no što su kod poliesteru. Ovo u kombinaciji sa dobrom relaksacijom većih deformacija, čini ih

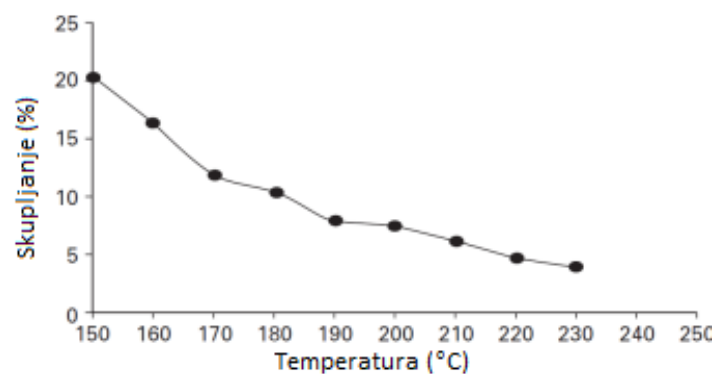
pogodnim za upotrebu kao visoko isteznih pređa za presvlačenje nameštaja. Visoki moduli poliestera obezbeđuju kovrdžavost, više podesnu za neistezne proizvode.

1.5.3. Skupljanje pređa

Na mašinama sa jednim grejačem (primarni) proizvodi se streč ili visoko-elastična pređa, a naknadnim uključivanjem zagrevanja (iza zone teksturiranja-sekundarni grejač) reducira se skupljanje teksturirane pređe. Procenat skupljanja teksturirane pređe koja se isporučuje korisnicima određuje se prema konačnoj upotrebi u završnim proizvodima. Tipične tkanine za odela i pletene proizvode se izrađuju od pređa teksturiranih na mašinama sa dva grejača. Streč pređe se mogu koristiti gde se zahteva visoki stepen pokrivenosti. Područje upotreba gde se streč ili visokoelastična pređa takođe koristi je za damske čarape i hula-hop čarape.

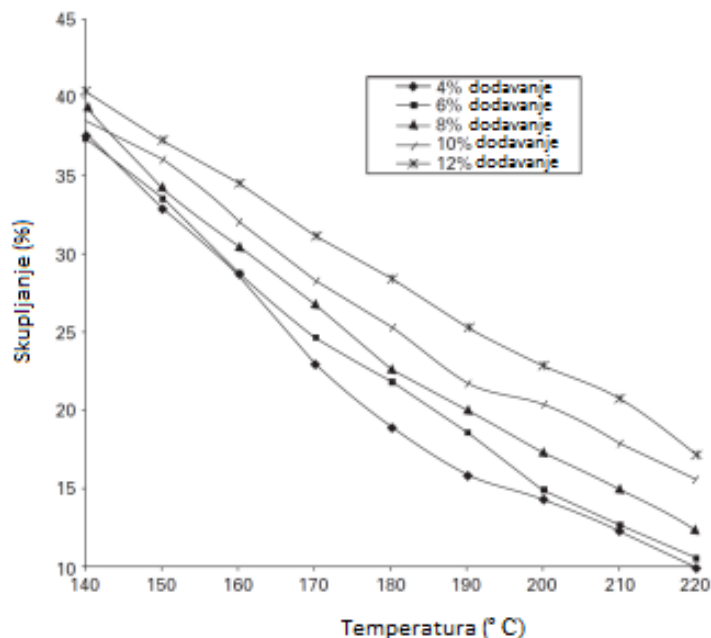
Dva osnovna faktora koji određuju konačno skupljanje je količina toplote posredovana pređi na oba grejača (primarnom i sekundarnom) i finoća filamentnih vlakana. Zagrevanje posredovano primarnim grejačem u zoni teksturiranja ima izražen efekat na skupljanje teksturirane pređe. Međutim mora se napomenuti da primenjena temperatura na prvom grejaču ima značajan efekat na performanse teksturiranja kao što su; stepen prekida pređe, obojivost pređe i kidanje filamenata teksturiranjem. Često se boje ispletene creva proizvedena od pređe sa variranjem temperature prvog grejača i ispituju se za određivanje optimalnih temperatura sa kojima se postiže optimalni prijem boje.

Konačno skupljanje se prilagođava zadatoj vrednosti promenama temperature na sekundarnom grejaču. Taj grejač normalno radi u granicama od 150 - 240°C, ako radi sa vodenom parom ili pri višim temperaturama i ako je kratki bezkontaktni tip grejača. Zaostalo skraćanje pređe se reducira povećanjem temperature sekundarnog grejača. Ovo je prikazano na primeru na slici 1.27, za pređu 1/167/34 sa okruglim izgledom poprečnog preseka, pri 700 m/min i temperaturom prvog grejača 210°C.



*Slika 1.27. Zavisnost skupljanja pređe od temperature drugog grejača
(Courtesy of UNIFI Textured Yarns Ltd.)[5]*

Pored temperature sekundarnog grejača na sakupljanje utiče zategnutost pređe za vreme zagrevanja. Zategnutošću pređe u sekundarnom grejaču se može upravljati promenom brzina na ulazu i izlazu iz grejača. Taj odnos se naziva negativnim istežanjem ili kontrakcijom a na slici 1.28 je prikazan uticaj negativnog istežanja na skupljanje kanure pređe.

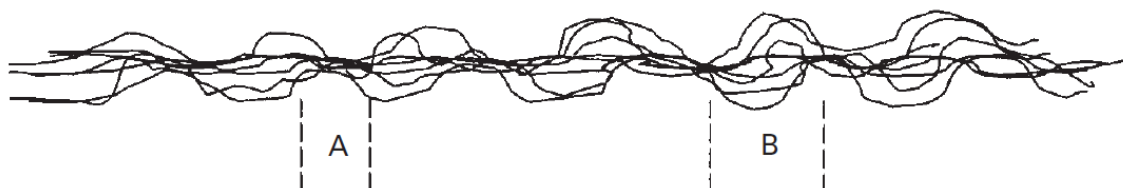


Slika 1.28. Zavisnost sakupljanja kanure od kontrakcije pređe u sekundarnom grejaču $V = 800 \text{ m/min}$, poliesterska pređa 167/34 (Courtesy of UNIFI Textured Yarns Ltd.)[5]

Kod korišćenja zatvorenog tipa cilindričnih grejača, ili tzv. zatvoreni tube-tip sa internom radnom površinom. Proizvođači ih isporučuju sa tri alternativna načina rada;

- Ravni zidovi - gde cev grejača ima jednak unutrašnji prečnik po celoj dužini;
- Cev sa „kleštima“ koja ima interni prečnik promenljiv na određenim intervalima u cevi, kojim se postiže slepljivanje - „punktovanje“ teksturirane pređe;
- Hibridni grejač kod koga je polovina sa ravnim zidovima, a druga polovina sa mogućnošću punktovanja.

Utiskivanjem tački punktovanja na teksturiranoj pređi povećava se sakupljanje pređe za sve moguće kombinacije temperature i negativnog istežanja. Na mašini Barmag AFK je sekundarni grejač ukrivljen čime se postiže kontakt između pređe i cevi sekundarnog grejača.



Slika 1.29. Zamršena struktura pređe [5]

Kao spomena vredan efekat interne zamršenosti prisutan u pređi ima bitan uticaj na njenu konačnu meru sakupljanja. Ako broj zamršenih mesta (*A* na slici 1.29) po metru pređe raste, skupljanje pređe opada do zone sa otvorenim vlaknima. Interno zamršeni čvor povezuje filamente zajedno tako efikasno, da se sposobnost filamenata za skupljanje, pod dejstvom temperature u velikoj meri umanjuje. Otvoreni sektori (*B*) između zamršenih tački su delovi pređe u kojima je skupljanje najvećim delom očuvano.

Za datu pređu sa smanjenjem podužne mase filamenta raste broj filamenata u poprečnom preseku POY. To redom vodi do kompaktnijeg, gušćeg filamentnog svežnja pa kad pređa prelazi preko primarnog grejača dobija veću upredenost. To ima dve posledice:

- otežana je ravnomerna penetracija toplote kroz snop pređe tako da filamenti u unutrašnjosti dobijaju manje toplote od spoljašnjih;
- ovo povratno vodi do opadanja uzdužne uniformnosti sakupljanja oko i moguće visoke neravnomernosti obojenja.

U tom smislu pređe sa finijim filamentima (manje podužne mase) bi se morale teksturirati sa manjim brzinama i samim tim dužim vremenima zadržavanja u primarnom grejaču, pa i ravnomernijom penetracijom toplote.

Ugradnjom više upredenosti u pređu za vreme zadržavanja u primarnom grejaču može narasti voluminoznost teksturirane pređe. Ovo se obično postiže povećanjem broja diskova u frikcijskoj jedinici ili porastom odnosa D/Y , odnosno povećanjem rotacione brzine diskova. Ovaj metod je učinkovitiji kod finijih pređa, posebno poliamidnih pređa za damske čarape. Kad se koristi ovaj metod za stvaranje ekstra voluminoznosti u pređi za proizvodnju poboljšane pokrivenosti u proizvodima, dodatno upređanje je limitirano stabilnošću procesa i stvaranjem gustih tačaka, to jest kratkim dužinama pređe u kojima se pokazuje realna upredenost.

1.5.4. Modifikacija karakteristika pređa

Finoća - podužna masa teksturirane pređe je direktno proporcionalna podužnoj masi POY, a obrnuto proporcionalna istezanju podešenom na mašini za teksturiranje. Naravno treba spomenuti i zategnutost sa kojom se teksturirana pređa namotava na kalem jer ima primetan učinak na očekivanu finoću (podužnu masu) pređe (čini pređu kompaktnijom). Aproksimativno se završna finoća može obračunati na sledeći način;

$$T = \left(\frac{T_{POY}}{I} \right) \cdot \left(100 + \frac{I_K}{100} \right)$$

gde je: T_{POY} - podužna masa POY pređe pre teksturiranja;

I - stepen istežanja u zoni teksturiranja (V_i/V_u);

I_K - negativno istežanje-kontrakcija (u %) u zoni sekundarnog grejača.

Očigledno da finoća teksturirane pređe može narasti zavisno od oblika interne zamršenosti punktovane pređe, koja ima primetan efekat na finoću. Porast je mali i proporcionalan broju zamršenih (punktovanih) tačaka formiranih kod punktovanja pređe. Finoća se može menjati promenom stepena istežanja ali intenzitet promene koji se može primeniti uslovljen je stabilnošću procesa teksturiranja kao i drugih uzroka. To su zategnutost pređe, izduženje, sposobnost obojenja i prekidi filamenata teksturiranjem jer na sve njih utiče stepen istežanja.

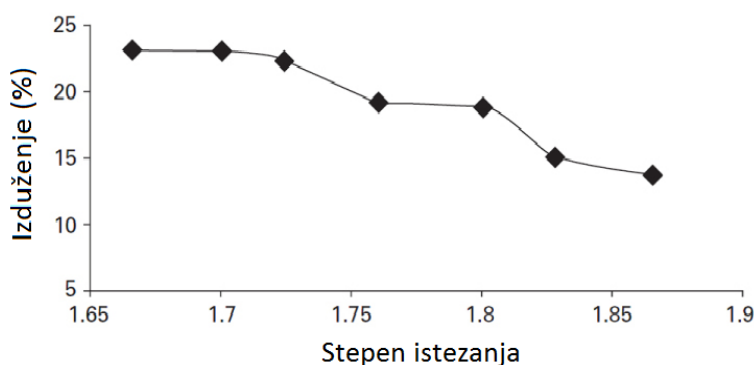
Opsežna istraživanja uticaja stepena istežanja na procesne uslove i karakteristike pređa obavljene u firmi UNIFI Textured Yarns Ltd., publikovane od Hearle [5] su izložena u tabeli 1.7 i grafički interpretirana na slikama 1.30 do 1.32.

Tabela 1.7. Uticaj promena stepena istežanja na procesne uslove i karakteristike pređa [5]

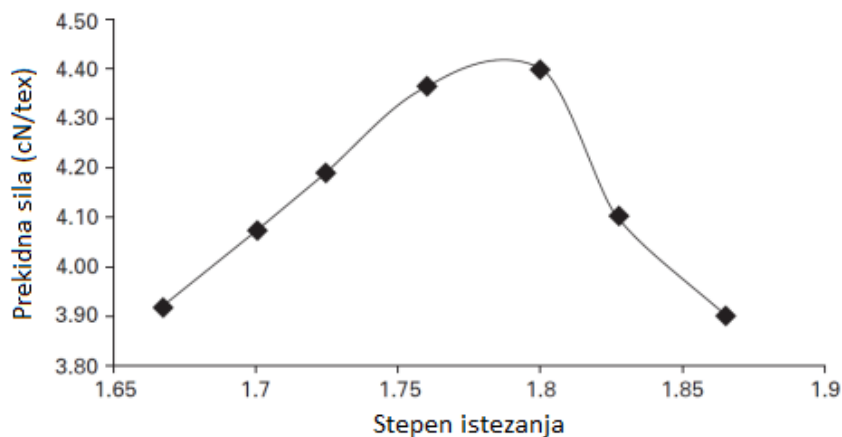
Stepen istežanja	1,667	1,700	1,724	1,760	1,800	1,828	1,865
T_0 [cN] - Zategnutost pre istežanja	34,8	39,9	43,5	46,2	57,6	58,3	64,4
T_1 [cN] - Zategnutost u zoni istežanja	52,1	57	62,7	65,50	77,4	79,5	89,9
T_2 [cN] - Zategnutost ispred vretena	59,8	66,1	68	73,60	78,9	83,3	86,1
T_2/T_1 - Odnos istežanja	1,15	1,16	1,08	1,12	1,02	1,05	0,96
T_3 [cN] - Zategnutost kod namotavanja	16,5	26,0	22,9	30,0	26,4	26,0	33,2
F_a [cN] - Prekidna sila (apsolutna jačina)	720,0	738,0	739,0	757,0	753,0	687,0	643,3
ϵ [%] - Prekidno izduženje	23	22,9	22,4	19,2	18,8	15,2	13,8
T_1 [dtex] - Podužna masa	183,7	181,1	176,4	173,4	171,2	167,4	164,8
F_r [cN/dtex] - Relativna prekidna sila	3,92	4,08	4,19	4,37	4,40	4,10	3,90
S [%] - Skupljanje kanure	12,5	11,5	10,6	13,7	8,3	8,5	7,6
Zaostala torzija	3,8	3,3	3,3	2,9	3,4	3,6	2,4

Tip pređe; 167/34, normalni okrugli poprečni presek

Brzina odvoda 700 m/min, kontakti grejač dužine 2 m.



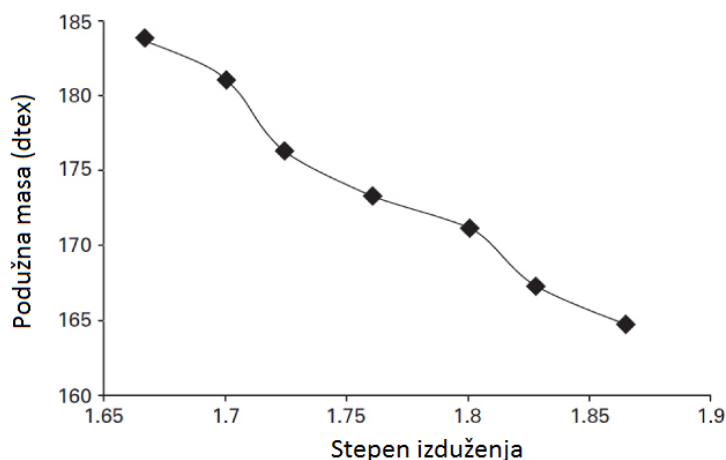
Slika 1.30. Izduženje pređe [%] u zavisnosti od stepena istežanja [5]



Slika 1.31. Uticaj stepena istežanja na relativnu prekidnu silu teksturirane pređe [5]

Posebno je interesantan grafik koji ilustruje uticaj stepena istežanja na relativnu prekidnu silu teksturirane pređe. On jasno pokazuje efekat istežanja pređe iznad optimalne vrednosti do tačke u kojoj je podložna fizičkom oštećenju zbog čega pokazuje jasno pogoršanje zatezne jačine. To se pokazuje rapidnim opadanjem prekidne sile.

Relativna prekidna sila raste reduciranjem podužne mase i porastom molekularne orijentacije, zato se razvija jačina u pređi sve do tačke kad se dostiže prekomerno istežanje.



Slika 1.32. Uticaj stepena istežanja na finoću teksturirane pređe [5]

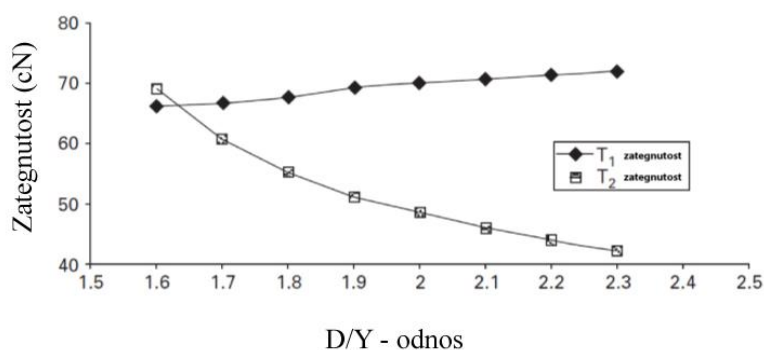
Gornji podaci prikazuju efekat rastućeg stepena istežanja na skupljanje kanure ili kovrdžavosti razvijenoj u pređi. To je fenomen pridružen porastu molekularne orijentacije. Kada orijentacija raste sposobnost polimernih lanaca da se savijaju i deformišu pod uticajem zagrevanja se reducira, na taj način smanjujući stepen skupljanja koji se može razviti.

Potrebno je evidentirati da odnos D/Y ima primetan uticaj na procenat izduženja teksturirane pređe i minimalni efekat na njenu podužnu masu. Rastući D/Y odnos znači da je brzina rotacije diskova

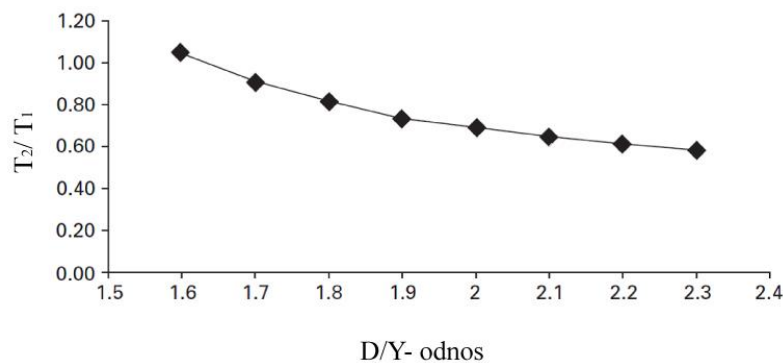
veća i više uvoja posreduje pređi. Ove promene izduženja čine da rastuće upredanje u pređi koja je zahvaćena između dovodnih valjaka i frikcijske torziona jedinice i ima efekat skraćanja pređe i efektivni porast odnosa istežanja ili elastičnosti. Pri teksturiranju pređa finoće čaraparskih pređa, povećanje D/Y odnosa može biti uzeto kao efikasno sredstvo za prevenciju talasanja i njen uticaj na nestabilnost, na putu niti između dovodnih valjaka i uređaja za upredanje.

Tabela 1.8. Uticaj odnosa D/Y na karakteristike pređa [5]

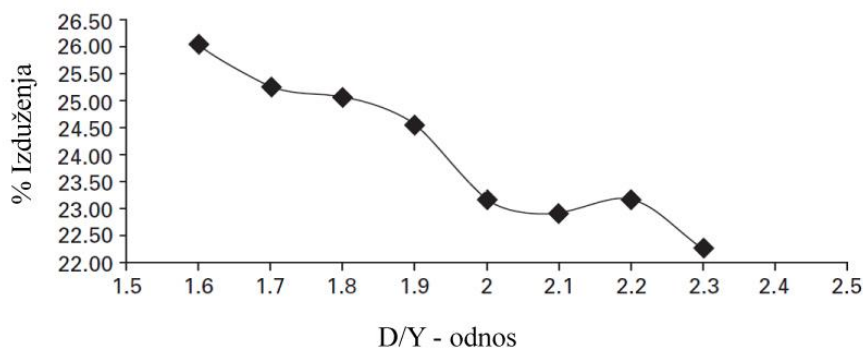
D/Y odnos	Zategnutost T_1	Zategnutost T_2	Odnos zategnutosti	Izduženje [%]	Prekidna sila [CN]	Finoća [dtex]	F_r [cN/dtex]
1,6	66,2	69,0	1,04	26,00	759,5	177,6	4,28
1,7	66,6	60,7	0,91	25,25	748,7	177,4	4,22
1,8	67,7	55,4	0,82	25,05	735,3	177,2	4,15
1,9	69,4	51,2	0,74	24,54	737,7	177,3	4,16
2,0	70,2	48,7	0,69	23,16	734,6	177,3	4,14
2,1	70,8	46,1	0,65	22,91	740,2	176,8	4,19
2,2	71,5	44,1	0,62	23,16	743,0	176,8	4,20
2,3	72,2	42,3	0,59	22,29	744,6	176,2	4,23



Slika 1.33. Uticaj odnosa D/Y na zategnutost pređe pre i posle FTU [5]



Slika 1.34. Uticaj odnosa D/Y na odnos zategnutosti T_1/T_2 [5]



Slika 1.35. Uticaj odnosa D/Y na prekidno izduženje pređe [5]

Iz izloženog se jasno vidi da je teksturiranje multiparametarski proces i da se pažljivim odabirom parametara procesa mogu u velikom opsegu izmeniti struktura i svojstva teksturirane pređe. U tabeli 1.9 sumarno je prikazan uticaj najznačajnijih parametara procesa teksturiranja: brzine teksturiranja, stepena istežanja, D/Y odnosa i broja uvoja, odnosno diskova u frikcionoj jedinici; kako na ostale parametre procesa teksturiranja, tako i na karakteristike teksturiranih pređa.

Tabela 1.9. Uticaj (povećanje) osnovnih parametara procesa teksturiranja na stabilnost procesa teksturiranja i karakteristike teksturirane pređe [7]

Parametri teksturiranja	Brzina teksturiranja	Stepen istežanja	D/Y odnos	Temperatura grejača	Broj uvoja (br. diskova)
Napon u pređi, T_1	↑↑	↑↑	↔	↓↓	↓↓
Napon u pređi, T_2	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	↓↓
Finoća pređe [dtex]	↔	↓↓	↔	↔	↓
Prekidna jačina [cN/tex]	↓	↷	↔	↘	↓
Prekidno izduženje	↓	↓↓	↔	↘	↓
Stepen kovrdžavosti	↓↓	↑	↔	↑↑	↑↑
Stabilnost kovrdža	↓↓	↑↑	↔	↑↑	↔
Pletenice i zamke	↑↑	↔	↔	↔	↓↓
Prekinuti filamenati	↑↑	↑↑	↓↓	↑↑	↓↓
Prekid pređe	↑↑	↑↑	↔	↑↑	↷
Zaostala torzija	↑↑	↔	↔	↓	↓↓
Kritična brzina talasanja	↔	↑↑	↑	↓	↓↓
Prenos naprežanja	↑↑	↷	↔	↑	↷
Neravnomerno obojenje	↑↑	↷	↔	↷	↷
Svetlije nijanse	↓↓	↑↑	↑	↑↑	↑
Glatkoća tkanine/pletenine	↓↓	↑↑	↑	↑	↑↑

↑↑ ↓↓ - značajan uticaj u pravcu strelice

↑ ↓ - mali uticaj u pravcu strelice

↔ - bez (ili veoma mali) uticaj

2. EKSPERIMENTALNI DEO

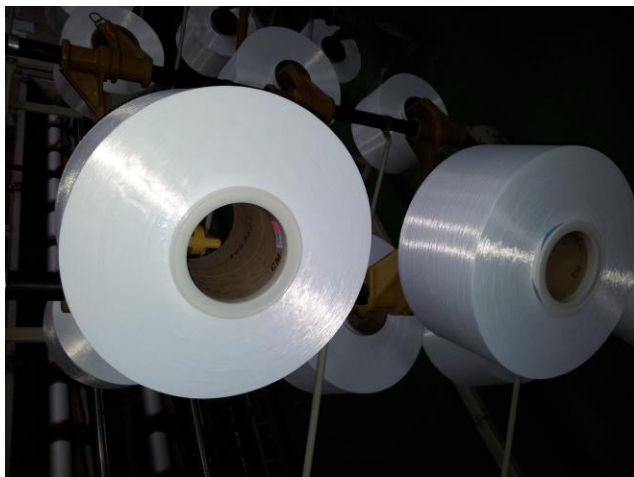
Eksperimentalni deo rada obuhvata analizu POY multifilamentne poliesterske pređe finoće 167f36x1dtex. Teksturiranje PES pređe vršeno je primenom različitih temperatura prvog grejača uz konstantnu temperaturu drugog grejača, zatim pri različitim vrednostima količnika periferne brzine diskova i brzine pređa (D/Y), kao i promenom stepena istezanja u zoni teksturiranja, uz minimalno talasanje zategnutosti.

Ovaj deo rada sadrži rezultate analize strukture teksturiranih PES pređa odnosno rezultate stepena kristalnosti i stepen orijentisanosti pređa. Takođe, analizirani su i parametri kovrdžavosti teksturiranih pređa, kao i njihova mehanička i reološka svojstva.

2.1. Materijal

Teksturirana PES pređa finoće 167f36x1 dtex, proizvedena je u realnim industrijskim uslovima od POY PES multifilamenta finoće 278f36x1 dtex, proizvođača TWD Fibers, Nemačka. Sve hemikalije korišćene u ovom radu su dobijene od komercijalnih izvora i bile su p.a. čistoće.

Na slici 2.1 prikazan je sirovi POY PES multifilament, a na slici 2.2 sirova teksturirana PES pređa.



Slika 2.1. Sirovi POY PES multifilament



Slika 2.2. Sirova teksturirana PES pređa

2.2. Tehničko-tehnološke karakteristike mašine FTF-15

Teksturiranje je vršeno na mašini za istezno frikciono teksturiranje sa visokotemperaturnim grejačem: FTF-15 (ICBT, Francuska). Tehničko-tehnološke karakteristike mašine su:

- Maksimalna brzina teksturiranja: $1500 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Dužina prvog grejača: 1,050 m

- Dužina drugog grejača: 1,60 m
- Zona hlađenja: 1,24 m
- Frikcioni agregat: ICBT agregat 1-5-1; radni (5 kom.) PU diskovi; C profil.
- Debljina, $h = 9$ mm
- Prečnik, $D = 52$ mm.

Na slici 2.3 prikazan je proces teksturiranja na mašini FTF-15 a na slici 2.4 izgled teksturirane pređe nakon precesa bojenja. Slika 2.5 prikazuje proces završne obrade i premotavanja teksturirane pređe.



Slika 2.3. Proces teksturiranja POY multifilamenta na mašini FTF-15



Slika 2.4. Teksturirana pređa nakon procesa bojenja



Slika 2.5. Proces završne obrade i premotavanja

2.2.1. Određivanje stepena kristalnosti

Zahvaljujući većoj središnjosti i geometrijski pravilnom rasporedu molekula, kristalna područja imaju gušće pakovanje molekula, a time i veću gustinu u odnosu na amorfna područja. Na taj način ukupna gustina vlakana, tj. kristalno-amornog polimera, zavisi od stepena kristalnosti vlakna: vlakna sa većim stepenom kristalnosti imaju veću gustinu. Na osnovu navedenog, preciznim određivanjem gustine i uz poznavanje gustine kristalnih i amornih oblasti vlakana, moguće je odrediti stepen kristalnosti vlakana.

Gustina vlakana/pređa određivana je flotacionom metodom [66]. Snopić vlakana dobijen vezivanjem u čvor snopa vlakana i odsecanjem štrčećih krajeva potapa se u mešavinu rastvarača različite gustine: ugljentetrahlorida i benzena. Posle pola sata od potapanja snopić će zauzeti nivo koji odgovara njegovoj gustini.

Stepen kristalnosti se izračunava na osnovu sledeće jednačine:

$$X = \left[\frac{\rho - \rho_a}{\rho_c - \rho_a} \right] \cdot \frac{\rho_c}{\rho} \cdot 100 [\%]$$

gde je: X - maseni udeo kristalne faze [%];

ρ , ρ_a i ρ_c - gustine ispitivanog uzorka, amorfne i kristalne faze, respektivno.

Vrednosti za ρ_a i ρ_c (tj. gustine idealno amornog i idealno kristalnog uzorka) za poli(etilentereftalat) su prema podacima iz literature [67]: 1,335 i 1,515, respektivno.

2.2.2. Određivanje dvojnog prelamanja i orijentisanosti pojedinačnih filamenata

Dvojno prelamanje (Δn) je mereno na polarizacionom mikroskopu MIN 8 (Lomo, Rusija), i izračunavano kao srednja vrednost merenja na 10 pojedinačnih niti filamenata. Vrednost dvojnog prelamanja se izračunava na osnovu sledeće jednačina:

$$\Delta n = \Delta / d$$

gde je: Δ - razlika optičkih puteva

d - prečnik vlakna [68].

Stepen orijentisanosti vlakana (f), u smislu Hermansovog faktora orijentisanosti, može se izračunati iz odnosa dvojnog prelamanja ispitivanog vlakna (Δn) i dvojnog prelamanja idealno orijentisanog vlakna (Δn_{max}) u kome su molekuli polimera potpuno paralelni sa osom vlakna. U ovom radu, kao vrednost dvojnog prelamanja potpuno orijentisanog poli(etilentereftalata), na osnovu podataka iz literature [69], uzeta je vrednost 0,24.

2.2.3. Ispitivanje morfologije uzoraka

Morfološke karakteristike pređa/filamenta, tj. karakteristike podužnog izgleda i poprečnog preseka, ispitivane su svetlosnom mikroskopijom korišćenjem mikroskopa snabdevenog digitalnom kamerom (Kruess, Germany).

2.2.4. Određivanje karakteristika kovrdžavosti

Stepen kovrdžavosti (CC), karakteristična kovrdžavost (CM) i postojanost, stabilnost kovrdža (CS) određene su u skladu sa standardom DIN 53840-1 [70]. Ukratko, kanura pređe finoće 2500 dtex je zagrevana na 120°C u toku 10 min, a zatim, pre merenja dužine kanure na Texturmat instrumentu, kondicionirana pri standarnim uslovima. Stepene kovrdžavosti, karakteristična kovrdžavost i stabilnost kovrdža izračunate su na osnovu sledećih jednačina:

$$CC = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$CM = \frac{l_0 - l_2}{l_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$CS = \frac{l_0 - l_3}{l_0 - l_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

u kojima je l_0 dužina kanure pri opterećanju od 500 cN, l_1 dužina kanure pri opterećenju od 2.5 cN, l_2 dužina kanure pri opterećenju od 25 cN, i l_3 dužina kanure koja je prvo opterećena sa 2500 cN u toku 10 s, a zatim rasterećena do predopterećenja od 2.5 cN.

2.2.5. Skupljanje

Skupljanje teksturirane pređe u ključaloj vodi ili toplom vazduhu je važna karakteristika njenog ponašanja pri naknadnim toplotnim obradama (doradi, bojenju, parenju, termofiksiranju i drugim procesima) i predstavlja meru stabilnosti strukture i relaksacije unutrašnjih napona u pređi.

Skupljanje teksturirane pređe određuje se po standardu DIN 53866. Dužina u kanuri izračunava se isto kao i za određivanje karakteristika kovrdža. Kanure se okače na tablu sa podeocima, opterete sa predopterećenjem od 2.5 g (kukom) i tegom od 247.5 g - što je ukupno 250 g. Nakon 10 s očitava se vrednost sa tegom, l_0 . Kanurice se zatim tretiraju u sapunskom rastvoru na 100° C u vremenu od 15 min, ocede se (ne ispiraju), suše u sušnici na 60°C, a zatim se kondicioniraju. Ponovo se kače na tablu i opterete na isti način kao i pre obrade u sapunskom rastvoru, očitava se vrednost l_1 .

Skupljanje se izračunava po sledećoj formuli:

$$S = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100,$$

gde je: S - skupljanje teksturirane pređe.

Za određivanje skupljanja rade se po tri merenja za svaki uzorak, a rezultati prikazuju kao srednja vrednost.

2.2.6. Mehaničke karakteristike

Za prikazivanje mehaničkih karakteristika pređa razvijen je čitav niz parametara koji se dobijaju statičkim ili dinamičkim ispitivanjima ili se izračunavaju na osnovu rezultata tih ispitivanja. Metode ispitivanja se razlikuju prema načinu delovanja sile opterećenja, te mogu biti različite po:

- pravcima delovanja sile, tako da izazivaju različite deformacije (istezanje, sabijanje i savijanje);
- intenzitetu delovanja sile, pa tako i po deformacijama koje pri tom prouzrokuju;
- vremenskim intervalima delovanja;
- načinu izvođenja opterećenja (poluciklične, jednociklične i višeciklične sa promenljivim intenzitetom delovanja sile i relaksacijama unutar ciklusa opterećenje-rasterećenje).

Kod većine ovih ispitivanja uzorak se može opteretiti sve do destrukcije pri čemu se dobijaju granične deformacione karakteristike materijala. S obzirom na postavljene ciljeve istraživanja detaljnije su opisane one metode koje doprinose definisanju mehaničkih karakteristika filamentnih pređa.

Prekidna sila (F_p), predstavlja silu izraženu u [cN] ili [N] koja je potrebna da se pređa prekine.

Relativna prekidna sila (F_r) ili relativna jačina pređe, predstavlja silu na jedinicu podužne mase pređe koja je potrebna da se pređa prekine. Izračunava se po obrascu:

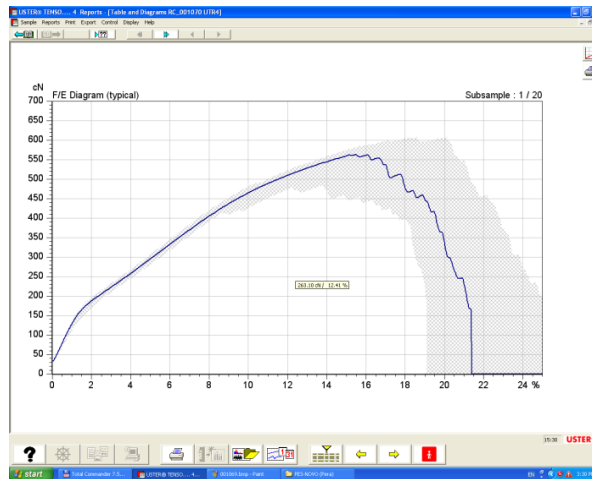
$$F_r = \frac{F_p}{T_t} [\text{cN/tex}]$$

Prekidno izduženje (ε_p), predstavlja izduženje pređe u trenutku prekida izraženo u % u odnosu na početnu dužinu.

$F - \varepsilon$ dijagram, odnosno zavisnost sila - relativno izduženje sve do prekida je karakteristika koja daje mnogo više podataka o mehaničkim svojstvima filamentnih pređa.

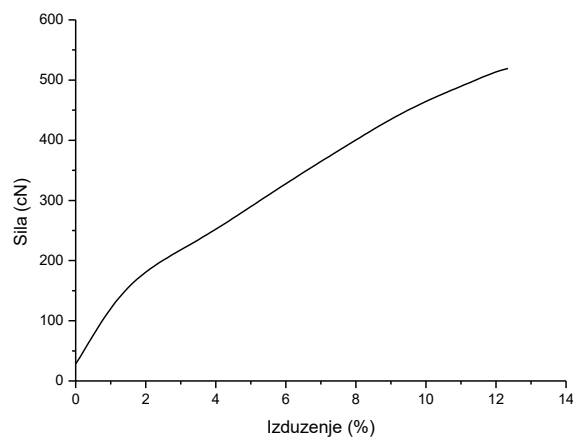
Za određivanje mehaničkih karakteristika eksperimentalnog materijala korišćen je automatski dinamometar USTER TENSORAPID 4.

Primenom softvera "USTER TENSORAPID 4" rezultati su prikazani u obliku tipičnih krivi koje opisuju ponašanje teksturiranih PES pređa tokom istežanja $F - \varepsilon$ (slika 2.6).

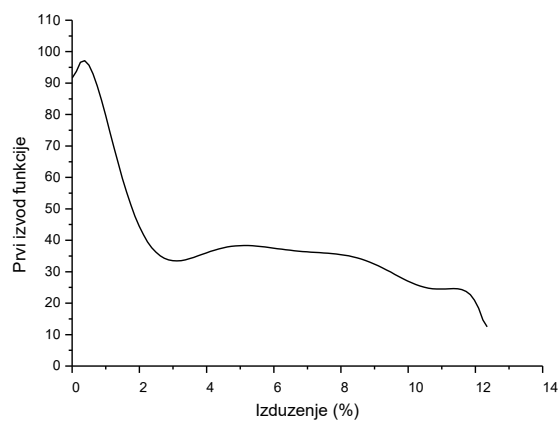


Slika 2.6. Tipična kriva F - ε filamentne PES pređe

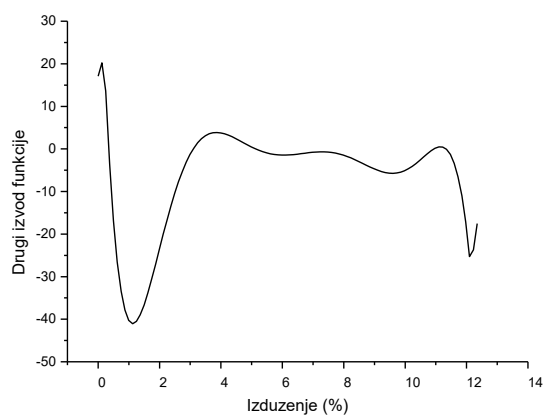
Analizom funkcije $F(\varepsilon)$ (slika 2.7) određene su vrednosti sila i relativnih izduženja na granici elastičnosti filamentnih PES pređa $\{(F_e \text{ i } \varepsilon_e)$, (lokalni maksimum krive $F'(\varepsilon)$ tj.: $F''(\varepsilon)=0$ $\}$ (slike 2.8 i 2.9) [71].



Slika 2.7. Grafik funkcije $F(\varepsilon)$ PES filamentne pređe



Slika 2.8. Prvi izvod funkcije $F(\varepsilon)$ PES filamentne pređe



Slika 2.9. Drugi izvod funkcije $F(\varepsilon)$ PES filamentne prede

2.3. Rezultati analize eksperimentalnog materijala

U tabelama 2.1 do 2.9 prikazani su rezultati ispitivanja strukturnih i mehaničkih karakteristika PES filamentnih pređa. Rezultati su sistematizovani zavisno od primenjenih temperatura prvog grejača i parametra D/Y. Tabela 2.1. sadrži rezultate ispitivanja teksturiranih PES filamentnih pređa 1 do 18, proizvedenih pri temperaturi prvog grejača $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ i odnosa $D/Y = 2,15$.

Tabela 2.1. Rezultati analize PES filamentne pređe; $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D/Y = 2,15$

Uz.	Vi (m/min)	I	S (%)	CC (%)	CM (%)	CS (%)	Fp (cN)	Fr (cN/tex)	CV Fr (%)	ε (%)	CV ε (%)	ε_e (%)	Fe (cN)	St. kris. (%)
1	1100	1,665	5,590	21,541	9,225	72,388	591,6	34,25	4,4	19,21	9,2	4,88	290,05	26,46
2	1100	1,675	5,609	21,529	9,115	69,553	593,8	34,36	4,9	19,08	10,3	4,68	286,73	25,48
3	1100	1,685	5,688	20,845	9,407	67,853	608,7	35,43	5,7	20,07	11,3	5,64	319,36	25,48
4	1000	1,665	6,285	25,649	12,459	67,135	616,8	35,97	5,8	20,86	13,2	5,84	323,45	26,46
5	1000	1,675	6,341	22,641	11,240	61,699	574,3	33,59	4,6	19,23	11,0	5,05	295,51	26,46
6	1000	1,685	6,348	26,131	12,657	65,661	643,2	37,97	3,9	21,54	9,3	6,99	344,09	24,48
7	900	1,665	13,041	30,716	17,624	55,028	629,8	36,22	3,1	27,03	6,6	8,16	325,91	32,86
8	900	1,675	5,483	27,000	12,734	60,824	626,1	36,49	3,2	20,37	9,6	7,91	344,43	35,95
9	900	1,685	12,354	34,277	16,861	52,551	632,3	37,15	3,4	24,65	7,7	7,90	337,69	35,06
10	700	1,665	4,612	22,58	11,50	63,66	640,0	36,53	2,9	24,56	6,9	9,38	346,11	29,30
11	700	1,675	4,863	25,71	13,00	65,14	640,5	36,92	3,5	23,87	8,4	9,55	355,43	29,30
12	700	1,685	4,466	22,12	10,67	60,32	641,6	37,11	3,3	23,87	7,9	9,20	348,07	31,29
13	600	1,665	6,303	22,29	10,86	60,58	643,0	36,47	2,7	26,41	7,2	9,52	340,15	29,85
14	600	1,675	7,670	24,39	12,68	61,49	651,8	37,31	2,1	26,06	5,4	9,44	342,75	29,30
15	600	1,685	5,042	25,63	13,24	62,91	646,9	37,28	2,5	25,26	4,9	9,19	346,06	27,04
16	500	1,665	4,990	28,65	14,26	65,27	663,5	37,76	3,2	25,18	8,9	9,99	369,09	31,99
17	500	1,675	4,644	29,22	14,33	66,91	649,3	37,27	4,6	23,35	11,5	9,73	364,67	31,64
18	500	1,686	5,319	28,13	13,64	66,83	657,7	37,97	2,8	23,40	7,5	9,38	361,93	32,17

U tabeli 2.2 prikazani su rezultati ispitivanja teksturiranih PES filamentnih pređa 19 do 36, proizvedenih pri temperaturi prvog grejača $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ i odnosa $D/Y = 2,20$.

Tabela 2.2. Rezultati analize PES filamentne pređe; $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D/Y = 2,20$

Uz.	Vi (m/min)	I	S (%)	CC (%)	CM (%)	CS (%)	Fp (cN)	Fr (cN/tex)	CV Fr (%)	ϵ (%)	CV ϵ (%)	ϵ_e (%)	Fe (cN)	St. kris. (%)
19	1100	1,665	5,682	21,800	9,093	68,769	598,5	34,58	5,4	19,78	11,4	5,10	301,91	26,46
20	1100	1,675	5,791	22,130	8,659	65,743	602,9	35,03	5,0	18,46	9,9	5,62	323,93	25,48
21	1100	1,685	5,591	23,710	10,588	65,749	626,6	36,97	5,7	19,66	10,9	5,08	304,21	26,46
22	1000	1,665	5,934	26,009	12,552	69,650	605,8	35,24	6,0	20,67	12,1	6,01	327,89	26,46
23	1000	1,675	6,230	22,963	11,670	69,509	560,0	32,75	4,3	18,46	10,7	5,03	283,07	24,48
24	1000	1,685	6,460	27,972	13,892	68,553	635,1	37,23	4,7	21,24	10,6	6,65	333,17	25,48
25	900	1,665	13,820	27,856	13,544	56,319	619,6	35,88	3,9	27,83	7,2	8,46	325,50	35,39
26	900	1,675	5,409	30,250	14,255	62,298	598,5	34,96	6,4	20,41	14,2	5,54	274,51	36,66
27	900	1,685	9,144	32,983	15,916	64,693	639,9	37,20	2,8	25,62	5,9	8,22	333,97	32,86
28	700	1,665	4,467	22,70	10,66	56,10	643,8	36,81	4,2	25,01	7,7	9,78	354,61	32,86
29	700	1,675	4,862	22,76	10,41	61,28	617,5	35,43	3,7	23,67	8,6	9,18	337,34	32,86
30	700	1,685	4,655	22,33	10,06	58,02	637,5	37,08	3,7	23,49	7,6	8,94	340,49	31,20
31	600	1,665	4,408	22,83	11,73	61,09	650,0	37,02	2,0	26,38	4,4	9,32	340,46	29,30
32	600	1,675	4,916	22,78	11,46	60,98	649,5	37,20	2,2	25,40	6,1	9,18	341,19	30,21
33	600	1,685	4,657	23,03	11,65	61,61	651,9	37,62	1,9	24,47	4,8	9,32	351,89	29,30
34	500	1,665	4,202	28,75	14,10	64,81	661,1	38,01	3,1	25,04	8,2	9,78	363,94	29,67
35	500	1,675	5,045	26,71	12,66	64,14	663,2	37,96	3,3	24,83	8,2	10,29	374,83	29,67
36	500	1,685	4,518	27,67	12,93	64,39	659,8	37,86	2,8	23,78	7,9	9,88	367,97	29,85

U tabeli 2.3 dati su podaci analize teksturiranih PES filamentnih pređa 37 do 54, pri temperaturi prvog grejača $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ i odnosa $D/Y = 2,25$.

Tabela 2.3. Rezultati analize PES filamentne pređe; $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D/Y = 2,25$

Uz.	Vi (m/min)	I	S (%)	CC (%)	CM (%)	CS (%)	Fp (cN)	Fr (cN/tex)	CV Fr (%)	ϵ (%)	CV ϵ (%)	ϵ_e (%)	Fe (cN)	St. kris. (%)
37	1100	1,665	5,360	24,197	10,208	69,450	593,6	34,33	4,8	19,36	10,0	5,13	294,61	27,42
38	1100	1,675	5,692	22,727	10,054	66,795	593,6	34,61	4,0	19,61	7,9	5,31	300,69	29,30
39	1100	1,685	6,296	24,604	11,049	70,773	598,5	34,96	5,4	18,00	11,2	5,79	313,69	28,37
40	1000	1,665	5,581	25,800	12,481	69,884	622,8	36,15	6,5	20,40	13,1	6,68	348,55	27,42
41	1000	1,675	6,284	23,244	11,646	65,638	581,8	33,78	4,7	18,58	9,7	5,51	297,73	24,48
42	1000	1,685	6,328	28,811	13,748	65,436	629,3	36,97	4,4	21,28	10,8	6,37	331,53	24,48
43	900	1,665	12,515	27,845	13,743	53,314	619,9	35,85	2,8	27,29	6,8	8,52	323,36	30,21
44	900	1,675	5,441	30,617	14,676	65,366	581,4	33,74	4,8	19,27	11,9	5,52	294,78	34,51
45	900	1,685	9,140	34,485	17,073	64,585	632,9	36,71	2,6	24,82	5,7	8,05	340,72	30,21
46	700	1,665	5,280	21,90	10,60	60,19	624,3	35,90	3,1	24,64	6,7	9,11	332,92	31,99
47	700	1,675	5,053	22,34	9,83	51,46	646,0	37,10	3,0	25,44	6,9	10,72	368,94	32,86
48	700	1,685	4,402	22,90	10,08	51,89	659,4	37,40	2,7	24,44	5,6	10,13	362,89	31,55
49	600	1,665	6,517	22,56	12,05	66,15	650,7	37,03	1,6	25,85	3,9	9,39	342,55	29,30
50	600	1,675	6,517	22,56	12,33	65,17	653,0	37,49	2,0	25,66	5,1	10,05	357,60	31,11
51	600	1,685	5,180	25,28	13,41	65,19	653,8	37,68	2,8	24,87	6,0	9,24	351,10	29,85
52	500	1,665	6,324	29,62	14,63	66,26	666,6	38,20	3,3	25,94	9,3	10,18	372,34	34,39
53	500	1,675	4,581	30,22	14,86	66,76	662,9	38,18	3,7	24,52	9,7	9,54	362,28	34,56
54	500	1,685	5,854	30,96	15,16	67,36	672,9	39,01	2,8	24,71	7,4	10,04	373,97	34,56

Tabela 2.4 obuhvata rezultate ispitivanja teksturiranih PES filamentnih pređa 55 do 72, pri temperaturi prvog grejača $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ i količnika $D/Y = 2,15$.

Tabela 2.4. Rezultati analize PES filamentne pređe; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D/Y = 2,15$

Uz.	Vi (m/min)	I	S (%)	CC (%)	CM (%)	CS (%)	Fp (cN)	Fr (cN/tex)	CV Fr (%)	ϵ (%)	CV ϵ (%)	ϵ_e (%)	Fe (cN)	St. kris. (%)
55	1100	1,665	5,304	22,729	9,453	69,988	594,2	34,27	5,3	18,61	11,3	5,37	295,41	29,30
56	1100	1,675	5,300	27,455	11,968	72,810	614,8	35,70	5,2	19,41	11,2	4,32	271,55	31,11
57	1100	1,685	5,362	31,911	13,550	71,358	631,3	36,79	5,9	20,41	11,3	4,59	276,22	30,21
58	1000	1,665	6,030	31,417	15,325	74,192	626,5	36,55	6,0	21,17	14,4	5,68	313,22	22,44
59	1000	1,675	5,923	27,953	14,151	70,646	637,9	37,04	3,2	22,09	8,8	6,09	312,88	26,46
60	1000	1,685	5,938	30,114	15,000	71,159	650,0	37,77	4,0	22,08	9,7	6,82	327,55	26,46
61	900	1,665	7,936	34,074	18,137	59,127	646,9	37,28	2,9	25,68	6,2	8,16	334,70	27,42
62	900	1,675	6,885	37,271	17,721	68,113	605,7	35,40	3,5	20,29	7,6	7,66	337,47	34,51
63	900	1,685	8,082	37,402	19,883	63,318	661,3	37,68	2,5	24,78	7,0	7,98	350,59	30,75
64	700	1,665	3,234	38,50	19,46	71,66	685,0	38,39	3,0	26,28	5,6	9,54	364,04	31,11
65	700	1,675	3,676	38,52	18,95	73,54	681,8	38,54	3,2	25,73	7,3	9,82	366,46	33,72
66	700	1,685	3,265	41,85	21,20	76,14	686,3	38,67	3,3	25,00	7,1	10,30	382,47	31,11
67	600	1,665	3,869	28,14	15,51	71,84	666,2	37,83	2,6	25,89	5,8	9,17	345,04	32,34
68	600	1,675	4,269	29,14	15,67	71,23	674,5	38,52	1,8	25,57	5,4	9,34	357,58	31,99
69	600	1,685	4,593	27,16	14,88	75,00	671,1	38,61	3,2	25,08	5,0	9,62	364,91	31,82
70	500	1,665	1,675	36,23	18,86	73,67	673,8	38,31	3,7	24,69	8,2	10,13	371,41	32,86
71	500	1,675	2,341	39,24	20,46	74,19	681,1	39,03	2,6	24,46	6,6	10,20	379,85	33,72
72	500	1,685	3,275	39,16	20,00	74,46	669,7	38,47	3,6	23,72	7,3	7,86	306,76	32,17

Tabela 2.5 sadrži rezultate teksturiranih PES filamentnih pređa 73 do 90, pri temperaturi prvog grejača $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ i količnika $D/Y = 2,20$.

Tabela 2.5. Rezultati analize PES filamentne pređe; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D/Y = 2,20$

Uz.	Vi (m/min)	I	S (%)	CC (%)	CM (%)	CS (%)	Fp (cN)	Fr (cN/tex)	CV Fr (%)	ϵ (%)	CV ϵ (%)	ϵ_e (%)	Fe (cN)	St. kris. (%)
73	1100	1,665	5,508	24,346	10,445	71,815	615,7	35,40	5,6	19,59	10,3	4,93	291,78	30,21
74	1100	1,675	4,792	25,848	10,664	68,903	596,9	34,59	6,6	19,13	13,2	5,10	284,91	30,21
75	1100	1,685	5,515	30,487	13,255	71,887	606,7	35,21	5,8	18,12	11,7	4,88	294,84	30,21
76	1000	1,665	5,860	30,609	15,037	73,057	632,0	36,39	14,0	20,57	11,9	5,75	313,42	26,46
77	1000	1,675	5,346	28,501	14,205	73,844	635,5	37,01	2,8	20,56	7,5	6,22	320,84	27,42
78	1000	1,685	5,752	28,77	14,585	72,725	648,9	38,26	4,5	21,07	8,7	6,61	342,46	25,48
79	900	1,665	7,567	34,723	17,732	60,041	646,6	36,97	3,4	26,91	8,3	8,14	338,12	35,39
80	900	1,675	5,773	37,926	18,821	69,475	591,8	33,40	2,8	21,46	8,9	7,18	315,43	34,51
81	900	1,685	8,753	36,362	19,144	65,996	656,5	38,06	3,5	24,13	7,3	8,26	350,57	27,42
82	700	1,665	4,676	42,11	21,54	76,73	688,8	38,74	2,3	25,77	6,4	9,53	367,76	31,29
83	700	1,675	4,916	40,46	20,55	78,41	690,6	38,75	3,1	25,49	6,9	10,15	383,39	33,72
84	700	1,685	5,378	37,14	17,59	74,17	688,1	38,85	2,5	24,96	5,6	9,79	373,31	30,21
85	600	1,665	2,798	29,30	15,36	68,60	670,1	38,03	2,7	26,22	5,3	9,41	357,00	32,86
86	600	1,675	4,667	31,56	16,97	68,22	671,3	38,38	2,4	25,68	4,1	9,36	356,95	31,99
87	600	1,685	4,327	33,12	17,72	68,29	670,1	38,58	3,1	24,72	5,7	9,15	357,34	31,29
88	500	1,665	3,882	39,44	20,42	75,53	682,1	38,67	3,8	25,99	7,4	9,79	357,37	32,86
89	500	1,675	3,523	37,47	18,88	74,72	677,7	38,49	3,5	24,75	9,0	10,46	382,37	33,55
90	500	1,685	2,668	36,54	18,58	73,13	678,4	38,87	2,7	24,25	7,4	9,64	366,92	31,99

Tabela 2.6 sadrži rezultate ispitivanja teksturiranih PES filamentnih pređa 91 do 108, proizvedenih pri temperaturi prvog grejača $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ i odnosa $D/Y = 2,25$.

Tabela 2.6. Rezultati analize PES filamentne pređe; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D/Y = 2,25$

Uz.	Vi (m/min)	I	S (%)	CC (%)	CM (%)	CS (%)	Fp (cN)	Fr (cN/tex)	CV Fr (%)	ϵ (%)	CV ϵ (%)	ϵ_e (%)	Fe (cN)	St. kris. (%)
91	1100	1,665	5,067	24,532	10,114	70,455	618,5	35,61	5,7	19,13	11,0	4,66	283,37	29,30
92	1100	1,675	5,233	26,416	11,103	71,570	607,2	35,14	4,6	18,74	11,1	4,57	274,04	31,11
93	1100	1,685	5,472	29,902	13,017	72,180	634,3	36,70	7,0	19,83	13,1	5,86	324,02	28,17
94	1000	1,665	5,417	27,977	13,880	74,126	646,1	37,35	5,2	22,13	12,3	6,11	336,15	26,46
95	1000	1,675	5,876	24,917	12,540	70,350	603,8	34,96	3,8	19,41	8,9	5,84	316,35	24,48
96	1000	1,685	5,516	30,625	15,161	70,610	645,4	37,67	3,2	21,47	7,5	6,38	323,70	25,48
97	900	1,665	7,777	35,127	18,050	62,186	634,5	36,75	3,1	26,48	7,4	8,40	329,80	26,46
98	900	1,675	5,629	34,016	16,124	66,735	594,5	35,13	4,6	21,13	9,0	7,29	331,66	34,51
99	900	1,685	8,344	34,679	18,232	64,410	647,4	37,40	2,8	23,81	6,4	8,10	350,41	28,37
100	700	1,665	5,770	31,80	16,46	72,15	666,5	37,87	2,0	25,31	6,9	9,96	361,53	32,86
101	700	1,675	5,712	32,52	16,47	69,61	681,2	39,04	1,6	24,99	5,1	10,40	380,60	32,86
102	700	1,685	5,951	32,78	17,01	71,31	663,4	38,22	2,7	23,71	6,4	10,43	377,06	33,38
103	600	1,665	6,866	30,60	15,93	67,95	673,4	38,28	1,6	26,50	4,9	10,09	364,38	30,75
104	600	1,675	5,851	32,27	17,04	69,31	673,5	38,57	1,9	25,89	1,9	9,92	367,39	30,93
105	600	1,685	8,000	32,15	16,14	66,23	681,8	39,25	1,9	24,99	5,2	9,47	362,67	30,75
106	500	1,665	3,552	38,08	20,44	75,49	681,0	38,73	2,3	24,58	6,4	9,87	373,76	32,86
107	500	1,675	3,355	39,08	20,33	74,96	689,4	39,51	2,9	25,32	7,5	10,42	388,65	33,72
108	500	1,685	3,386	39,42	19,99	74,30	675,1	38,89	3,7	22,50	8,9	9,00	363,87	31,11

Tabela 2.7 sadrži rezultate teksturiranih PES filamentnih pređa 109 do 126, pri temperaturi prvog grejača $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ i količnika $D/Y = 2,15$.

Tabela 2.7. Rezultati analize PES filamentne pređe; $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D/Y = 2,15$

Uz.	Vi (m/min)	I	S (%)	CC (%)	CM (%)	CS (%)	Fp (cN)	Fr (cN/tex)	CV Fr (%)	ϵ (%)	CV ϵ (%)	ϵ_e (%)	Fe (cN)	St. kris. (%)
109	1100	1,665	5,189	32,989	13,743	72,616	652,1	37,41	6,9	21,42	12,4	5,03	296,50	30,21
110	1100	1,675	8,537	33,275	14,057	65,039	661,9	38,40	8,5	22,01	13,8	6,43	345,13	31,11
111	1100	1,685	8,055	34,419	14,849	68,213	643,9	37,54	8,1	21,28	15,0	5,74	325,80	30,21
112	1000	1,665	5,155	30,049	14,991	75,535	656,9	37,78	5,6	25,51	12,5	5,37	281,33	26,46
113	1000	1,675	5,725	29,153	15,285	72,669	646,5	37,52	6,9	21,00	11,1	6,77	344,50	25,48
114	1000	1,685	5,513	31,658	15,865	74,324	661,7	38,09	3,6	22,91	10,5	6,90	329,45	27,42
115	900	1,665	7,082	36,964	19,588	66,543	660,3	37,88	2,8	25,56	5,9	8,29	329,19	28,37
116	900	1,675	4,928	41,090	20,964	73,129	617,3	35,76	2,7	22,40	7,9	7,95	329,70	33,77
117	900	1,685	7,112	36,705	20,206	72,191	664,8	38,18	3,2	25,40	7,7	8,39	362,64	28,37
118	700	1,665	5,937	39,30	19,97	76,04	693,9	38,83	2,5	26,01	6,1	9,25	356,20	32,86
119	700	1,675	6,440	40,73	21,07	77,34	703,0	39,72	2,2	25,58	5,1	9,95	378,65	33,38
120	700	1,685	4,388	38,44	19,04	73,16	682,3	38,92	3,1	23,79	6,5	9,31	365,31	31,64
121	600	1,665	5,905	30,32	16,47	71,14	680,5	38,91	2,6	26,03	5,6	10,02	369,54	31,11
122	600	1,675	4,790	32,68	18,07	75,05	672,4	38,69	2,6	24,94	6,4	9,36	358,40	32,86
123	600	1,685	6,548	30,57	16,62	73,94	689,9	39,76	2,0	25,17	4,9	9,70	362,57	33,04
124	500	1,665	3,225	45,34	26,34	79,75	709,3	39,60	1,8	25,44	5,2	9,53	370,48	35,06
125	500	1,675	3,344	44,51	25,46	79,30	709,0	39,92	2,8	24,94	6,2	9,24	368,78	36,36
126	500	1,685	3,552	44,59	25,7	78,76	707,5	39,93	2,2	23,63	5,8	8,86	362,33	33,55

U tabeli 2.8 dati su podaci analize teksturiranih PES filamentnih pređa 127 do 144, pri temperaturi prvog grejača $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ i odnosa $D/Y = 2,20$.

Tabela 2.8. Rezultati analize PES filamentne pređe; $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D/Y = 2,20$

Uz.	Vi (m/min)	I	S (%)	CC (%)	CM (%)	CS (%)	Fp (cN)	Fr (cN/tex)	CV Fr (%)	ϵ (%)	CV ϵ (%)	ϵ_e (%)	Fe (cN)	St. kris. (%)
127	1100	1,665	5,313	30,770	12,655	71,343	627,2	35,88	8,0	21,50	16,5	5,77	313,42	31,99
128	1100	1,675	5,868	34,033	14,200	71,208	645,6	37,32	6,0	21,14	11,8	5,91	318,31	33,72
129	1100	1,685	7,131	35,372	14,942	69,272	648,4	37,70	10,3	20,61	18,2	6,62	346,72	33,72
130	1000	1,665	4,825	30,996	15,740	75,692	644,8	36,95	6,4	21,00	11,4	6,11	311,60	30,21
131	1000	1,675	5,353	31,593	15,890	74,232	664,8	38,81	4,0	20,92	8,6	6,81	349,10	27,42
132	1000	1,685	5,217	31,308	15,574	74,138	652,5	38,31	4,2	22,45	9,1	6,20	327,45	29,30
133	900	1,665	6,665	37,735	20,848	69,939	669,5	38,43	2,4	26,59	6,3	8,90	342,50	26,46
134	900	1,675	5,473	36,861	18,765	73,490	636,3	36,72	3,9	22,65	7,2	7,35	310,20	33,77
135	900	1,685	6,930	36,829	19,794	72,908	665,0	38,24	5,0	23,27	9,2	7,88	342,07	29,11
136	700	1,665	6,098	38,54	20,07	77,84	700,6	39,38	2,6	26,05	6,0	10,07	385,50	31,82
137	700	1,675	6,090	38,23	19,83	77,50	691,7	38,90	2,7	25,25	6,6	10,17	385,73	31,82
138	700	1,685	7,712	37,07	19,08	76,75	699,0	39,76	3,1	25,10	7,3	9,90	382,99	30,75
139	600	1,665	3,997	32,14	17,30	74,40	683,7	38,69	1,9	26,33	4,7	10,00	357,67	32,69
140	600	1,675	4,255	31,51	17,38	74,51	682,8	38,86	2,4	25,68	5,4	9,63	357,45	32,86
141	600	1,685	4,714	31,73	17,50	74,07	686,7	39,38	2,4	24,86	5,0	9,79	371,75	32,69
142	500	1,665	4,933	46,24	26,47	78,70	701,6	38,98	3,3	25,07	6,5	8,65	344,13	34,06
143	500	1,675	4,584	44,23	24,93	78,82	709,0	39,50	2,4	25,08	5,1	8,98	362,78	33,72
144	500	1,685	4,460	46,19	26,35	78,08	702,1	39,40	2,8	23,83	5,3	8,12	337,25	35,39

U tabeli 2.9 prikazani su podaci analize teksturiranih PES filamentnih pređa 145 do 162, pri temperaturi prvog grejača $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ i odnosa $D/Y = 2,25$.

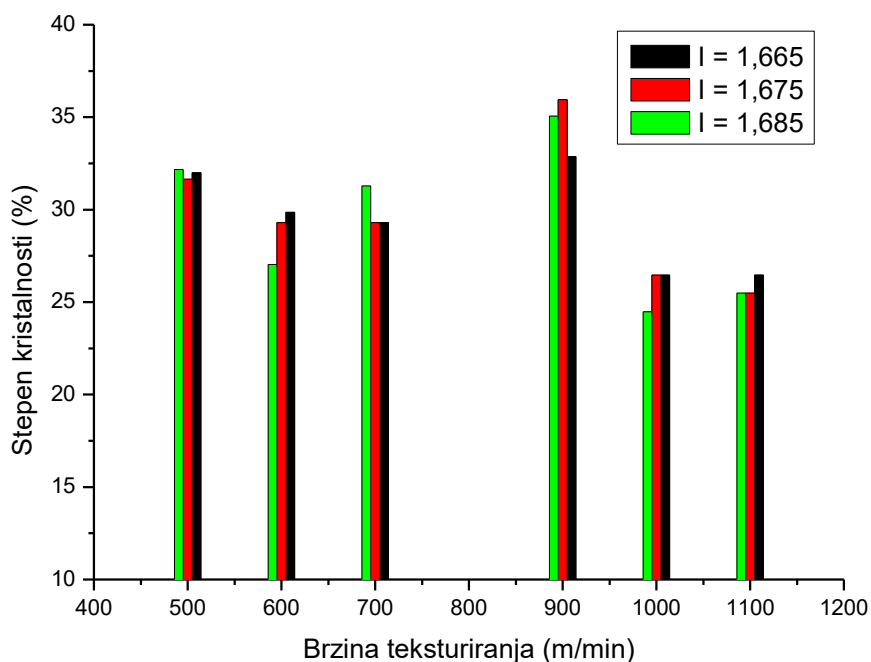
Tabela 2.9. Rezultati analize PES filamentne pređe; $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D/Y = 2,25$

Uz.	Vi (m/min)	I	S (%)	CC (%)	CM (%)	CS (%)	Fp (cN)	Fr (cN/tex)	CV Fr (%)	ϵ (%)	CV ϵ (%)	ϵ_e (%)	Fe (cN)	St. kris. (%)
145	1100	1,665	5,060	27,494	11,332	71,335	632,2	36,61	7,0	20,73	12,5	5,95	323,88	33,72
146	1100	1,675	5,435	33,030	14,481	73,771	659,1	38,50	8,3	21,18	14,1	6,75	351,15	32,86
147	1100	1,685	11,347	38,068	16,447	58,775	638,4	37,18	10,9	20,36	18,3	5,59	325,79	30,21
148	1000	1,665	5,795	29,239	14,551	74,007	628,4	36,01	7,8	20,86	15,2	7,80	355,97	25,48
149	1000	1,675	5,117	32,772	16,050	75,824	647,4	37,84	4,2	21,84	10,1	6,14	326,97	25,48
150	1000	1,685	4,933	31,800	15,969	75,803	662,2	38,61	3,7	20,52	7,9	6,63	331,40	29,30
151	900	1,665	6,296	37,433	20,429	68,873	661,2	38,06	2,9	25,67	7,6	8,56	343,49	26,46
152	900	1,675	5,637	40,832	21,015	73,402	629,1	36,51	3,4	22,10	5,7	7,65	320,04	34,51
153	900	1,685	7,242	37,435	20,354	72,981	670,8	38,64	3,2	23,48	7,0	7,27	324,16	27,42
154	700	1,665	5,326	38,55	20,18	77,08	690,7	38,59	2,5	25,61	5,5	10,22	379,98	29,67
155	700	1,675	4,970	37,14	19,35	69,85	688,1	38,63	2,9	25,21	6,9	10,34	387,46	31,82
156	700	1,685	5,175	38,92	20,36	74,47	688,0	39,25	3,1	24,17	6,8	9,97	382,49	30,57
157	600	1,665	3,538	32,20	17,52	74,62	680,0	38,77	2,9	26,01	3,9	9,93	366,51	31,99
158	600	1,675	4,259	32,49	18,29	76,26	691,3	39,75	1,9	26,06	4,1	9,91	364,31	32,52
159	600	1,685	4,185	29,01	13,88	67,55	685,2	39,17	3,3	25,07	6,5	10,04	374,17	32,52
160	500	1,665	4,846	46,32	26,98	78,37	708,5	39,38	3,0	25,60	7,0	9,59	367,23	34,56
161	500	1,675	4,381	46,41	27,11	78,53	701,5	39,21	3,7	24,44	4,8	8,95	360,46	33,72
162	500	1,685	4,634	46,79	27,06	78,39	708,6	39,65	2,9	24,41	5,5	8,97	357,28	30,21

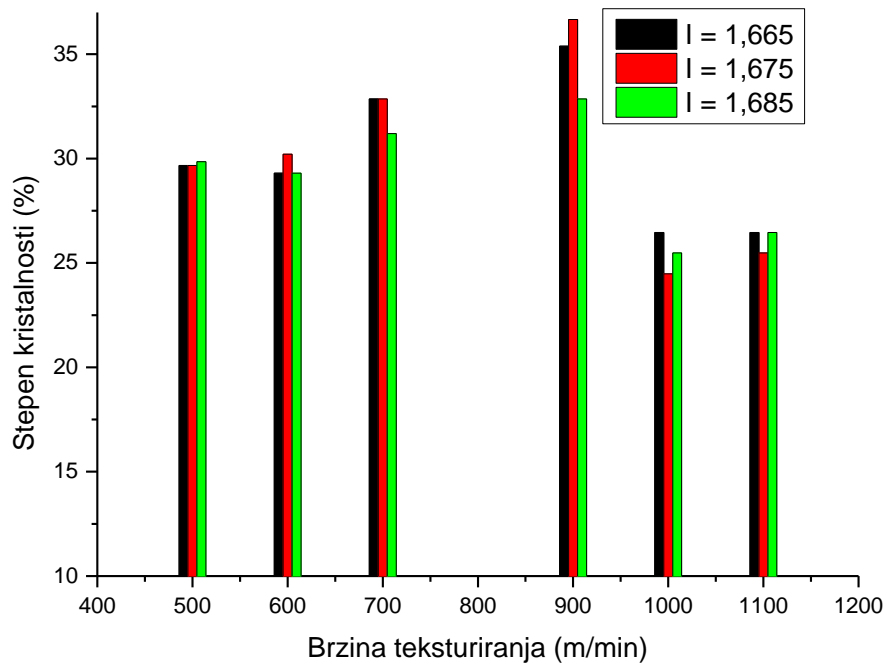
2.4. Uticaj parametara teksturiranja na strukturu teksturirane PES filamentne pređe

Karakterisanje strukture polimera/vlakana je od suštinskog značaja za utvrđivanje međusobnih zavisnosti između parametara procesa proizvodnje (teksturiranja), strukturnih parametara i svojstava dobijenih teksturiranih poliestarskih pređa. Slaganje dugih polimernih lanaca u trodimenzionalne strukture je u velikoj meri određeno karakteristikama njihove molekulske strukture, kao što su fleksibilnost, regularnost strukture i sl., međumolekulskim sadejstvom i uslovima spoljašnje sredine, kao što su temperatura, naprezanje, i sl. [2, 25].

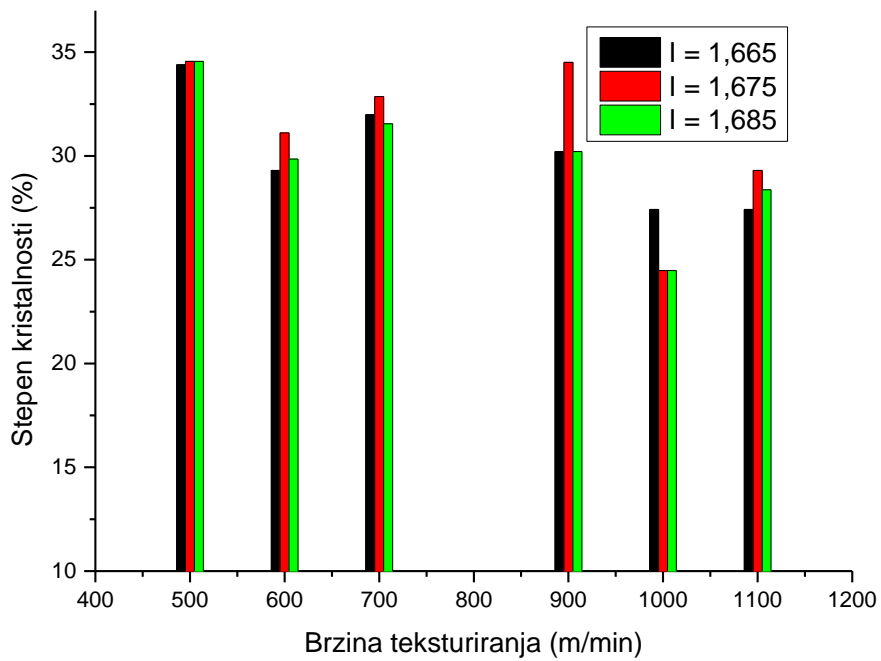
POY poliestarska pređa (poli(etilentereftalat)) korišćeno u okviru ovog istraživanja je delimično orijentisana pređa sa veoma niskim stepenom kristalnosti (manjim od 5%), tako da njena struktura i svojstva mogu varirati u velikom stepenu promenom parametara procesa teksturiranja. Na slikama 2.10 do 2.18 prikazani su histogrami promene stepena kristalnosti teksturirane filamentne PES pređe u zavisnosti od promene brzine, temperature, stepena istežanja pređe u procesu teksturiranja, kao i D/Y odnosa.



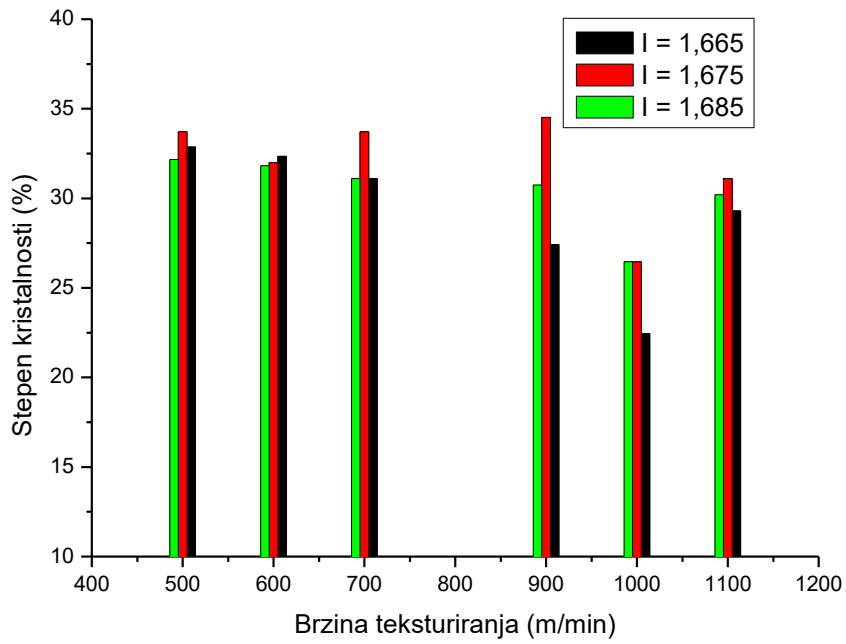
Slika 2.10. Uticaj brzine teksturiranja na stepen kristalnosti ($T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,15$)



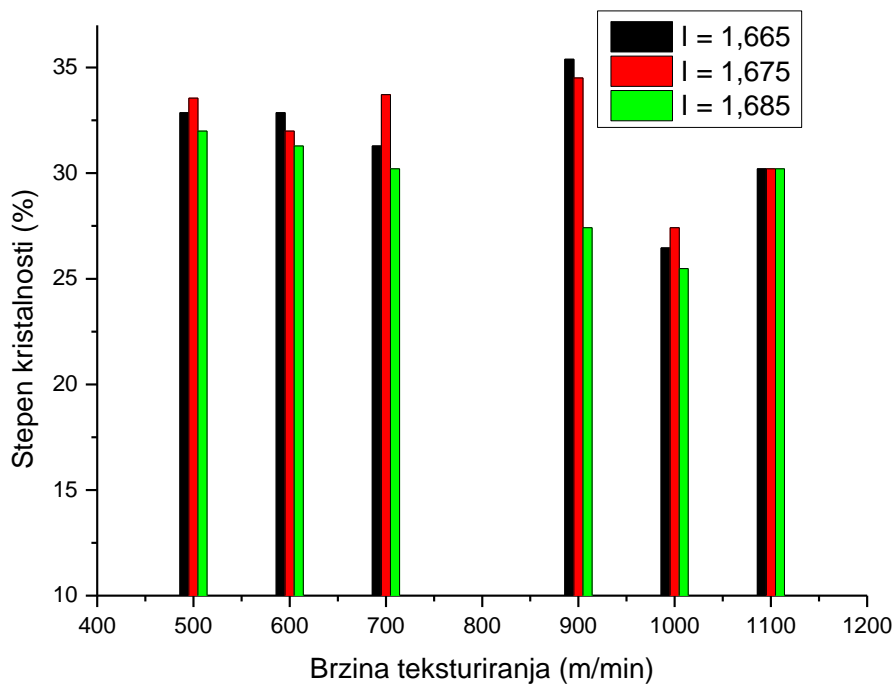
Slika 2.11. Uticaj brzine teksturiranja na stepen kristalnosti ($T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,20$)



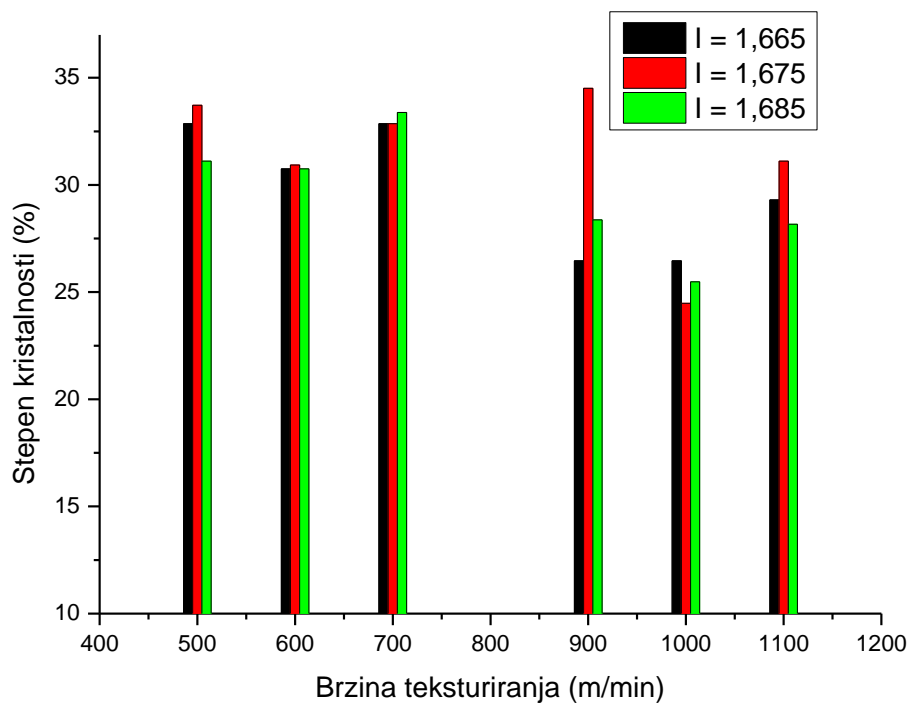
Slika 2.12. Uticaj brzine teksturiranja na stepen kristalnosti ($T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,25$)



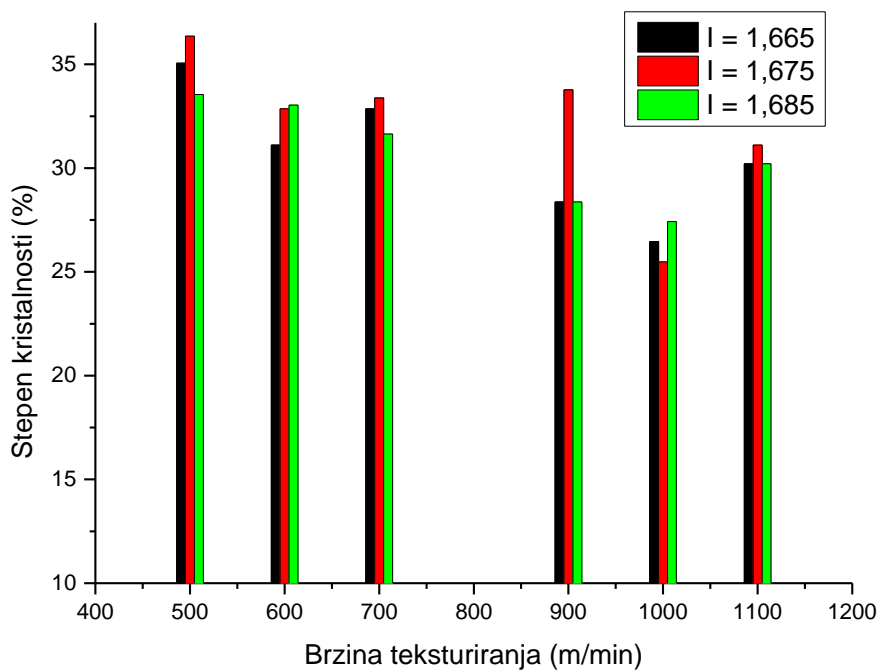
Slika 2.13. Uticaj brzine teksturiranja na stepen kristalnosti ($T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,15$)



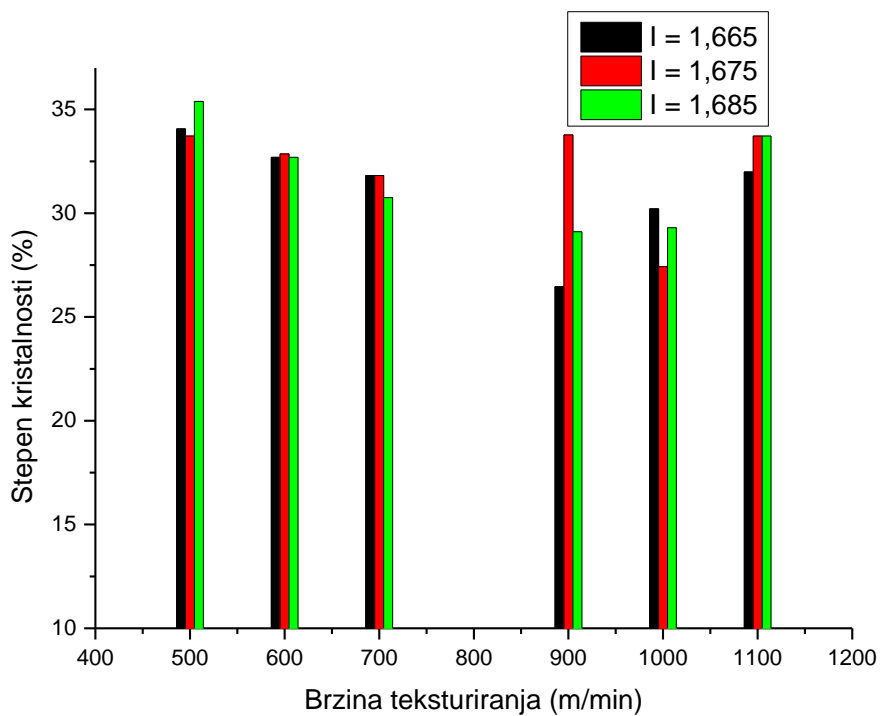
Slika 2.14. Uticaj brzine teksturiranja na stepen kristalnosti ($T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,20$)



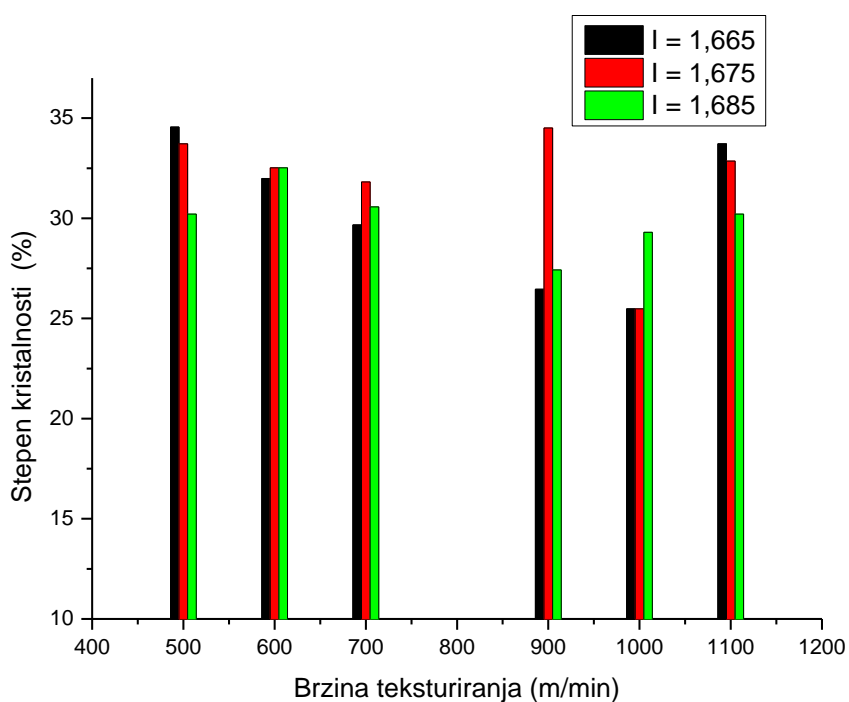
Slika 2.15. Uticaj brzine teksturiranja na stepen kristalnosti ($T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,25$)



Slika 2.16. Uticaj brzine teksturiranja na stepen kristalnosti ($T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,15$)

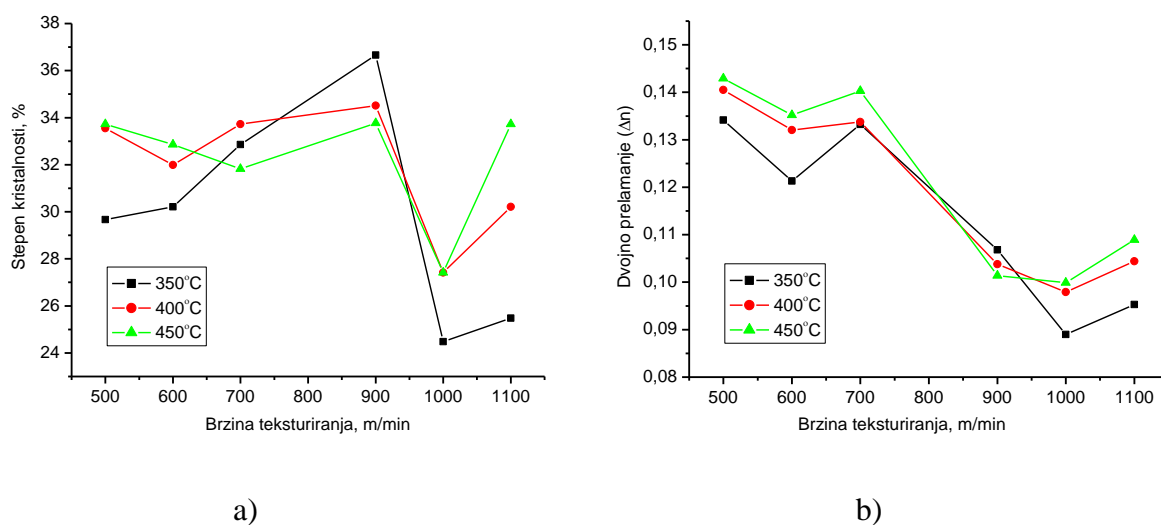


Slika 2.17. Uticaj brzine teksturiranja na stepen kristalnosti ($T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,20$)



Slika 2.18. Uticaj brzine teksturiranja na stepen kristalnosti ($T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,25$)

Stepen kristalnosti POY poliestarske pređe teksturirane lažnim upređanjem varirao je u opsegu od 24.48 do 36.66 %, zavisno od parametara procesa teksturiranja. Dobijeni rezultati su pokazali da brzina teksturiranja i temperatura grejača imaju veliki uticaj na stepen kristalnosti teksturiranih pređa, s obzirom da ova dva parametra utiču na temperaturu pređe i njenu ravnomernost u procesu teksturiranja. To se jasnije može videti na slici 2.19 na kojoj je prikazan uticaj brzine teksturiranja i temperature grejača na stepen kristalnosti teksturirane PES pređe, pri čemu su brzina teksturiranja i temperatura grejača varirani u opsegu od 500 m/min do 1100 m/min i 350°C do 450°C, respektivno, uz zadržavanje ostalih parametara procesa konstantnim.



Slika 2.19. Uticaj brzine teksturiranja i temperature grejača na: (a) stepen kristalnosti i (b) dvojno prelamanje teksturirane poliestarske pređe (stepen istezanja 1.675, D/Y odnos 2.20)

Uočava se da se stepen kristalnosti povećava sa povećanjem temperature grejača i brzine teksturiranja do 900 m/min. Posle dostizanja maksimalne vrednosti stepen kristalnosti opada i zatim, ponovo počinje da se povećava sa povećanjem brzine teksturiranja. Uočeno povećanje stepena kristalnosti pri manjim brzinama teksturiranja može se objasniti procesima rekristalizacije koji se odvijaju na povišenim temperaturama. Naime, sa povećanjem temperature pređe smanjuju se i slabe međumolekulske interakcije što za posledicu ima povećanje pokretljivosti i fleksibilnosti makromolekulskih lanaca i strukturnih elemenata, omogućavajući lakše stvaranje sređenih struktura - kristalita. Uočeno smanjenje stepena kristalnosti, nakon dostizanja maksimalne vrednosti, može se objasniti činjenicom da je POY poliestarska pređa u toku procesa teksturiranja lažnim upređanjem izložena dejstvu kako spoljašnjih sila istezanja i uvijanja, tako i unutrašnjem naprezanju, tj. kontrakciji usled relaksacionih procesa i povećane pokretljivosti molekula sa povećanjem temperature. Sposobnost pređe da se suprotstavi dejstvu ovih sila zavisi od promena u temperaturi pređe koje su određene brzinom teksturiranja i temperaturom grejača. Uticaj ova dva parametra na

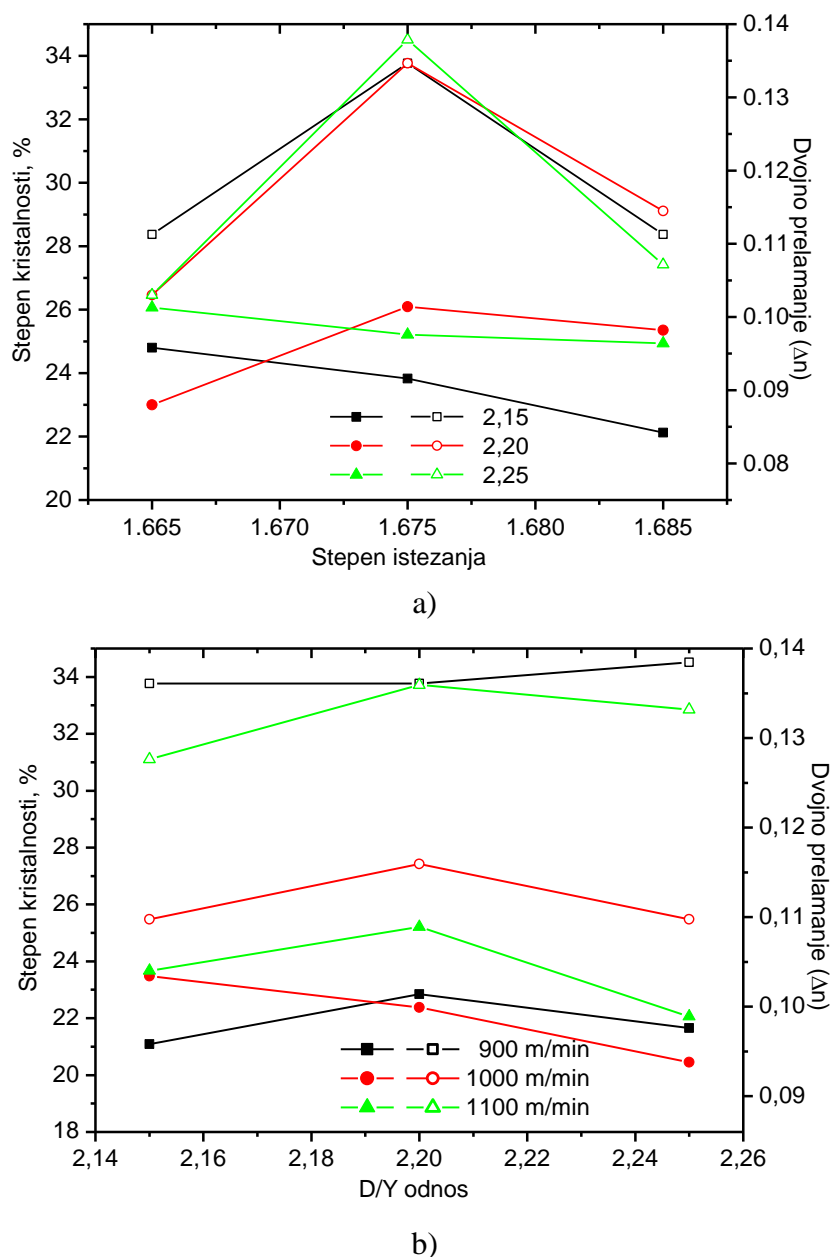
naprezanja u pređi je suprotan: povećanjem temperature teksturiranja lakše se raskidaju međumolekulske interakcije i materijal omekšava što za posledicu ima smanjenje naprezanja u pređi, dok povećanjem brzine teksturiranja povećavaju se i spoljašnje sile koje deluju na pređu i unutrašnje naprezanje u samom predivu koje se teksturira [10, 72].

Promene u sređenosti strukturnih elemenata, usled simultanog dejstva toplote, spoljašnjih sila (istezanja i uvijanja) i unutrašnjeg naprezanja (kontrakcija usled relaksacionih procesa i povećane pokretljivosti molekula sa povećanjem temperature) pored već pomenutih promena stepena kristalnosti, obuhvataju i promenu orijentisanosti strukturnih elemenata. U ovom radu stepen orijentisanosti je okarakterisan preko dvojnog prelamanja. Vrednosti dvojnog prelamanja poliestarske pređe teksturirane lažnim upređanjem prikazane su na slici 2.19.b. Dobijene vrednosti dvojnog prelamanja variraju u opsegu od 0,089 to 0,143, u zavisnosti od uslova teksturiranja. S obzirom da je dvojno prelamanje mera ukupne orijentisanosti, povećanje vrednosti dvojnog prelamanja pokazuje da se povećava i orijentisanost strukturnih elemenata u vlaknu; stepen orijentisanosti varira u opsegu od 0,371 do 0,595, u zavisnosti od parametara procesa teksturiranja. Iz dobijenih podataka jasno se vidi da se vrednosti dvojnog prelamanja povećavaju sa porastom temperature grejača. Ovo se objašnjava činjenicom da, kao i u slučaju povećanja stepena kristalnosti, sa povećanjem temperature povećava se i pokretljivost i fleksibilnost molekularnih lanaca i strukturnih elemenata, tako da se oni lakše orijentišu u polju sila zatezanja. Što se tiče uticaja brzine teksturiranja na vrednosti dvojnog prelamanja, povećanje brzine teksturiranja ima za posledicu kraći kontakt pređe i grejača, odnosno nižu temperaturu pređe, a samim tim i niže vrednosti dvojnog prelamanja i orijentisanosti teksturirane pređe. Izuzetak predstavlja pređa teksturirana pri najvećoj brzini teksturiranja, za koju je uočeno povećanje dvojnog prelamanja i orijentisanosti. Ovo se može objasniti, pored pomenutog uticaja temperature, i uticajem torzionog napona koji podstiče smanjenje orijentacije makromolekularnih lanaca, i naprezanja na zatezanje koje potpomaže orijentisanje kristalnih i amorfni oblasti u vlaknima/filamentu [5, 7]. Sumarno, POY PET pređa teksturirana pri najnižoj brzini teksturiranja (tj. 500 m/min) i najvišoj temperaturi (450°C) pokazuje najveće dvojno prelamanje i samim tim najveću orijentisanost, najverovatnije zbog činjenice da pri visokoj temperaturi i maloj brzini teksturiranja segmenti makromolekula imaju veliku pokretljivost i dovoljno vremena za orijentisanje pod dejstvom naprezanja na zatezanje.

Variranjem stepena istežanja i D/Y odnosa moguće je dodatno uticati na strukturu teksturirane pređe, a samim tim i na njena svojstva. Stepem variranja ova dva parametra bio je ograničen očuvanjem stabilnosti procesa teksturiranja na industrijskoj mašini za teksturiranja: stepen istežanja variran je u opsegu od 1,665 do 1,685, a D/Y odnos u opsegu od 2,15 do 2,25. Dobijeni rezultati (slike 2.13 - 2.18) su pokazali da male promene stepen istežanja (od 1,665 do 1,685) i D/Y odnosa

(od 2,15 do 2,25) imaju najveći uticaj na stepen kristalnosti poliestarske pređe teksturirane pri brzini teksturiranja 900 m/min i nešto manji u slučaju pređe teksturirane brzinom od 1000 m/min.

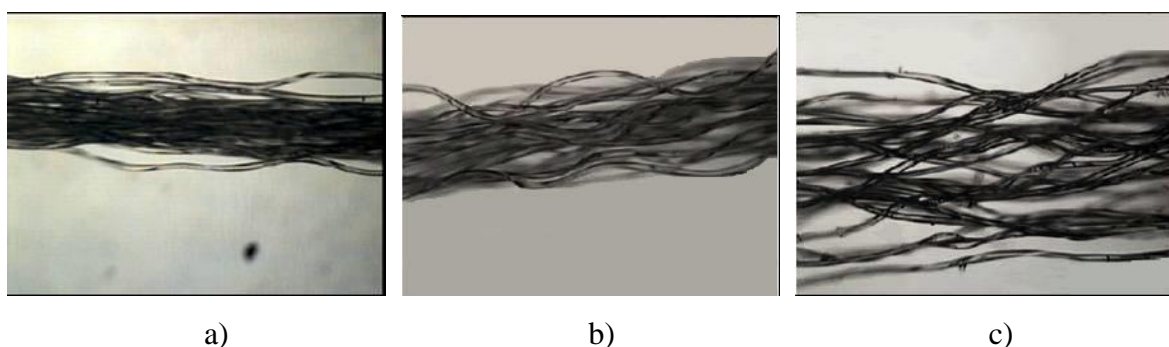
Uticaj promene ova dva parametra na strukturu, tj. stepen kristalnosti i dvojno prelamanje, poliestarske pređe teksturirane pri velikim brzinama teksturiranja (900-1100 m/min) prikazan je na slici 2.20.



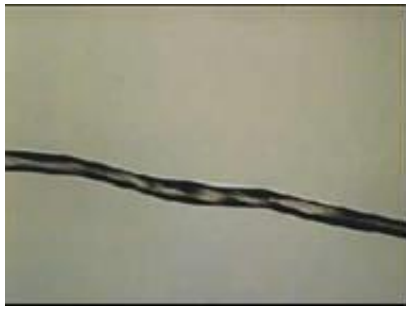
Slika 2.20. (a) Uticaj stepena istežanja i D/Y odnosa na stepen kristalnosti (prazan simbol) i dvojno prelamanje (pun simbol) teksturirane poliestarske pređe (temperatura grejača 450°C, brzina teksturiranja 900 m/min); i (b) Uticaj brzine teksturiranja i D/Y odnosa na stepen kristalnosti (prazan simbol) i dvojno prelamanje (pun simbol) teksturirane poliestarske pređe (temperatura grejača 450°C, stepen istežanja 1,675)

Stepen kristalnosti se menjao u opsegu od 26,46 do 34,51%, dok se dvojno prelamanje menjalo u opsegu od 0,0842 do 0,1089, zavisno od promene parametara procesa teksturiranja. Povećanjem stepena istezanja povećava se naprezanje na zatezanje koje se generiše u pređi, dok povećanje D/Y odnosa koje je posledica bržeg rotiranja diska znači veći broj uvoja koji se zadaje pređi [5]. Takođe, pri malim vrednostima D/Y, naprezanje pređe pre i posle jedinica za upredanje je veoma veliko, što za posledicu može imati oštećenje pređe [8]. Na slici 2.20.a vidi se uticaj stepena istezanja na stepen kristalnosti i orijentisanosti teksturirane pređe. Treba napomenuti da variranje D/Y odnosa ima uticaj na pomenuta dva strukturna parametra, slika 2.20.b.

Ispitivanje morfoloških karakteristika pređa/filamentnih niti, otkrilo je postojanje različite kovrdžavosti pojedinačnih filamenata (slika 2.21.a-c), relativno prave i deformisane samo torzionom silom (uvijene oko sopstvene ose) delove filamentnih niti koji se nalaze duž ose pređe (slika 2.22.a), zatim pljosnate i/ili slepljene filamentne niti (slika 2.22.b-d), kao i neravnomernost oblika poprečnog preseka teksturiranih filamentnih niti (slika 2.22.e-h). Uočene morfološke nehomogenosti mogu se objasniti činjenicom da teksturiranje multifilamentne pređe sa velikim brojem pojedinačnih filamentnih niti ima za posledicu dobijanje kompaktnijeg i gušćeg snopa filamenata na ulasku u grejač čime se sprečava migracija pojedinačnih niti, u okviru upredenog snopa filamenata, u zoni teksturiranja, što dovodi do neravnomerne raspodele temperature (temperaturni gradijent) po poprečnom preseku filament pređe (filamentne niti sa spoljašnje strane snopa primice više toplote od niti u unutrašnjem delu snopa) i asimetrične raspodele sila na zatezanje i upredanje, a samim tim utiče i na kovrdžavost i ravnomernost poprečnog preseka pojedinačnih niti [5, 7].



**Slika 2.21. Podužni izgled pređe teksturirane pri brzini teksturiranja od 700 m/min, stepenu istezanja 1.665, D/Y odnosu 2.15 i temperaturi grejača:
a) 450 °C; b) 400 °C; c) 350 °C (uvećanje 40x)**



a)



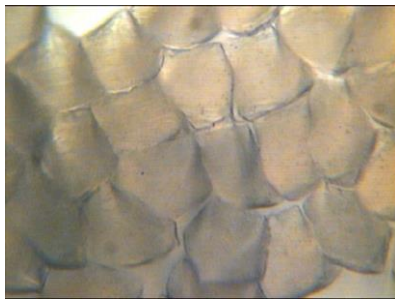
b)



c)



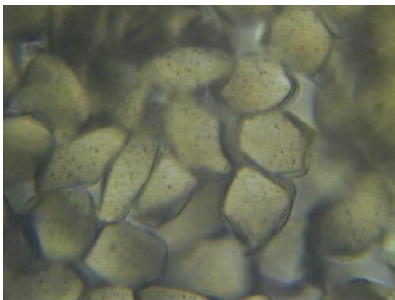
d)



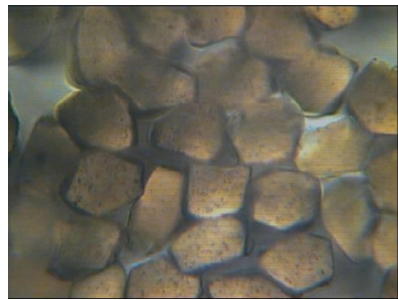
e)



f)



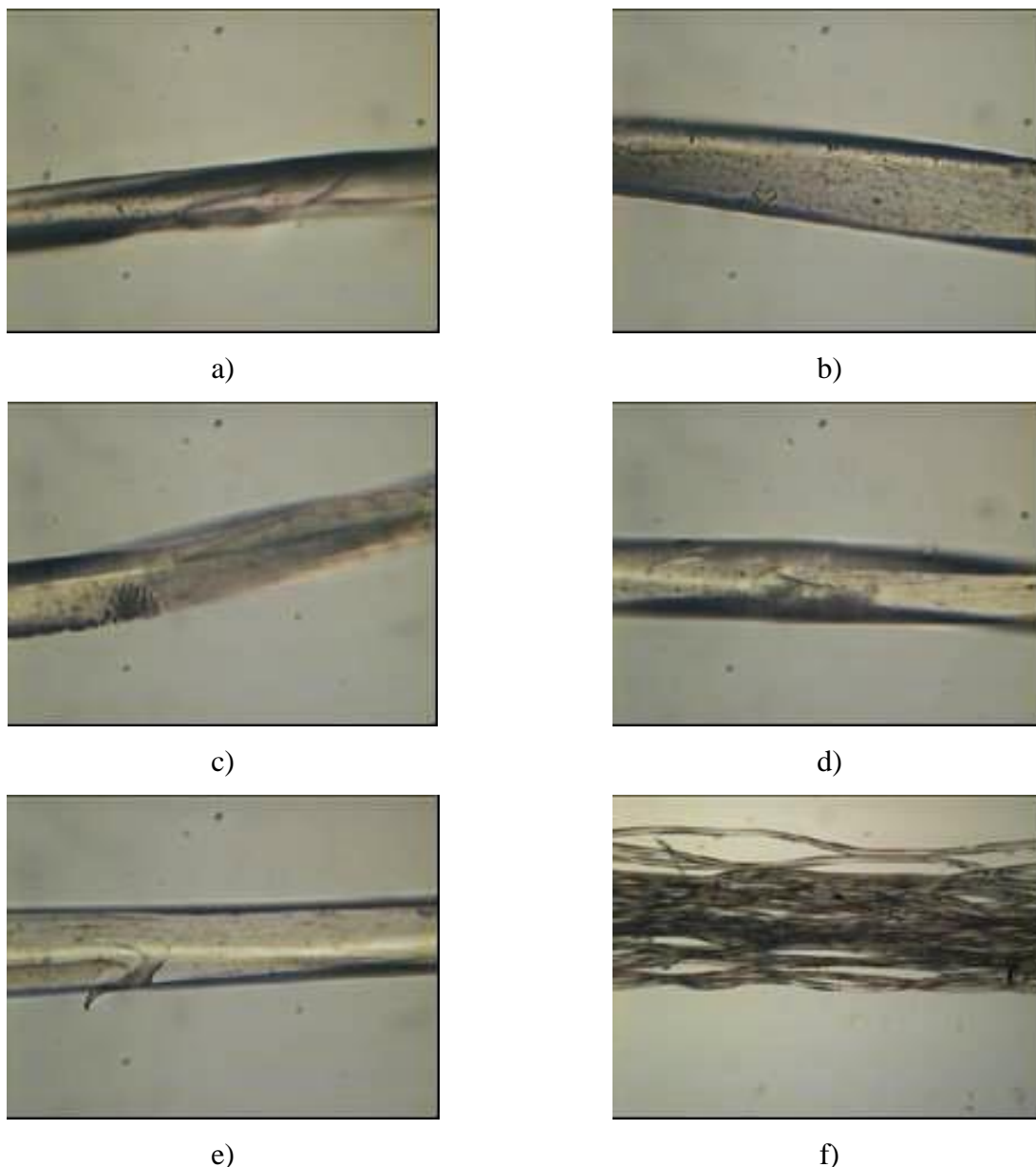
g)



h)

Slika 2.22. Podužni izgled (a-b) pojedinačnih niti filameta teksturiranog pri brzini od 700 m/min, temperaturi grejača 350 °C, stepenu istezanja 1.685, D/Y odnosu 2.25 (uvećanje 100x i 400x); (c) pojedinačni filament teksturiran pri brzini od 600 m/min, temperaturi grejača 350 °C, stepenu istezanja 1.685, D/Y odnosu 2.25 (uvećanje 100x); (d) pojedinačni filament teksturiran pri brzini od 500 m/min, temperaturi grejača 400 °C, stepenu istezanja 1.685, D/Y odnosu 2.25 (uvećanje 400x); (e) poprečni presek pređe teksturirane pri brzini od 600 m/min, temperaturi grejača 400 °C, stepenu istezanja 1.665, D/Y odnosu 2.25 (uvećanje 400x); (f) poprečni presek pređe teksturirane pri brzini od 600 m/min, temperaturi grejača 350 °C, stepenu istezanja 1.675, D/Y odnosu 2.25 (uvećanje 400x); (g) poprečni presek pređe teksturirane pri brzini od 500 m/min, temperaturi grejača 350 °C, stepenu istezanja 1.675, D/Y odnosu 2.25 (uvećanje 400x); i (h) poprečni presek pređe teksturirane pri brzini od 500 m/min, temperaturi grejača 450 °C, stepenu istezanja 1.675, D/Y odnosu 2.25 (uvećanje 400x)

Oštećenja filamentnih niti (npr. pljosnate i spleljene niti filameta), uglavnom uočene u toku teksturiranja na višim temperaturama i manjim brzinama teksturiranja, uglavnom se javljaju kod filamentnih niti koje se nalaze na spoljašnjoj strani upredenog snopa kao posledica njihove duže izloženosti visokim temperaturama HT grejača. Slika 2.22.e-h pokazuje odstupanje oblika poprečnog preseka teksturirane filamentne pređe, od kružnog oblika polaznog POY filameta. Poligonalni ili elipsasti oblik poprečnog preseka filameta posledica je njegovog deformisanja u jedinici za upredanje, i u značajnoj meri promeniće optička svojstva teksturirane filament pređe.



Slika 2.23. (a-b) Podužni izgled pojedinačnih niti filameta teksturiranog pri brzini od 1000 m/min, temperaturi grejača 350 °C, stepenu istezanja 1.685, D/Y odnosu 2.2 (uvećanje 400x); (c-e) Podužni izgled pojedinačnih niti filameta teksturiranog pri brzini od 1100 m/min, temperaturi grejača 350 °C, stepenu istezanja 1.685, D/Y odnosu 2.2 (uvećanje 400x); (f) Podužni izgled pređe teksturirane pri brzini teksturiranja od 1100 m/min, stepenu istezanja 1.685, D/Y odnosu 2.15 i temperaturi grejača 350 °C (uvećanje 40x)

Takođe, treba istaći da su, pri nižim temperaturama i većim brzinama tekstuiranja, uočena oštećenja površine filamentnih niti (slika 2.23.a-e), kao i da je dolazilo do prekida pojedinačnih filamentnih niti (slika 2.23.f). S druge strane, pri većim brzina (iznad 900 m/min) i višim temperaturama (450°C) tekstuiranja došlo je do pojave depozita na vlaknima, slika 2.24. Depozit, koji se formira usled kombinovanog dejstva toplote i abrazije na površinu filamentnih niti, sastoji se od niskomolekulskih frakcija polimera (oligomeri) i preparacije, a njegova pojava ukazuje da je u procesu tekstuiranja došlo do promena/oštećenja na površini filamentnih niti što se može nepovoljno odraziti na mehanička svojstva tekstuirane pređe.



a)



b)

Slika 2.24. (a) Prisustvo depozita na površini filamentnih niti tekstuiranih pri brzini od 1000 m/min, temperaturi grejača 450 °C, stepenu istezanja 1.675, D/Y odnosu 2.2 (uvećanje 400x); (a-b) Prisustvo depozita na površini filamentnih niti tekstuiranih pri brzini od 1100 m/min, temperaturi grejača 450 °C, stepenu istezanja 1.675, D/Y odnosu 2.2 (uvećanje 400x)

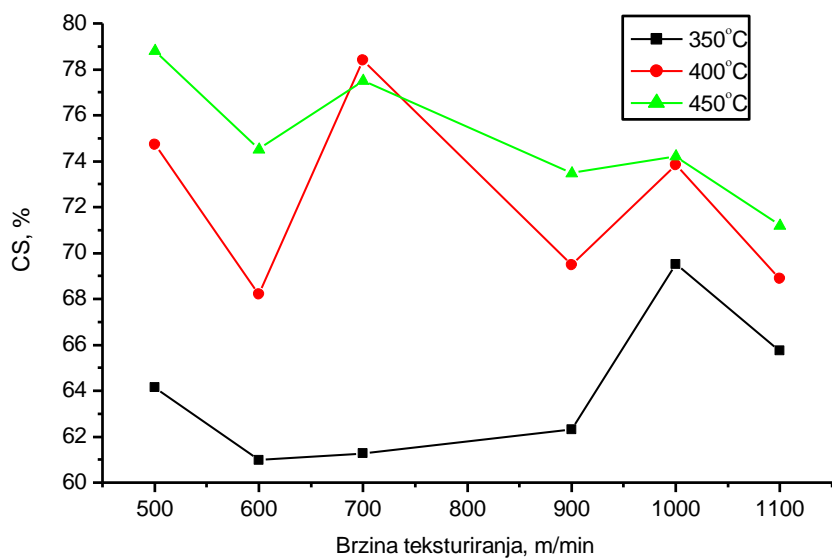
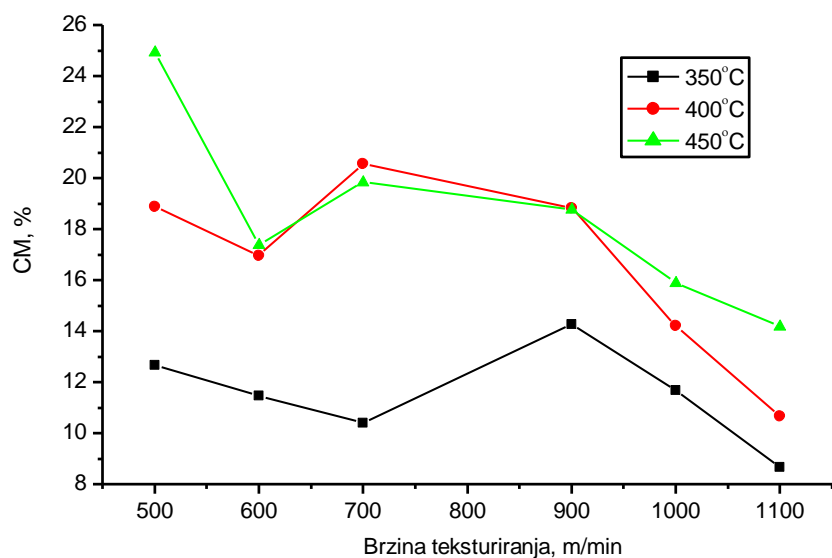
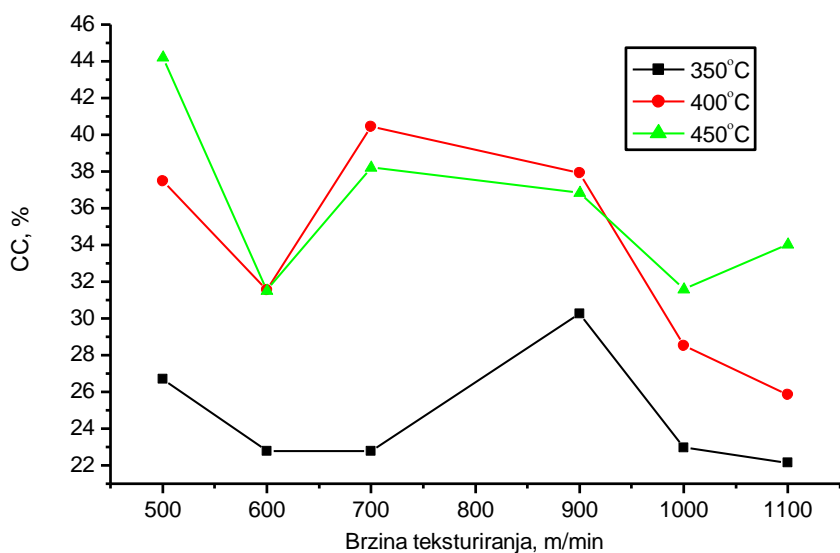
S obzirom da je tekstuiranje multiparametarski proces, a da parametri tekstuiranja poliestarskog filameta znatno utiču na njegovu strukturu, i samim tim na njegovo ponašanje tokom dalje obrade, pri čemu sve greške i neravnomernosti nastale u procesu tekstuiranja postaju lako uočljive u gotovim proizvodima, dobijeni rezultati mogu poslužiti za izbor optimalnih parametara tekstuiranja sa ciljem da se utiče na vrednost stepena kristalnosti i orijentisanosti, ali i morfološke karakteristike tekstuirane PES filamentne pređe. Tim pre što u literaturi nema mnogo podataka o frikcionom tekstuiranju lažnim upređanjem delimično orijentisanog PES filameta i uticaju parametara procesa na strukturu tekstuiranih pređa. Dostupni podaci se uglavnom odnose na proučavanje uticaja temperature grejača i brzine tekstuiranja u procesu tekstuiranja u laboratorijskim uslovima [8, 9, 10], ili na tekstuiranje istegnutog poliestarskog filameta koji se odlikuje stabilnom strukturom i manje je osetljiv na promene parametara procesa tekstuiranja [11, 12], kao i korišćenjem različitih postupaka tekstuiranja [12, 13, 14]. Takođe, pored toga što se većina prethodnih istraživanja odnosila na tekstuiranje pri brzinama do 700 m/min i korišćenje

konvencionalnih dugih grejača [5], u dostupnoj literaturi nisu pronađeni podaci o uticaju stepena istežanja i D/Y odnosa na strukturu teksturiranih pređa.

2.5. Uticaj parametara teksturiranja na karakteristike kovrdžavosti teksturirane poliestarske pređe

2.5.1. Uticaj temperature grejača i brzine teksturiranja na karakteristike kovrdžavosti teksturirane poliestarske pređe

Prethodno diskutovano postojanje različite kovrdžavosti pojedinačnih filamenata unutar teksturirane pređe, kao i promene u strukturi polimera i filament pređe nastale u procesu teksturiranja, utiču na svojstva kovrdžavosti teksturirane pređe. S obzirom da su karakteristike kovrdžavosti mera stabilnosti strukture i relaksacije naprežanja zaostalog u pređi iz prethodnih etapa proizvodnje, a koje utiču na ponašanje teksturirane pređe u toku dalje prerade (pletenje, snovanje, tkanje ili taftovanje), njihovim poznavanjem moguće je predvideti ponašanje teksturirane pređe u toku procesa izrade tekstilnih površina i naknadne dorade [5, 7]. Rezultati dobijeni za stepen kovrdžavosti, definisan kao smanjenje dužine teksturirane filament pređe usled razvoja kovrdžavosti i njegove kovrdžave strukture; karakteristične kovrdžavosti, definisane kao izduženje teksturirane pređe u granicama elastičnosti kovrdža; i stabilnosti kovrdža definisane kao odnos dužina kanure pređe pre i posle definisanog opterećenja; prikazani su na slici 2.25. Dobijeni rezultati pokazuju da se stepen kovrdžavosti, karakteristična kovrdžavost i stabilnost kovrdža povećavaju sa povećanjem temperature grejača, a da se smanjuju sa povećanjem brzine teksturiranja, što se može objasniti nestabilnošću pređe i samnjenjem orijentisanosti. Takođe, odsustvo jasne korelacije između karakteristika kovrdžavosti i brzine teksturiranja može se objasniti različitim tipovima naprežanja kojima je izložena upredena pređa: naprežanje na zatezanje iznad temperature ostakljivanja smanjuje pokretljivost makromolekula pa samim tim smanjuje sposobnost pređe da relaksira unutrašnja naprežanja u toku procesa teksturiranja; uvijanje tj. upredanje filamentnih niti duž ose pređe, kao što je već rečeno, ima za posledicu relativno prave filamentne niti deformisane samo torzionom silom tj. uvijene oko sopstvene ose; i na kraju, deformisanje savijanjem dovodi do spiralnog uvijanja filamentnih niti oko ose pređe [73].



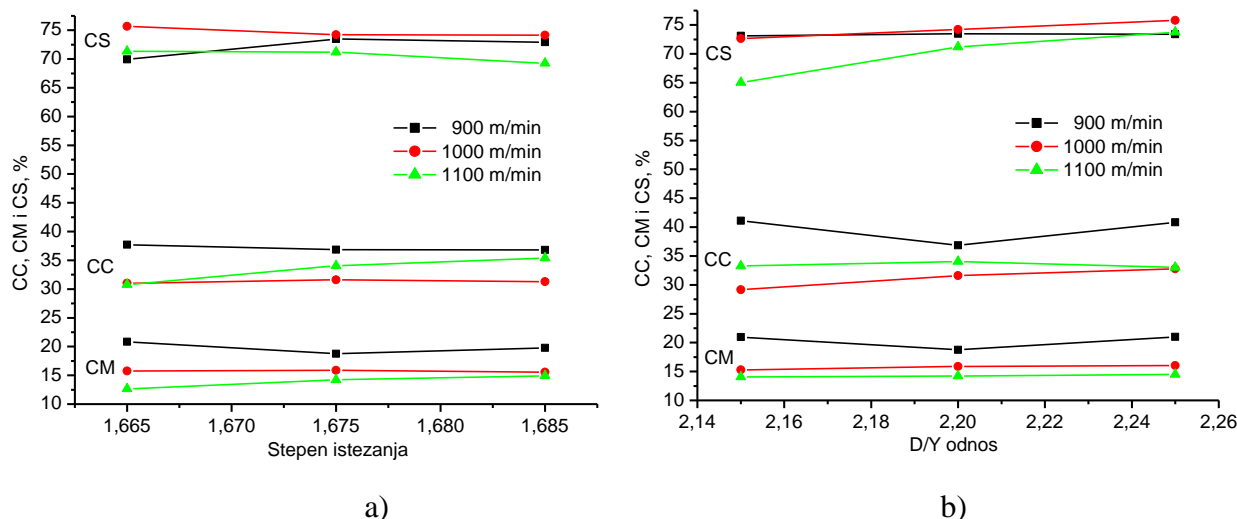
Slika 2.25. Uticaj brzine teksturiranja i temperature grejača na stepen kovrdžavosti, karakterističnu kovrdžavost i stabilnost kovrdža teksturirane poliestarske pređe (stepen istezanja 1.675, D/Y odnos 2.20)

Rezultati dobijeni u ovoj seriji eksperimenata, koji su imali za cilj dobijanje teksturirane poliestarske pređe zadovoljavajućeg kvaliteta i uspostavljanje stabilnog procesa teksturiranja pri značajno većim brzinama teksturiranja (do 1100 m/min) u odnosu na standardne brzine teksturiranja (do 700 m/min) koje se koriste za preradu pređe ispitivane finoće, jasno su pokazali da se sa povećanjem temperature grejača (od 350°C do 450°C), može dobiti teksturirana poliestarska pređa sa poboljšanim karakteristikama kovrdžavosti (tj. povećanim CC, CM i CS parametrima).

2.5.2. Uticaj stepena istezanja i D/Y odnosa na karakteristike kovrdžavosti teksturirane poliestarske pređe

Istraživanje je usmereno i na proučavanje uticaja malih promena parametara procesa teksturiranja (stepen istezanja i D/Y odnos) na karakteristike kovrdžavosti poliestarske filament pređe teksturirane pri većim brzinama teksturiranja (900-1100 m/min), kao i ispitivanju mogućnosti za unapređenje svojstava teksturirane pređe variranjem ova dva parametra. Stepem variranja ova dva parametra bio je ograničen očuvanjem stabilnosti procesa teksturiranja na industrijskoj mašini za teksturiranje: stepen istezanja variran je u opsegu od 1,665 do 1,685, a D/Y odnos u opsegu od 2,15 do 2,25, dok su ostali parametri procesa teksturiranja bili konstantni.

Prethodno razmatrane promene u strukturi polimera i filament pređe, do kojih dolazi u procesu teksturiranja, imaju neočekivano mali efekat na karakteristike kovrdžavosti teksturirane pređe, kao što je prikazano na slici 2.26. Prema podacima iz literature [5], povećanje orijentisanosti polimera/vlakana ima za posledicu smanjenu sposobnost polimernih lanaca za izvijanje i deformisanje u frikcionoj jedinici, pa samim tim i smanjen stepen kovrdžavosti koji se može zadati pređi. Važno je napomenuti da se povećanje stepena istezanja može iskoristiti za povećanje stepena kovrdžavosti, dok se povećanje D/Y odnosa može iskoristiti za povećanje stabilnosti kovrdža prediva teksturiranog pri najvećim brzinama teksturiranja, korišćenim u ovom istraživanju. Uzevši u obzir sve navedeno, optimalni parametri procesa teksturiranja moraju se izabrati kao kompromisno rešenje imajući u vidu brzinu teksturiranja i karakteristike kovrdžavosti teksturirane pređe. Dobijeni rezultati su pokazali da se delimično orijentisana poliesterska pređa, korišćena u ovom radu, može teksturirati pri značajno većim brzinama teksturiranja (do 1100 m/min) u odnosu na standardne brzine teksturiranja (do 700 m/min) koje se koriste za preradu pređa ispitivane finoće.

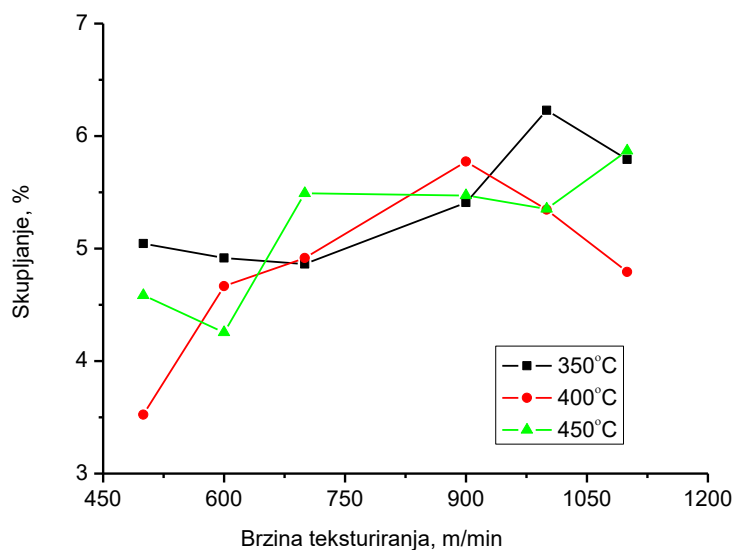


Slika 2.26. (a) Uticaj brzine teksturiranja i stepena istezanja na stepen kovrdžavosti, karakterističnu kovrdžavost i stabilnost kovrdža teksturirane poliestarske pređe (temperatura grejača 450°C, D/Y odnos 2,20); i (b) Uticaj brzine teksturiranja i D/Y odnosa na stepen kovrdžavosti, karakterističnu kovrdžavost i stabilnost kovrdža teksturirane poliestarske pređe (temperatura grejača 450°C, stepen istezanja 1,675)

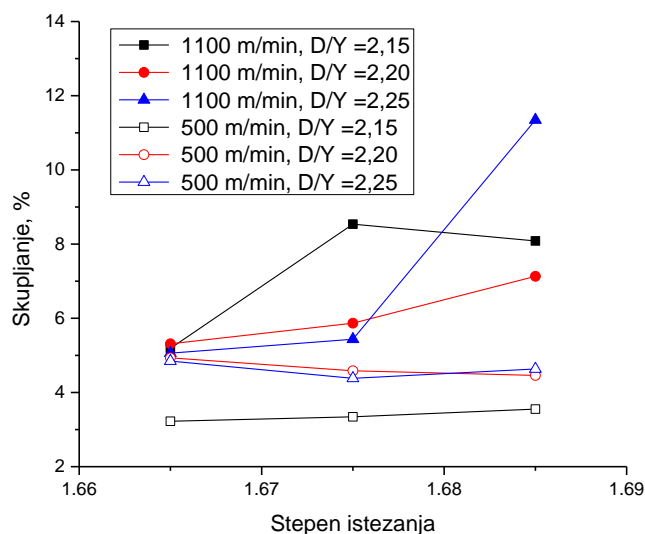
2.6. Uticaj parametara teksturiranja na skupljanje teksturirane PES filamentne pređe

Skupljanje teksturirane PES filamentne pređe je mera stabilnosti strukture i relaksacije zaostalih napona u pređi iz prethodnih proizvodnih stadijuma. Ovo svojstvo je značajno za estetski izgled i ponašanje pređe u toku dalje prerade i kasnije eksploatacije. Uticaj brzine teksturiranja i temperature grejača na skupljanje PES pređe teksturirane lažnim upredanjem, prikazan je na slici 2.27. Skupljanje teksturirane PES pređe variralo je u opsegu od 3,52 do 6,23 %, zavisno od parametara procesa teksturiranja, pri čemu je uočeno blago povećanje skupljanja sa povećanjem brzine teksturiranja. Sa druge strane, nepostojanje jasne korelacije između skupljanja teksturirane pređe i temperature prvog grejača nije u skladu sa rezultatima Canoglu i Yildirim [73, 49], da se sa povećanjem temperature prvog grejača skupljanje smanjuje, kao posledica povećanja stepena kristalnosti i smanjenja stepena orijentacije amorfnih područja. Ovo, na prvi pogled, neslaganje eksperimentalnih rezultata sa podacima iz literature može se objasniti činjenicom da su u pomenutim istraživanjima temperature prvog grejača bile znatno niže (150-230°C [49], odnosno 175-205°C [73] od temperatura korišćenih u okviru ovih istraživanja (350-450°C), kao i da su zavisnosti stepena kristalnosti i orijentisanosti od brzine i temperature teksturiranja, dobijene u ovom radu (slika 2.19), delimično suprotnih tendencija, što njihov uticaj na skupljanje teksturirane pređe čini kompleksnijim. Ispitivanje uticaja stepena istezanja i D/Y odnosa na skupljanje

teksturirane PES filamentne pređe, pokazalo je da pri nižim brzinama teksturiranja, variranje ova dva parametra ne izaziva značajne promene u skupljanju pređe, dok pri velikim brzinama teksturiranja povećanje oba parametra praćeno je povećanim skupljanjem pređe (slika 2.28). Ovo pokazuje da se pri nižim brzinama teksturiranja, dobija stabilna struktura teksturirane pređe, koju karakteriše visok stepen kristalnosti i orijentisanosti (slika 2.19). Detaljnija analiza uticaja stepena kristalnosti na skupljanje teksturirane PES filamentne pređe, koja je teksturirana pri konstantnoj temperaturi prvog grejača i D/Y odnosa (slika 2.29), jasno pokazuje trend smanjenja skupljanja teksturiranih PES filamentnih pređa sa porastom stepena kristalnosti.

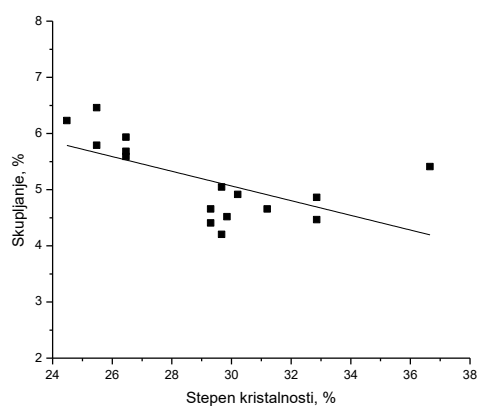


Slika 2.27. Uticaj brzine teksturiranja i temperature grejača na skupljanje teksturirane poliestarske pređe (stepen istezanja 1.675, D/Y odnos 2.20)

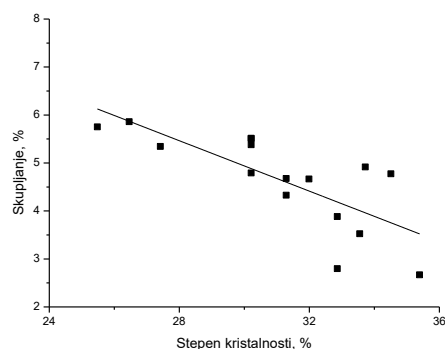


Slika 2.28. Uticaj stepena istezanja i D/Y odnosa na skupljanje teksturirane poliestarske pređe (temperatura grejača 450°C)

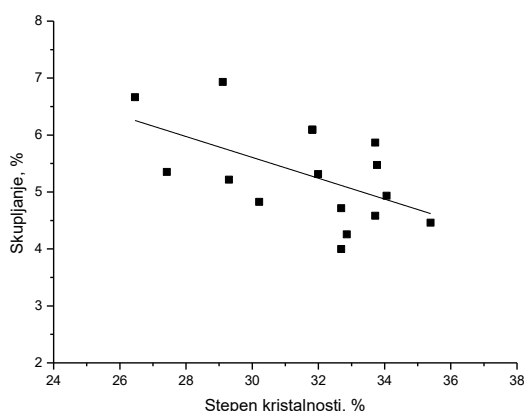
S obzirom da su pri većim brzinama teksturiranja dobijene pređe sa većim skupljanjem, odnosno manje stabilnom strukturom, kako zbog manjeg stepena kristalnosti (slika 2.29) i orijentisanosti, tako i zbog nedovoljnog vremena za relaksaciju unutrašnjih naprezanja u pređi indukovanih samim procesom teksturiranja, veoma je važno obratiti pažnju na temperaturu sekundarnog grejača i njen uticaj na skupljanje teksturirane pređe. Naime, skupljanje teksturirane pređe je određeno ukupnom količinom toplote koju pređa primi od oba grejača, primarnog i sekundarnog [5]. Imajući u vidu da temperatura primarnog grejača ima veliki uticaj na stabilnost procesa teksturiranja (homogenost oblika poprečnog preseka filamentnih niti u pređi, prekide pojedinačnih filamentnih niti, prekide pređe, sposobnost i ravnomernost obojenja), mogućnosti za variranje temperature primarnog grejača su uslovljene stabilnošću samog procesa teksturiranja i postizanjem ravnomernog obojenja teksturiranog prediva. Stoga se variranjem temperature sekundarnog grejača, koje nije bilo predmet ove disertacije s obzirom na i onako obiman eksperimentalni materijal, koristi za podešavanje/regulisanje skupljanja teksturirane pređe.



a)



b)



c)

Slika 2.29. Uticaj stepena kristalnosti na skupljanje teksturirane poliestarske pređe, D/Y odnos 2.20, temperatura grejača: a) 350 °C; b) 400 °C; c) 450 °C

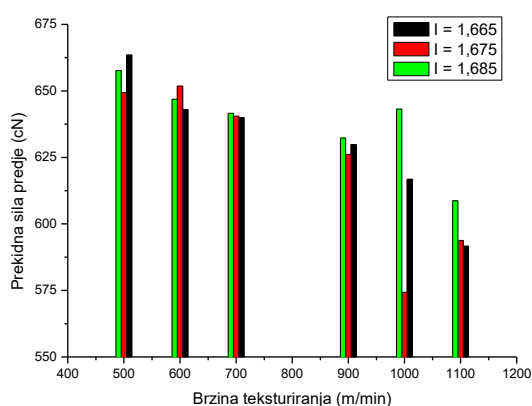
2.7. Uticaj parametara teksturiranja na mehanička svojstva

PES filamentne pređe

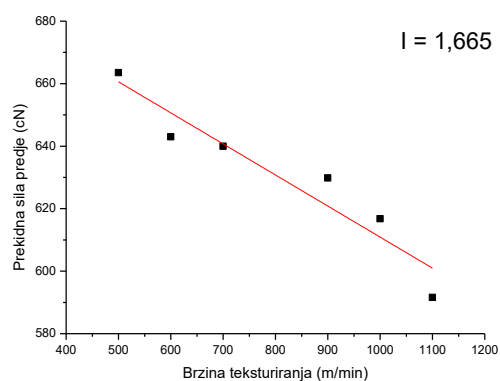
2.7.1. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu PES filamentne pređe

Brzina teksturiranja prouzrokuje promene u strukturi filamentnih PES pređa, koje utiču na mehaničke karakteristike ovih pređa. Promenom brzine teksturiranja utiče se na vreme kontakta pređe i grejača, vreme hlađenja i stabilizacije teksturiranih PES pređa.

Na slikama 2.30 do 2.38 prikazane su promene prekidnih karakteristika teksturiranih filamentnih PES pređa pri različitim brzinama teksturiranja, temperaturama prvog grejača i količnika D/Y.

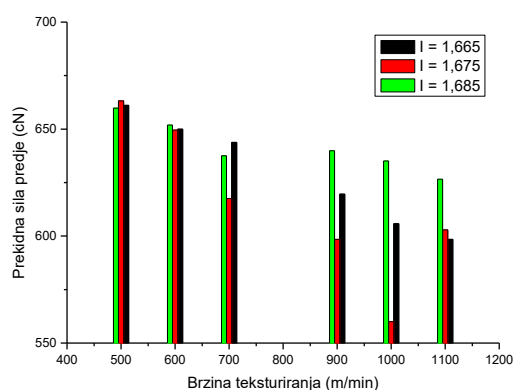


a)

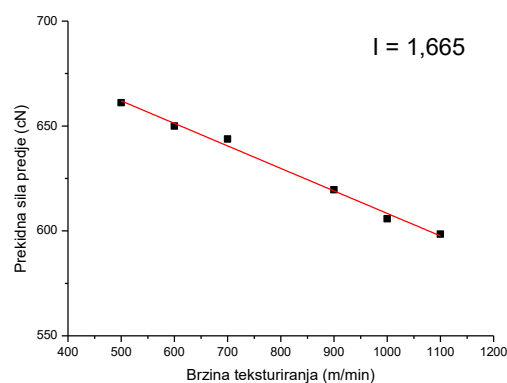


b)

Slika 2.30. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu pređe (Uzorci 1-18; $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,15$)

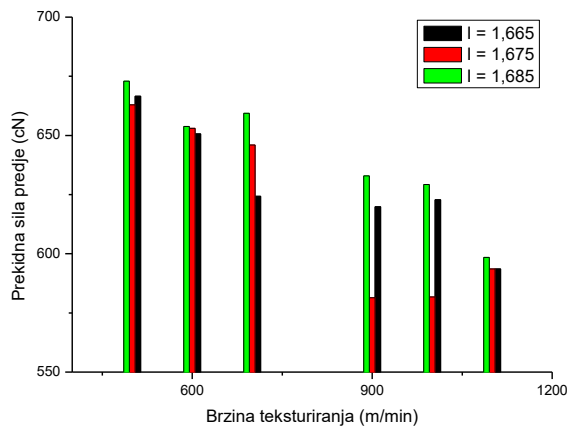


a)

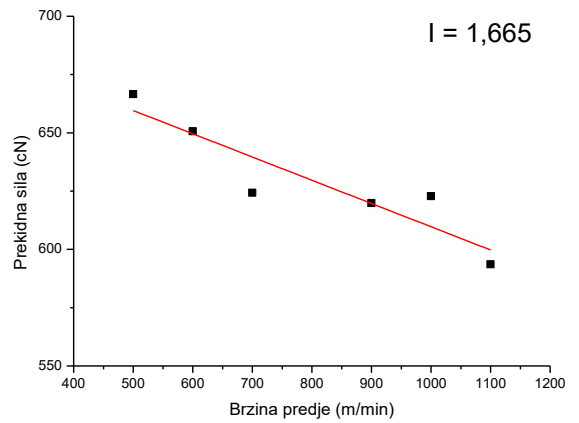


b)

Slika 2.31. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu pređe (Uzorci 19-16; $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,20$)

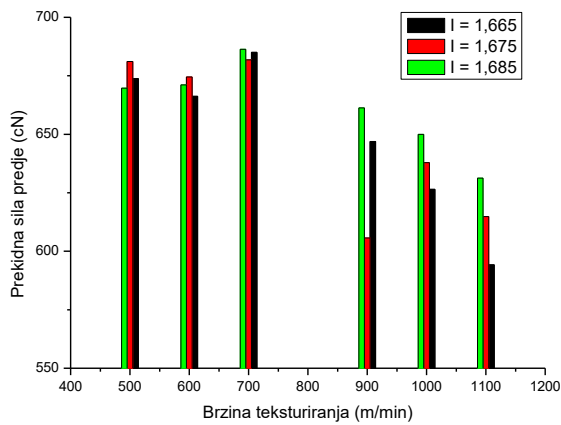


a)

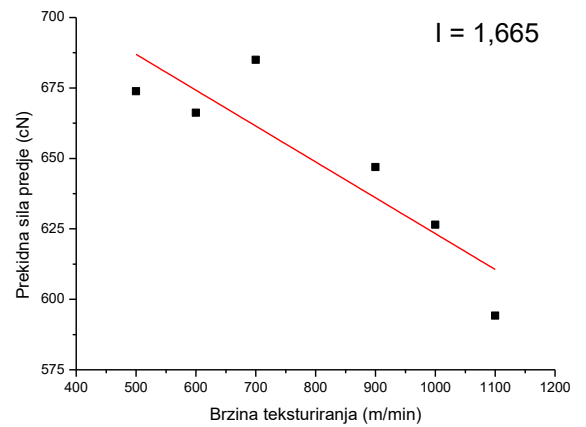


b)

Slika 2.32. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu pređe
(Uzorci 37-54; $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,25$)

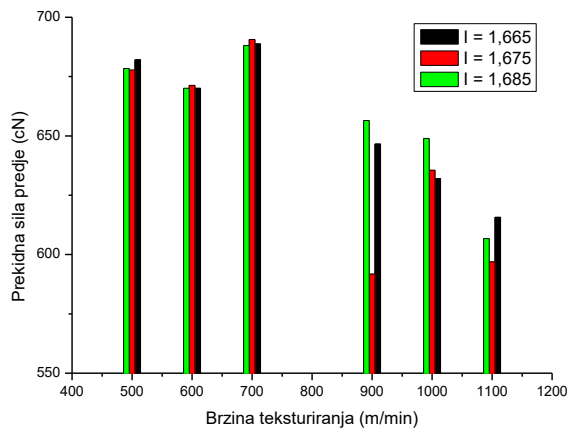


a)

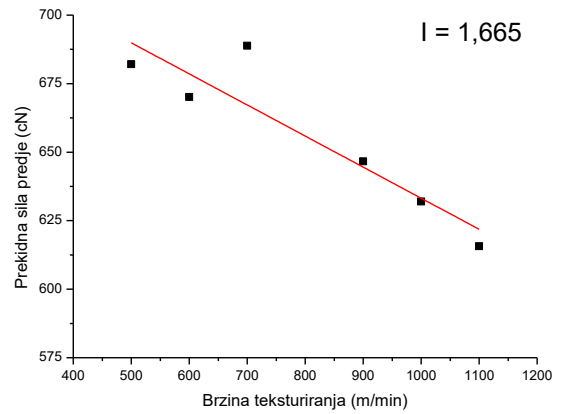


b)

Slika 2.33. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu pređe
(Uzorci 55-72; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,15$)

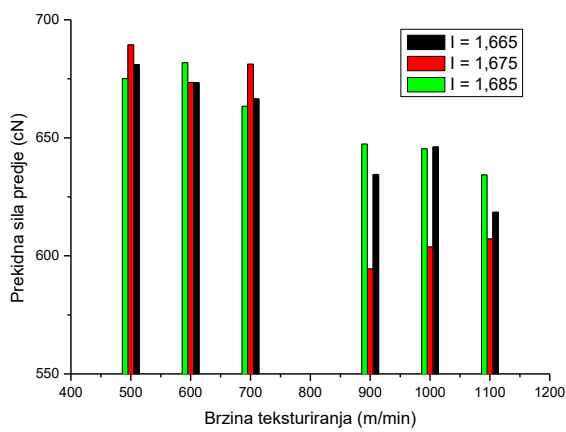


a)

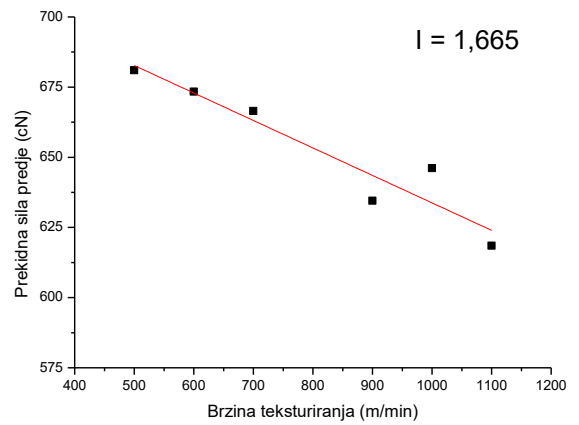


b)

Slika 2.34. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu prede
(Uzorci 73-90; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,20$)

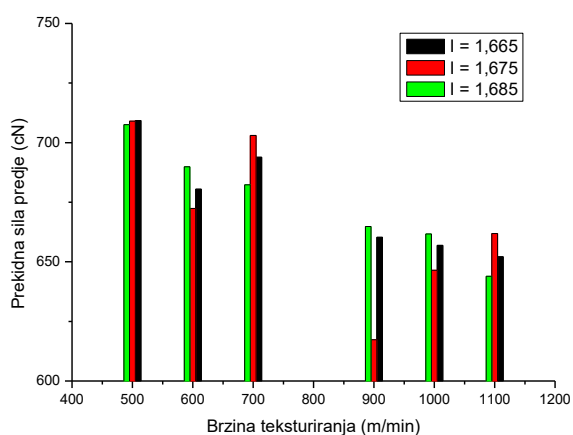


a)

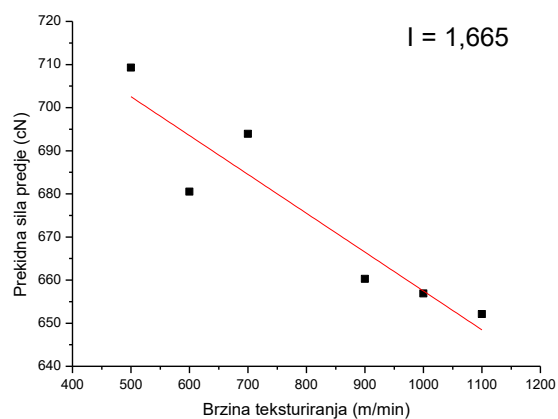


b)

Slika 2.35. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu prede
(Uzorci 91-108; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,25$)

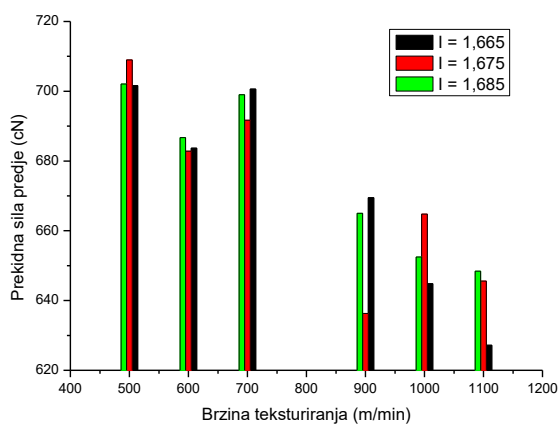


a)

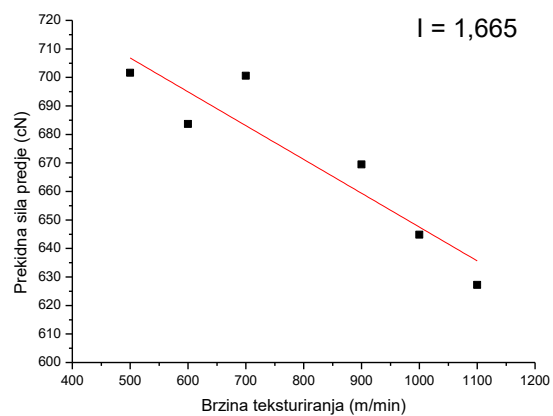


b)

Slika 2.36. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu prede
(Uzorci 109-126; $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,15$)

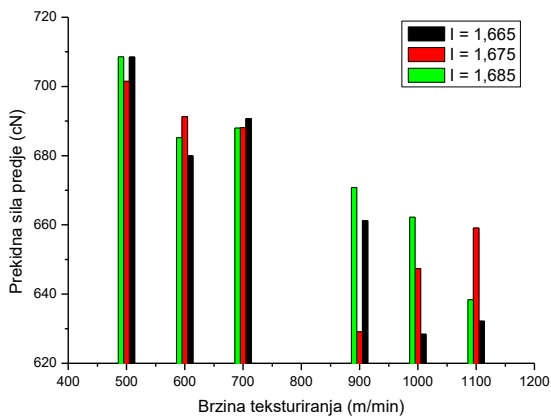


a)

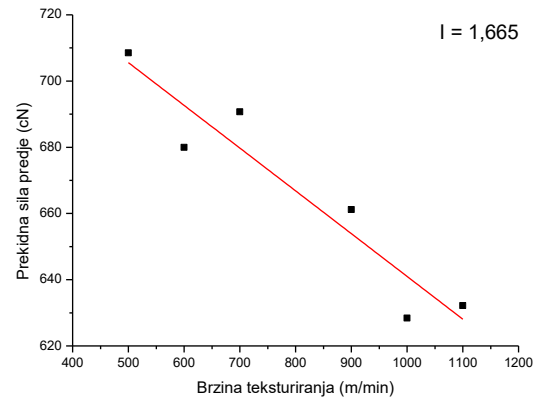


b)

Slika 2.37. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu prede
(Uzorci 127-144; $T=450\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y=2,20$)



a)



b)

Slika 2.38. Uticaj brzine teksturiranja na prekidnu silu prede
(Uzorci 145-162; $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,25$)

Rezultati pokazuju da se sa porastom brzine teksturiranja zapaža trend smanjenja vrednosti prekidnih sila analiziranih pređa. Primenom stepena istežanja od 1,675 u najvećem broju slučajeva, zapaža se tendencija smanjenja prekidne sile sa povećanjem brzine teksturiranja do 900 m/min, a zatim se uočava trend rasta prekidne sile.

Istovremeno na slikama 2.30.a do 2.38.a prikazani su histogrami na kojima se može uočiti uticaj promene pojedinih parametara teksturiranja na vrednosti prekidnih sila teksturiranih PES filamentnih pređa. Rezultati pokazuju da pri stepenu istežanja 1,685 analizirane pređe uglavnom imaju veće vrednosti prekidnih sila. Ova pojava je naročito dominantna pri većim brzinama teksturiranja, odnosno pri brzinama 900 m/min, 1000 m/min i 1100 m/min. To se objašnjava činjenicom da se pri istežanju filamentnih PES pređa popravljaju orijentisanost makromolekula u pravcu sile istežanja što doprinosi boljim mehaničkim karakteristikama ovih pređa. Slike 2.30.b do 2.38.b pokazuju uticaj brzine teksturiranja pređa na vrednosti prekidnih sila, pri istežanju u procesu teksturiranja 1,665.

U tabeli 2.10 prikazani su parametri regresione jednačine koja može poslužiti za predviđanje prekidnih sila teksturiranih pređa sa stepenom istežanja 1,665 u zavisnosti od brzine teksturiranja, pri datim temperaturama prvog grejača i količnikom D/Y , dok tabela 2.11 sadrži odgovarajuće parametre jednačine za stepen istežanja u procesu teksturiranja 1,685.

Prikazani rezultati mogu poslužiti i za izbor optimalnih parametara teksturiranja filamentnih PES pređa.

Tabela 2.10. Parametri regresione jednačine (stepen istežanja 1,665)

Uzorci	$F_p = a + bv$ [cN]				
	R^2	a	Standard error	b	Standard error
1-18	0,88872	710,29762	12,87334	-0,09939	0,01554
19-36	0,99206	715,62857	3,55359	-0,10729	0,00429
37-54	0,81143	709,42143	17,41356	-0,09971	0,02101
55-72	0,74076	750,56667	26,96918	-0,12725	0,03255
73-90	0,811	746,62619	19,83547	-0,11343	0,02394
91-108	0,88242	731,64762	13,0696	-0,09789	0,01577
109-126	0,83114	747,61429	14,76029	-0,09014	0,01781
127-144	0,8249	766,11905	19,83444	-0,11861	0,02394
145-162	0,87527	770,14762	17,81412	-0,12914	0,0215

Tabela 2.11. Parametri regresione jednačine (stepen istežanja 1,685)

Uzorci	$F_p = a + bv$ [cN]				
	R^2	a	Standard error	b	Standard error
1-18	0,60616	685,17143	16,42928	-0,05846	0,01983
19-36	0,80488	679,17143	8,32408	-0,04671	0,01005
37-54	0,87879	726,47619	14,48376	-0,10668	0,01748
55-72	0,56666	713,73095	19,66077	-0,06514	0,02373
73-90	0,64151	740,71667	27,12734	-0,10325	0,03274
91-108	0,90723	718,24286	8,84859	-0,07543	0,01068
109-126	0,96253	750,64524	6,88545	-0,09454	0,00831
127-144	0,87354	750,90238	13,08121	-0,09411	0,01579
145-162	0,89561	753,7619	12,22992	-0,09779	0,01476

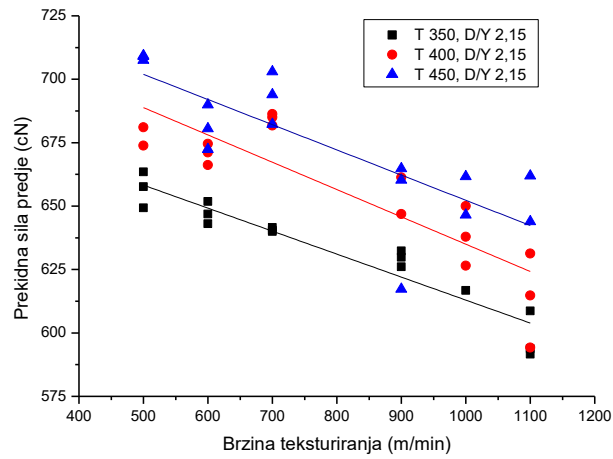
F_p - prekidna sila pređe [cN]

v - brzina teksturiranja [m/min]

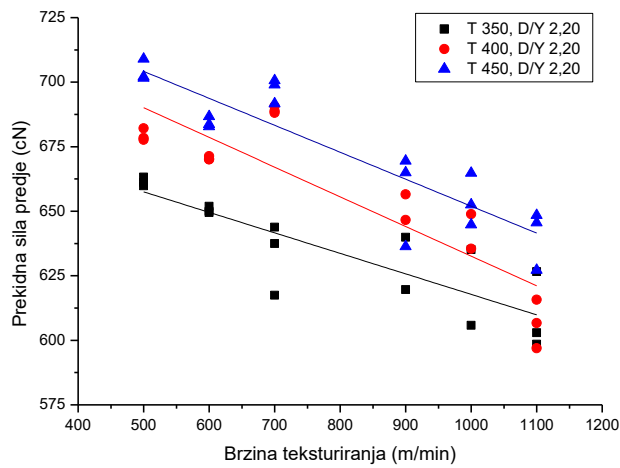
2.7.2. Uticaj temperature prvog grejača na prekidnu silu

PES filamentne pređe

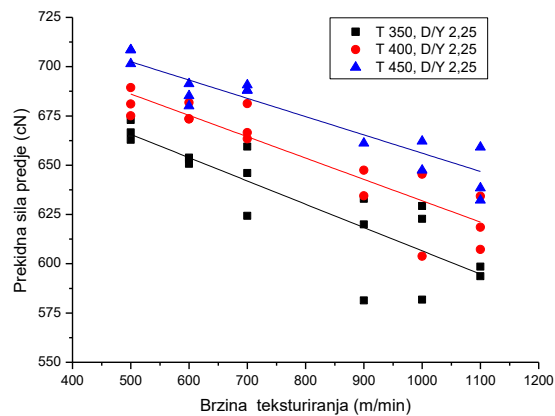
Na slikama 2.39, 2.40 i 2.41 prikazani su zbirni grafici promene prekidne sile teksturirane PES pređe u zavisnosti od temeperature prvog grejača i brzine teksturiranja.



Slika 2.39. Uticaj temeprature teksturiranja na prekidnu silu pređe ($D/Y = 2,15$)



Slika 2.40. Uticaj temeprature teksturiranja na prekidnu silu pređe ($D/Y = 2,20$)

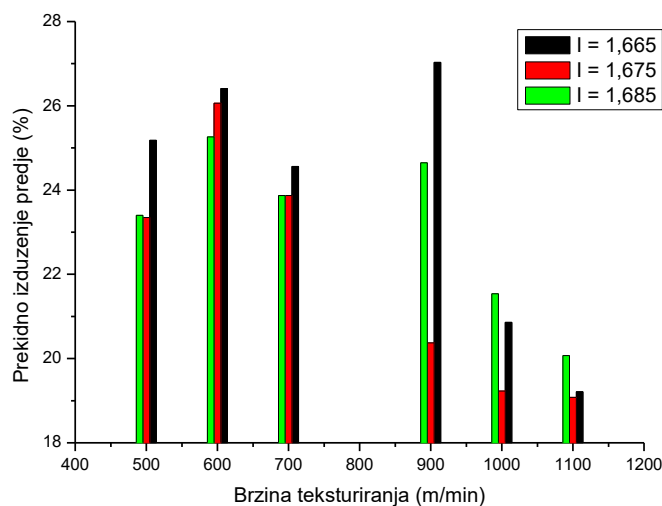


Slika 2.41. Uticaj temeprature teksturiranja na prekidnu silu pređe ($D/Y = 2,25$)

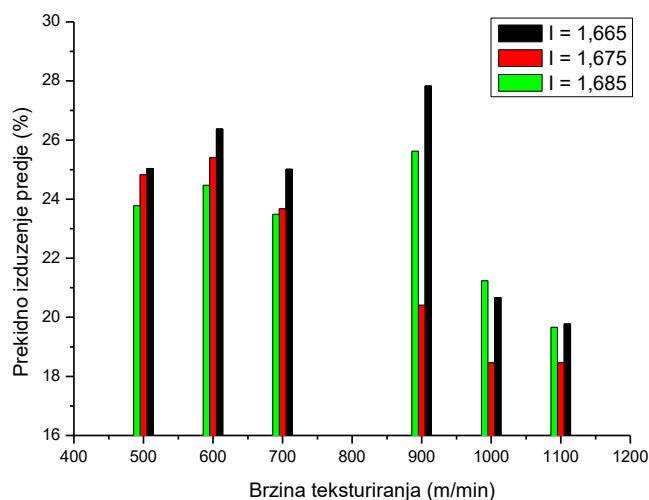
Dobijeni rezultati pokazuju da se pri većim temperaturama prvog grejača proizvode teksturirane PES pređe sa boljim prekidnim karakteristikama. Pri višim temperaturama u procesu teksturiranja raste pokretljivost i fleksibilnost molekulskih lanaca, što se odražava na njihovu orijentaciju u pravcu dejstva sile zatezanja, a samim tim i na vrednosti prekidnih sila teksturiranih PES filamentnih pređa.

2.7.3. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje PES filamentne pređe

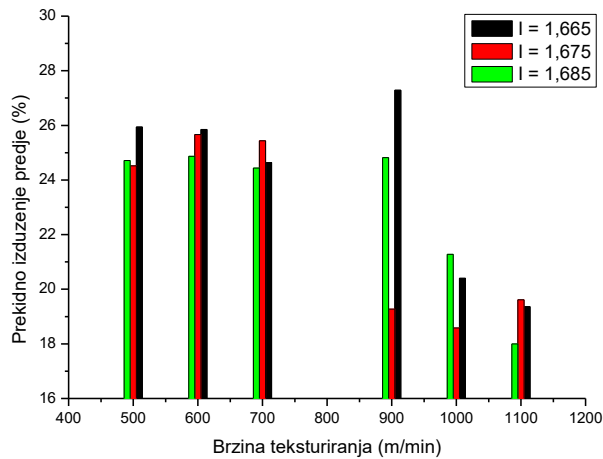
Na slikama 2.42 do 2.50 prikazan je uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje teksturirane PES filamentne pređe pri različitim tehnološkim parametrima proizvodnje.



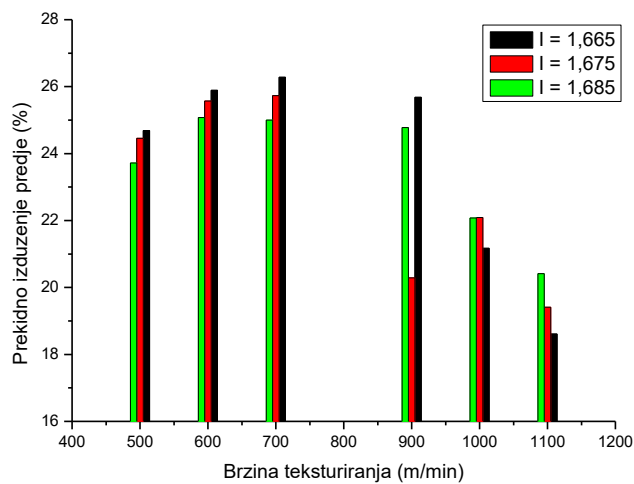
Slika 2.42. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje pređe (Uzorci 1-18; T = 350 °C; D/Y = 2,15)



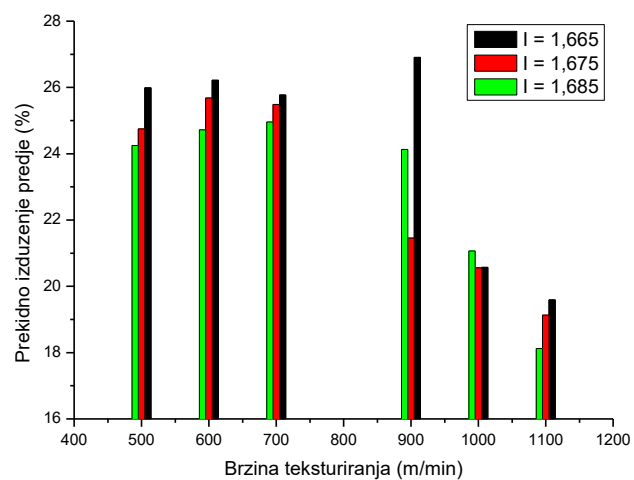
Slika 2.43. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje pređe (Uzorci 19-36; T = 350 °C; D/Y = 2,20)



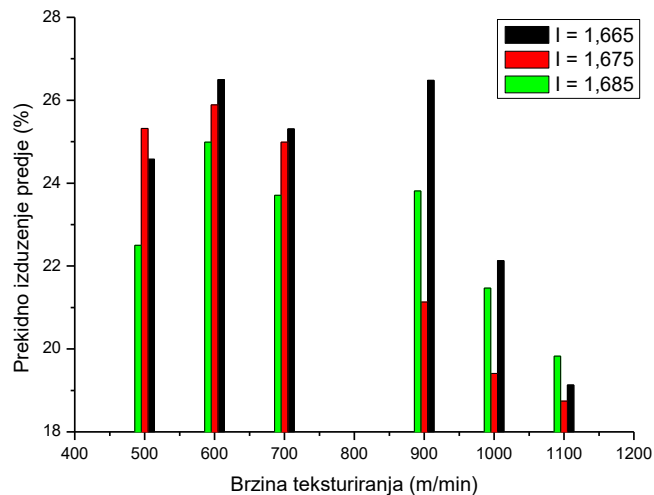
Slika 2.44. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje pređe (Uzorci 37-54; $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,25$)



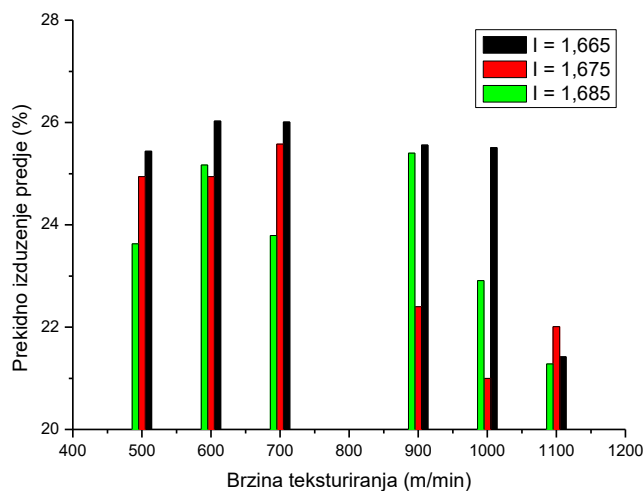
Slika 2.45. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje pređe (Uzorci 55-72; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,15$)



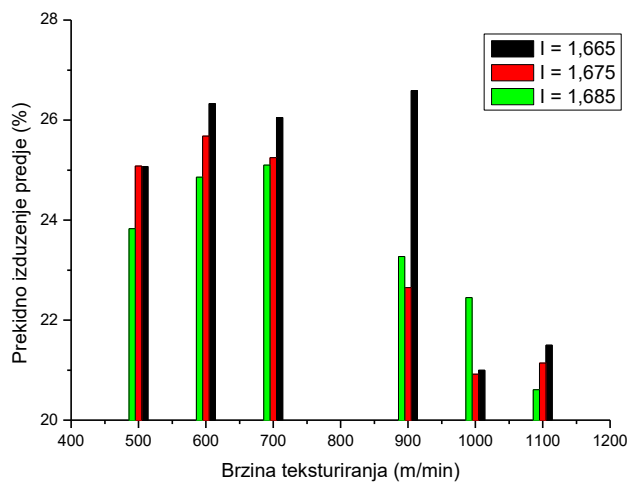
Slika 2.46. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje pređe (Uzorci 73-90; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,20$)



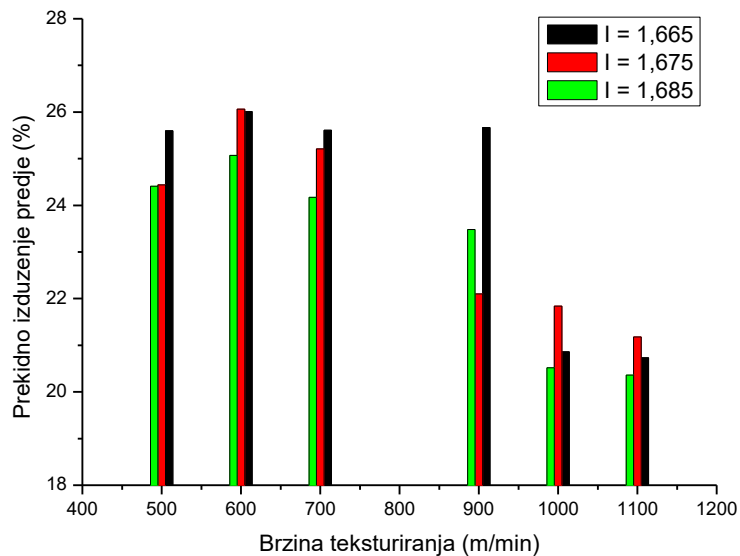
Slika 2.47. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje prede (Uzorci 91-108; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,25$)



Slika 2.48. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje prede (Uzorci 109-126; $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,15$)



Slika 2.49. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje prede (Uzorci 127-144; $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,20$)



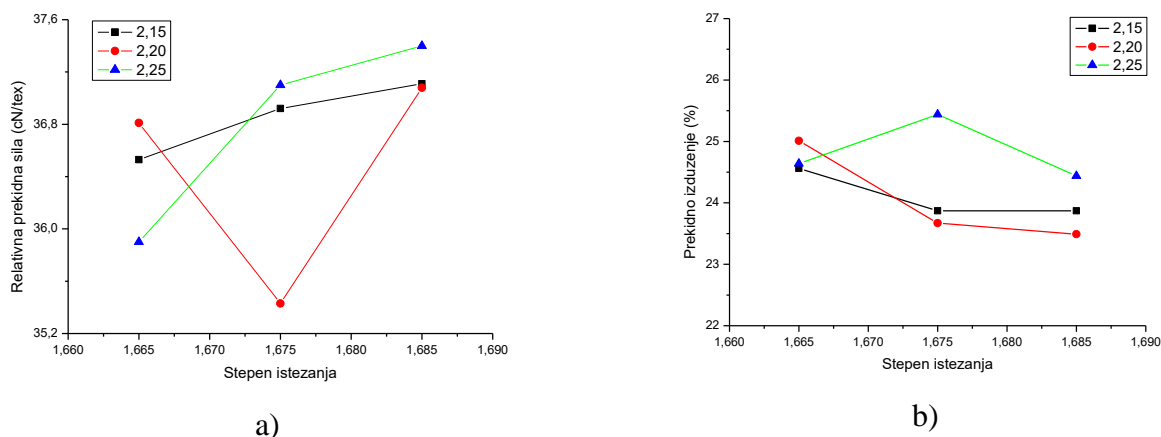
Slika 2.50. Uticaj brzine teksturiranja na prekidno izduženje pređe (Uzorci 145-162; $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$; $D/Y = 2,25$)

Rezultati pokazuju da prekidno izduženje ima trend rasta zaključno sa brzinom teksturiranja 900 m/min, pri istezanju u zoni teksturiranja PES filamentne pređe od 1,665 a pri različitim vrednostima temperatura prvog grejača i odnosa D/Y . Za razliku od ovih rezultata, primenom stepena istezanja 1,675 i 1,685 zapaža se trend smanjenja prekidnih izduženja analiziranih PES pređa sa porastom brzine teksturiranja. Takođe, može se konstatovati da pri manjem stepenu istezanja u procesu teksturiranja, filamentne pređe pokazuju veći procenat prekidnog izduženja i obrnuto. Ovaj trend se uočava pri brzinama teksturiranja do 900 m/min. Pri manjim brzinama (500 m/min, 600 m/min i 700 m/min) uočava se da pri manjem stepenu istezanja teksturirane pređe imaju veće vrednosti prekidnog izduženja. Ovo ukazuje na činjenicu da pređe sa boljom orijentacijom molekulskih lanaca u pravcu ose pređe imaju manje vrednosti prekidnog izduženja. Pri brzini od 900 m/min uočava se maksimalna vrednost prekidnog izduženja pri stepenu istezanja od 1,665, što potvrđuje prethodnu konstataciju, međutim ostale dve pređe pokazuju izvesna odstupanja rezultata, pri ovoj brzini. Takođe, pri brzinama 1000 m/min i 1100 m/min postoje izvesna odstupanja rezultata prekidnih izduženja, a razloge treba tražiti u podešenosti ostalih tehnoloških parametara mašine, saglasno kraćem vremenu zadržavanja pređe u prvom grejaču i nedovoljnom vremenu da se molekulski lanci orijentišu u pravcu ose pređe.

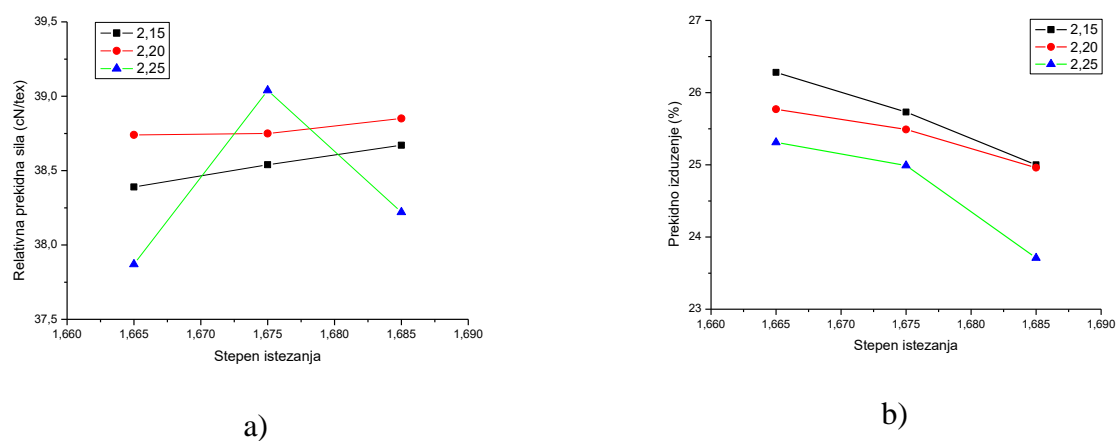
Ovi rezultati pokazuju da tehnologija proizvodnje POY pređa i orijentacija makromolekula pri velikim brzinama, nisu dostigli nivo tehnološke mogućnosti mehaničke prerade koji je dostigla tekstilna mašinogradnja i da je ovim istraživanjem dokazan optimalan stepen prerade POY pređa u teksturirani proizvod, za nesmetanu primenu u kasnijim fazama prerade.

2.7.4. Analiza uticaja parametara teksturiranja na relativnu prekidnu silu i prekidno izduženje teksturirane PES pređe

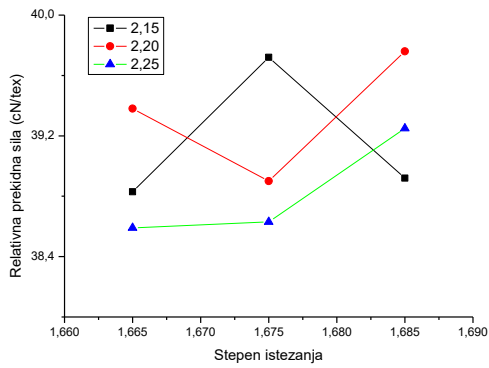
Na slikama 2.51 do 2.62 prikazani su grafici zavisnosti stepena istežanja, D/Y odnosa, relativne prekidne sile i prekidnog izduženja pređa formiranih u procesu teksturiranja, pri brzinama 700 m/min, 900 m/min, 1000 m/min i 1100 m/min.



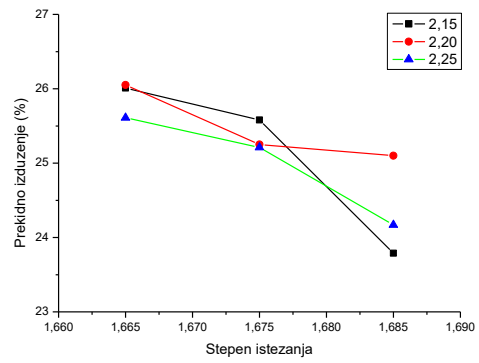
Slika 2.51. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 700\text{ m/min}$



Slika 2.52. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 700\text{ m/min}$

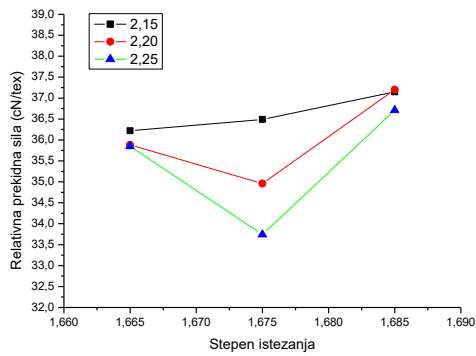


a)

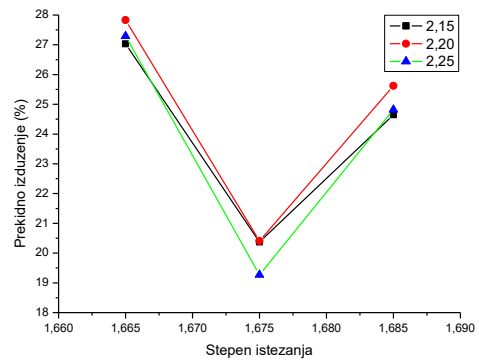


b)

Slika 2.53. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 700\text{ m/min}$

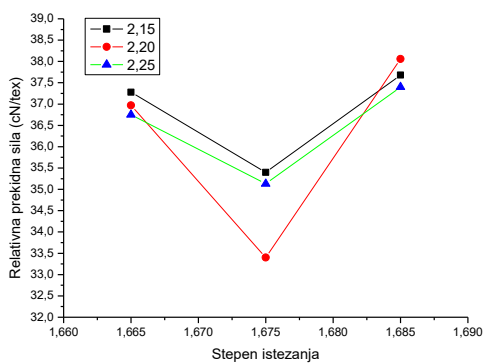


a)

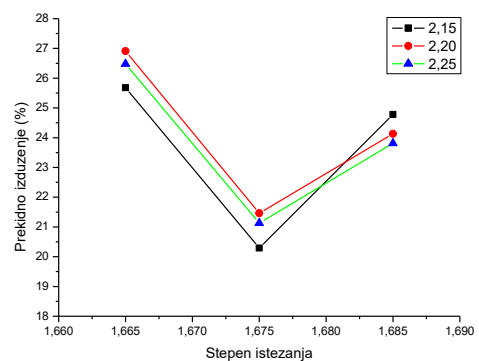


b)

Slika 2.54. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 900\text{ m/min}$

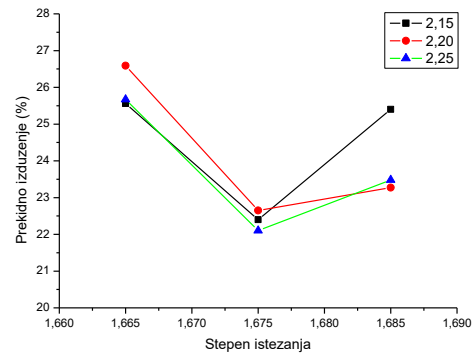
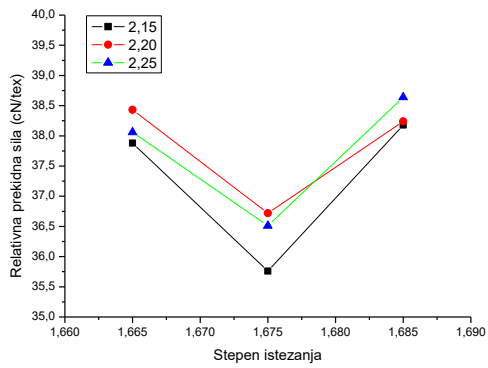


a)



b)

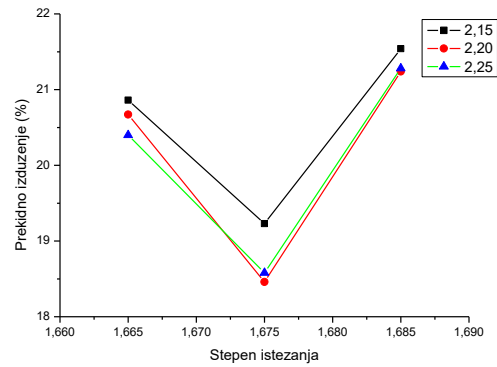
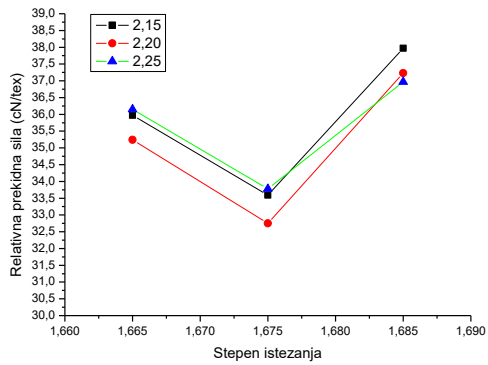
Slika 2.55. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 900\text{ m/min}$



a)

b)

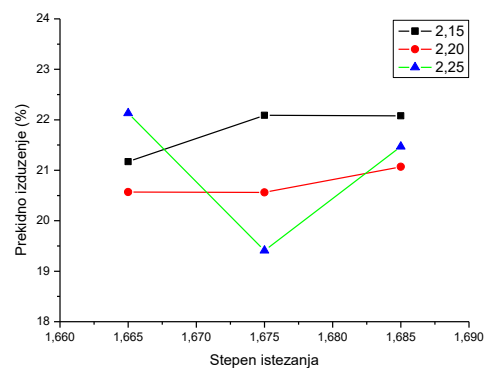
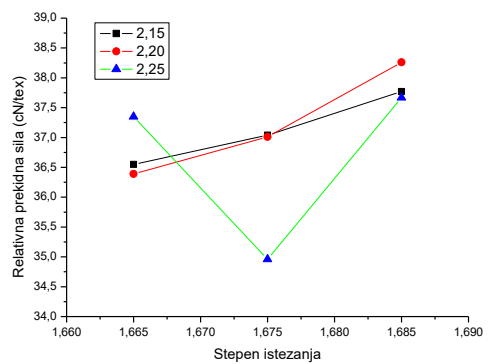
Slika 2.56. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 900\text{ m/min}$



a)

b)

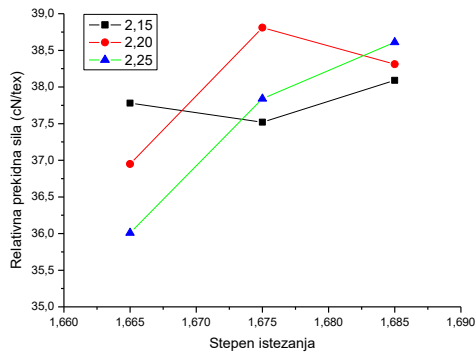
Slika 2.57. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 1000\text{ m/min}$



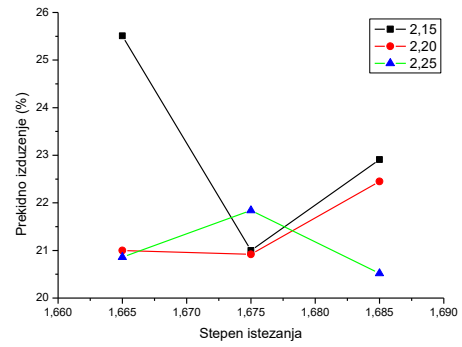
a)

b)

Slika 2.58. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 1000\text{ m/min}$

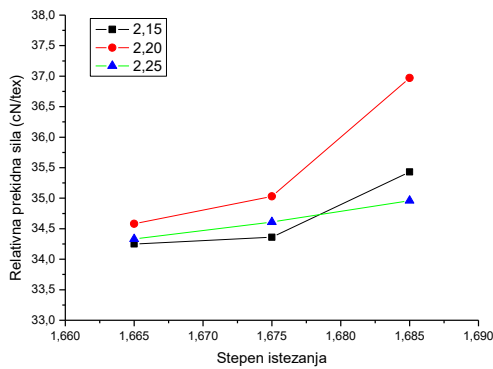


a)

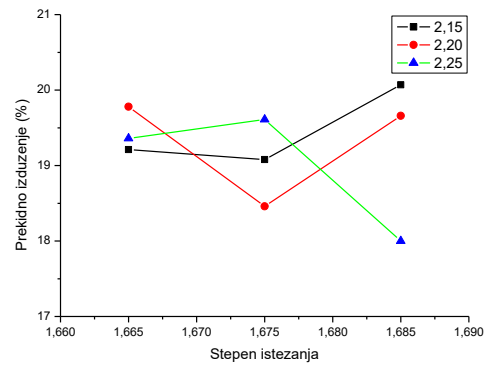


b)

Slika 2.59. Uticaj stepena istezanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 450^{\circ}\text{C}$, $V = 1000\text{ m/min}$

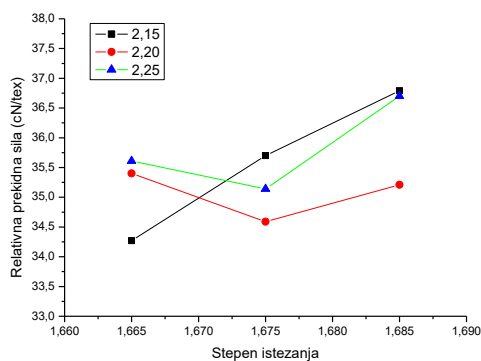


a)

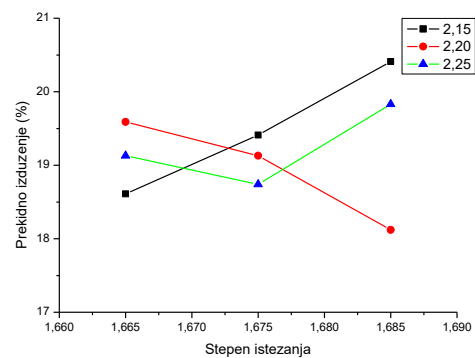


b)

Slika 2.60. Uticaj stepena istezanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 350^{\circ}\text{C}$, $V = 1100\text{ m/min}$

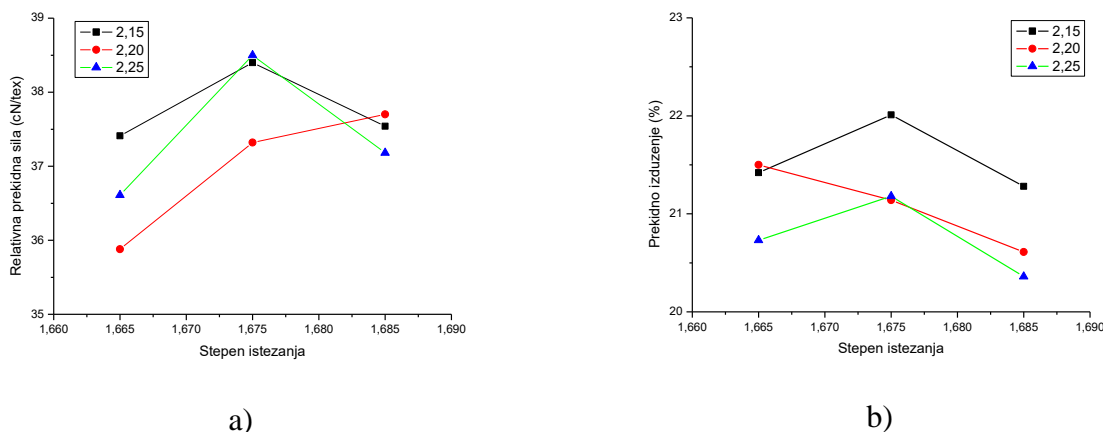


a)



b)

Slika 2.61. Uticaj stepena istezanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 400^{\circ}\text{C}$, $V = 1100\text{ m/min}$



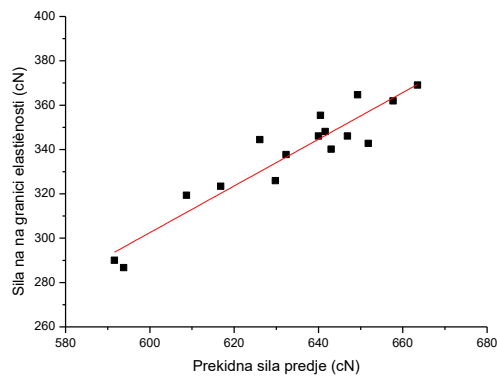
Slika 2.62. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na relativnu prekidnu silu (a) i prekidno izduženje (b) teksturirane PES pređe, $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 1100\text{ m/min}$

Na osnovu dobijenih rezultata može se konstatovati da stepen istežanja ima značajan uticaj na relativnu prekidnu silu teksturirane PES pređe. Pri tome, u skoro svim slučajevima, najniža vrednost relativne prekidne sile se zapaža pri stepenu istežanja 1,665, dok je najviša vrednost pri stepenu istežanja 1,685. Veći stepen istežanja filamentne pređe u procesu teksturiranja doprinosi boljoj uzdužnoj orijentaciji molekulskih lanaca, što doprinosi boljim mehaničkim karakteristikama ovih pređa. Za razliku od ovako dobijenih rezultata pri stepenu istežanja od 1,675 rezultati često odstupaju od očekivanih, što može biti posledica nepravilne podešenosti procesnih parametara proizvodnje koji su doveli do neželjenih promena u strukturi teksturiranih PES pređa. Takođe, može se konstatovati da D/Y odnos nema predvidiv uticaj na relativnu prekidnu silu teksturirane PES pređe.

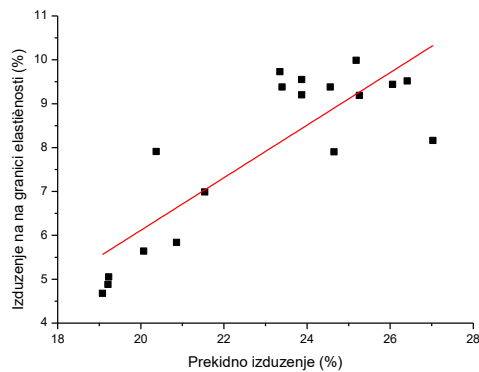
2.7.5. Analiza povezanosti mehaničkih karakteristika na granici elastičnosti teksturirane PES filamentne pređe

Na osnovu rezultata prikazanih u tabelama 2.1 do 2.9 formirani su grafici zavisnosti sile na granici elastičnosti i prekidne sile, kao i izduženja na granici elastičnosti i prekidnog izduženja teksturirane PES filamentne pređe. Na slikama 2.63 do 2.71 prikazane su date zavisnosti. Dobijeni rezultati treba da doprinesu razvoju metode za predviđanje dozvoljenih opterećenja, kojima mogu da se podvrgnu teksturirane PES pređe a da se pri tome ne deformišu.

Na osnovu funkcije $F-\varepsilon$ (slika 2.7) određene su vrednosti sila i relativnih izduženja na granici elastičnosti, koje se numerički određuju u tački maksimuma prvog izvoda krive $F(\varepsilon)$, gde je $F''(\varepsilon)=0$.

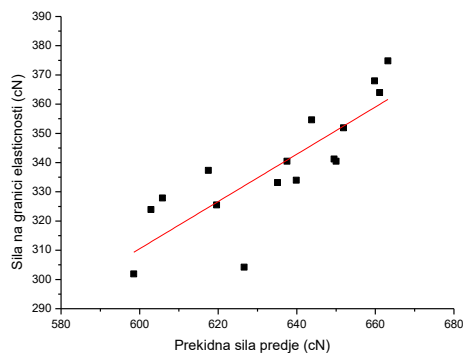


a)

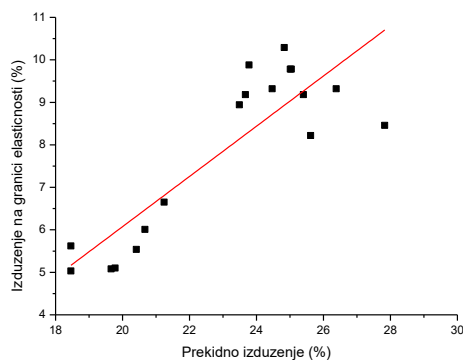


b)

Slika 2.63. Povezanost sile na granici elastičnosti i prekidne sile (a) i izduženja na granici elastičnosti i prekidnog izduženja (b) teksturirane PES pređe; $T = 350$, $D/Y = 2,15$

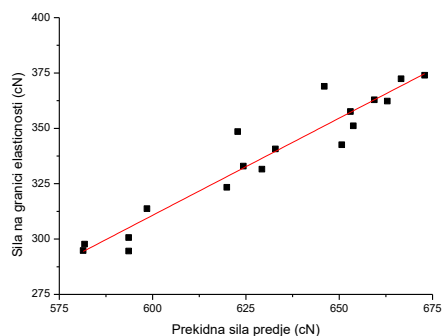


a)

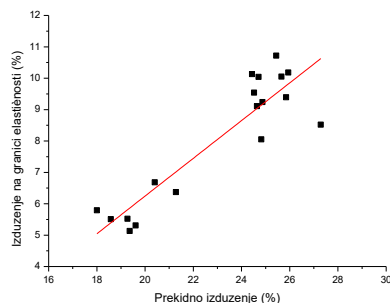


b)

Slika 2.64. Povezanost sile na granici elastičnosti i prekidne sile (a) i izduženja na granici elastičnosti i prekidnog izduženja (b) teksturirane PES pređe; $T = 350$, $D/Y = 2,20$

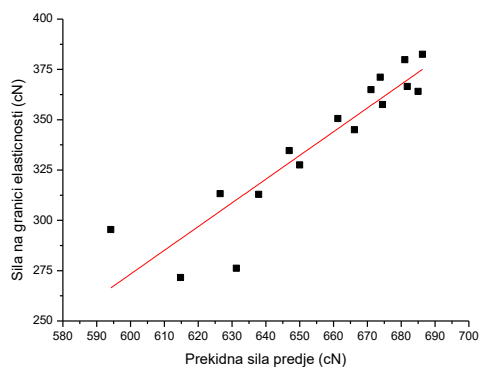


a)

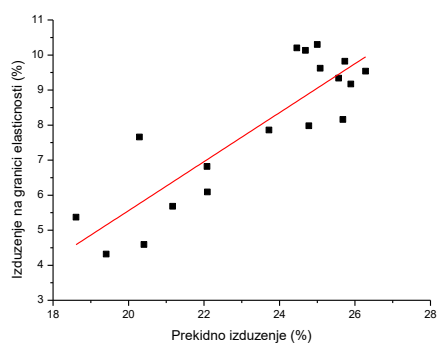


b)

Slika 2.65. Povezanost sile na granici elastičnosti i prekidne sile (a) i izduženja na granici elastičnosti i prekidnog izduženja (b) teksturirane PES pređe; $T = 350$, $D/Y = 2,25$

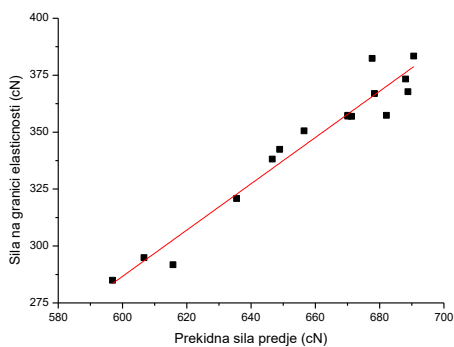


a)

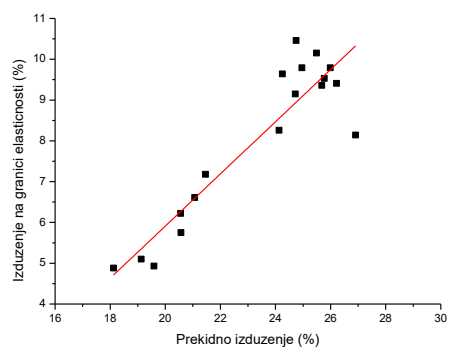


b)

Slika 2.66. Povezanost sile na granici elastičnosti i prekidne sile (a) i izduženja na granici elastičnosti i prekidnog izduženja (b) teksturirane PES pređe; $T = 400$, $D/Y = 2,15$

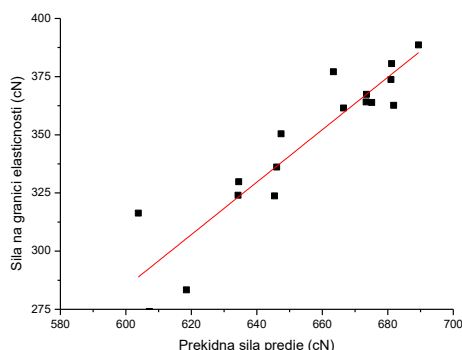


a)

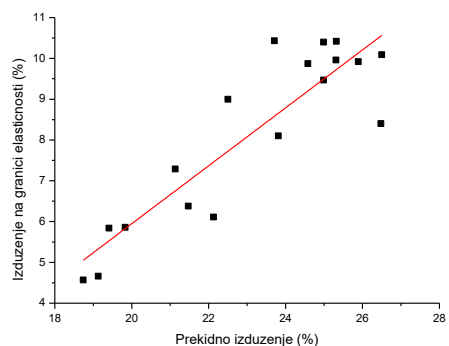


b)

Slika 2.67. Povezanost sile na granici elastičnosti i prekidne sile (a) i izduženja na granici elastičnosti i prekidnog izduženja (b) teksturirane PES pređe; $T = 400$, $D/Y = 2,20$

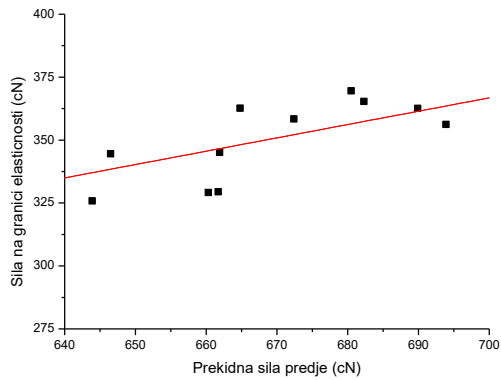


a)

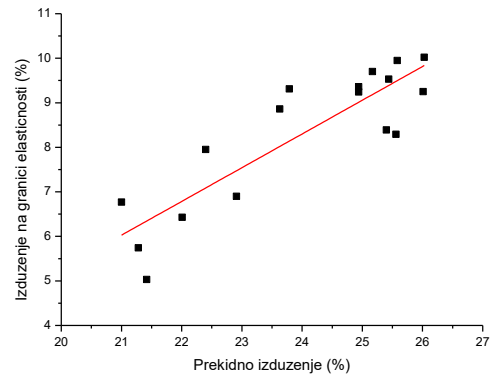


b)

Slika 2.68. Povezanost sile na granici elastičnosti i prekidne sile (a) i izduženja na granici elastičnosti i prekidnog izduženja (b) teksturirane PES pređe; $T = 400$, $D/Y = 2,25$

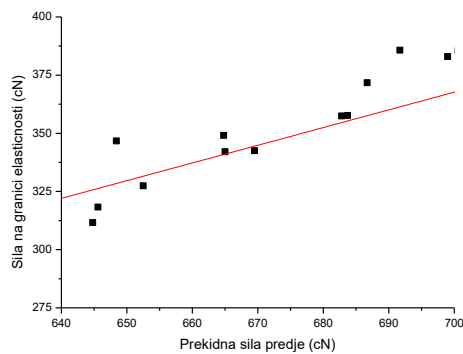


a)

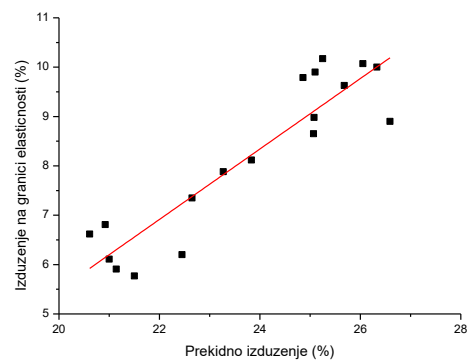


b)

Slika 2.69. Povezanost sile na granici elastičnosti i prekidne sile (a) i izduženja na granici elastičnosti i prekidnog izduženja (b) teksturirane PES pređe; $T = 450$, $D/Y = 2,15$

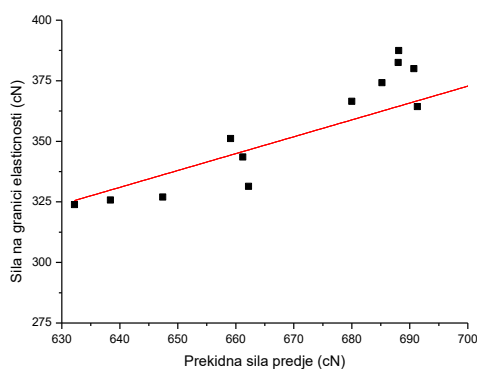


a)

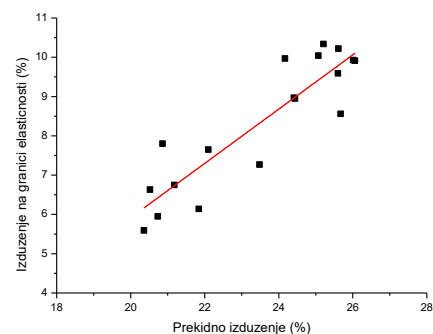


b)

Slika 2.70. Povezanost sile na granici elastičnosti i prekidne sile (a) i izduženja na granici elastičnosti i prekidnog izduženja (b) teksturirane PES pređe; $T = 450$, $D/Y = 2,20$



a)



b)

Slika 2.71. Povezanost sile na granici elastičnosti i prekidne sile (a) i izduženja na granici elastičnosti i prekidnog izduženja (b) teksturirane PES pređe; $T = 450$, $D/Y = 2,25$

Vrednosti sila na granici elastičnosti u zavisnosti od temperature prvog grejača i odnosa D/Y mogu se predvideti primenom regresionih jednačina čiji su parametri prikazani u tabeli 2.12.

Tabela 2.12. Parametri regresione jednačine

Uzorci	$F_e = a + bF_p$ [cN]				
	R^2	a	Standard error	b	Standard error
1-18	0,87923	-329,21577	63,55562	1,05289	0,1003
19-36	0,67407	-174,73434	90,82439	0,80875	0,14292
37-54	0,91199	-215,92297	41,60487	0,87777	0,06595
55-72	0,82824	-433,89132	90,25481	1,17869	0,13764
73-90	0,94363	-323,32638	42,15543	1,01664	0,06403
91-108	0,84042	-391,62645	79,92019	1,127	0,12205
109-126	0,64126	-4,05184	67,87856	0,52975	0,10045
127-144	0,60221	-164,7482	99,04516	0,76062	0,1471
145-162	0,60263	-114,60364	99,90673	0,69625	0,14767

F_e - sila na granici elastičnosti [cN]

F_p - prekidna sila pređe [cN]

U tabeli 2.13 prikazani su parametri regresione jednačine za predviđanje izduženja na granici elastičnosti analiziranih teksturiranih PES filamentnih pređa u zavisnosti od vrednosti prekidnog izduženja, temperature prvog grejača i odnosa D/Y.

Tabela 2.13. Parametri regresione jednačine

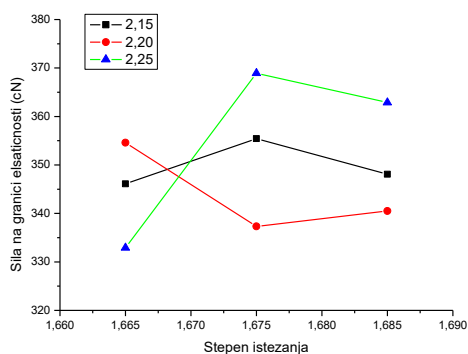
Uzorci	$\epsilon_e = a + b\epsilon_p$ [%]				
	R^2	a	Standard error	b	Standard error
1-18	0,68857	-5,86582	2,23208	0,59907	0,09644
19-36	0,7337	-5,74284	1,98034	0,5909	0,08543
37-54	0,81017	-5,77245	1,62743	0,60091	0,07007
55-72	0,73742	-8,41849	2,35351	0,69887	0,1001
73-90	0,82972	-6,87418	1,63785	0,63926	0,06982
91-108	0,782	-8,25526	2,09697	0,71015	0,0902
109-126	0,7457	-9,87944	2,62984	0,75745	0,10942
127-144	0,83297	-8,78906	1,83645	0,7138	0,07707
145-162	0,79267	-7,90055	2,00788	0,6909	0,08505

ϵ_e - izduženje na granici elastičnosti [%]

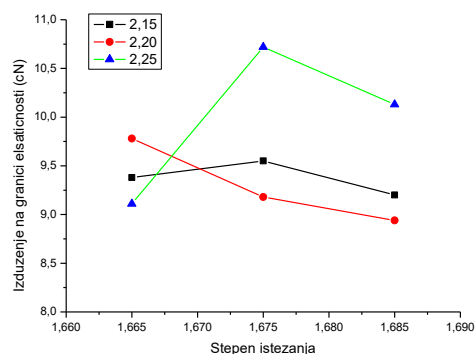
ϵ_p - prekidno izduženje pređe [%]

2.7.6. Analiza uticaja parametara teksturiranja na silu i izduženje na granici elastičnosti teksturirane PES pređe

Na slikama 2.72 do 2.83 prikazan je uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu i izduženje na granici elastičnosti teksturirane PES pređe.

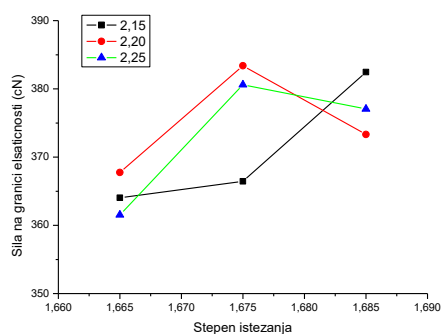


a)

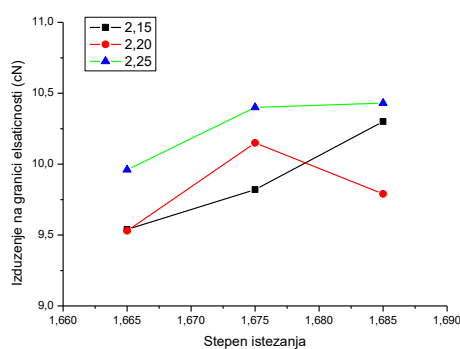


b)

Slika 2.72. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 700\text{ m/min}$

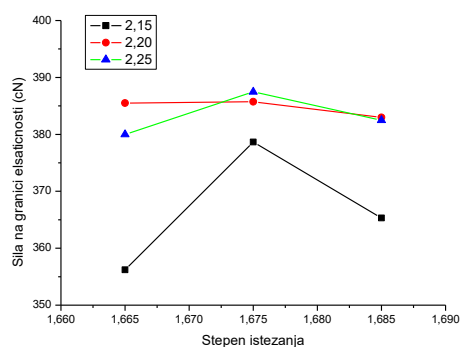


a)

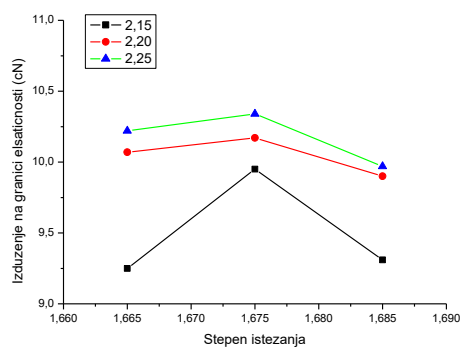


b)

Slika 2.73. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 700\text{ m/min}$

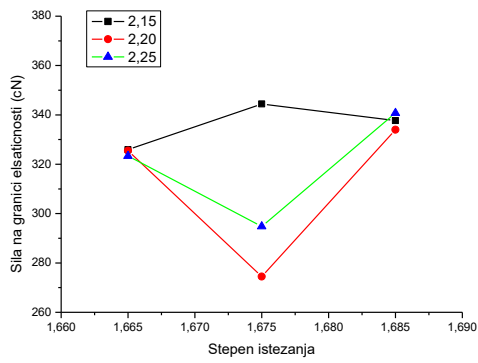


a)

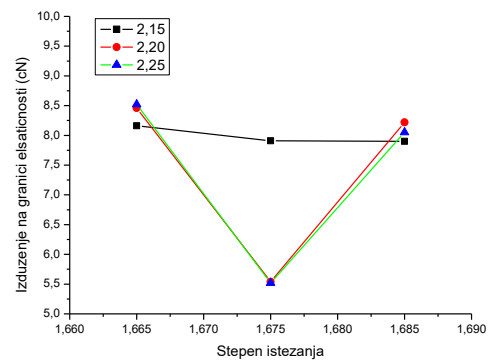


b)

Slika 2.74. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 700\text{ m/min}$

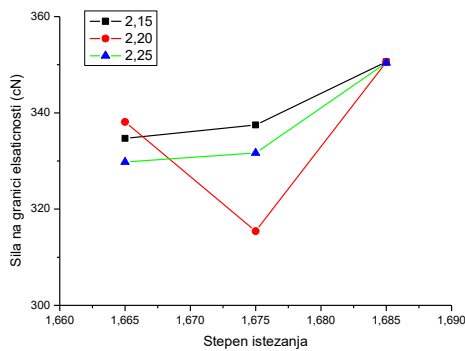


a)

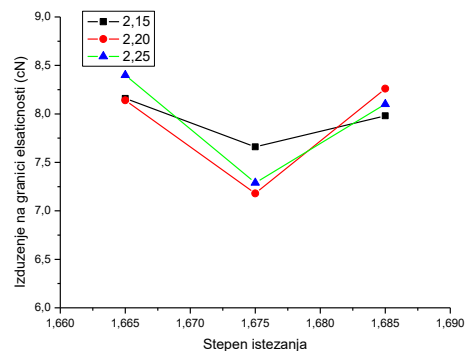


b)

Slika 2.75. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 900\text{ m/min}$

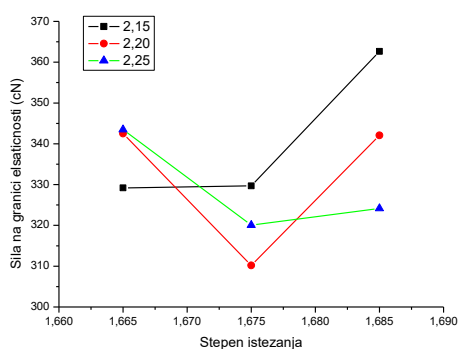


a)

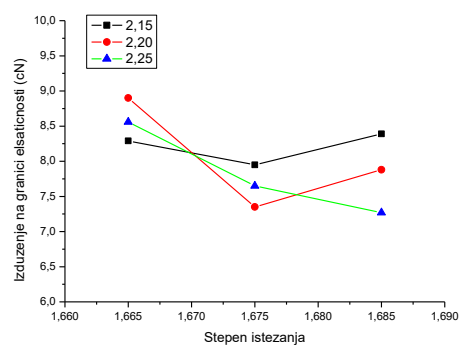


b)

Slika 2.76. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 900\text{ m/min}$

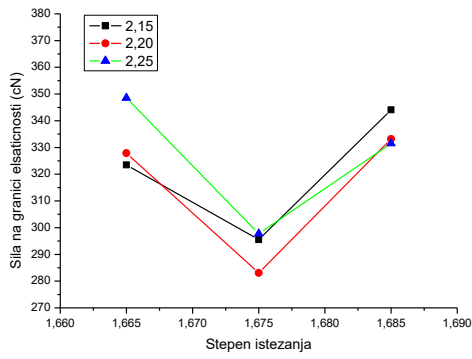


a)

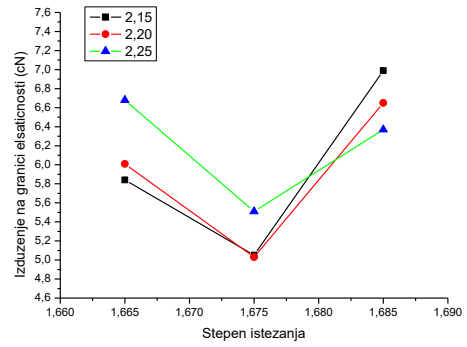


b)

Slika 2.77. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 900\text{ m/min}$

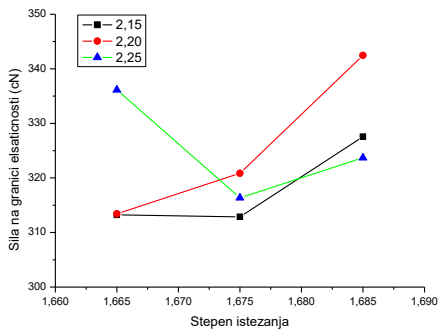


a)

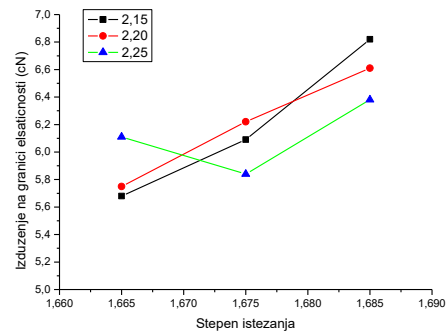


b)

Slika 2.78. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 1000\text{ m/min}$

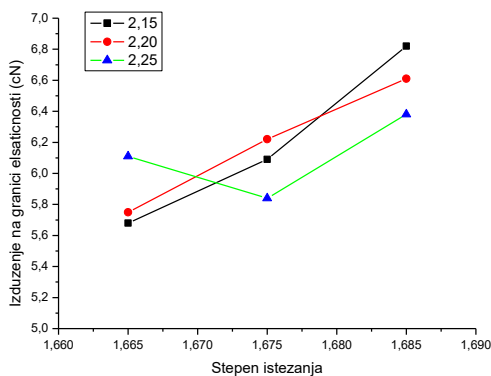


a)

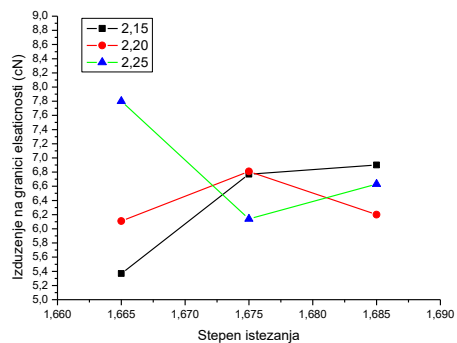


b)

Slika 2.79. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 1000\text{ m/min}$

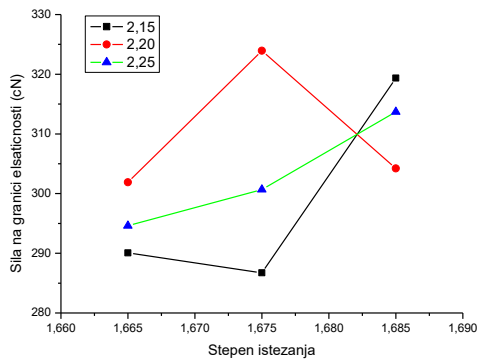


a)

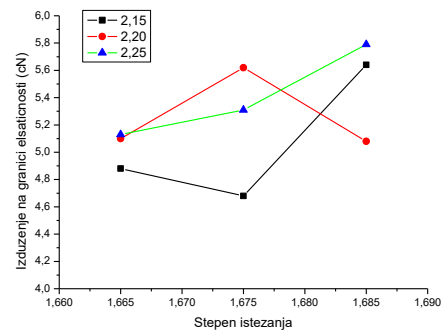


b)

Slika 2.80. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 1000\text{ m/min}$

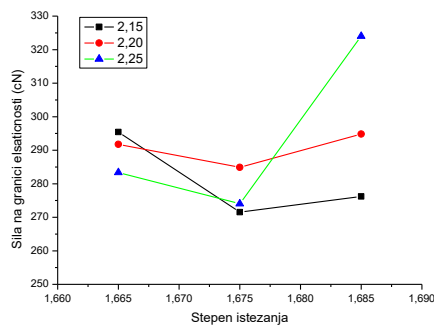


a)

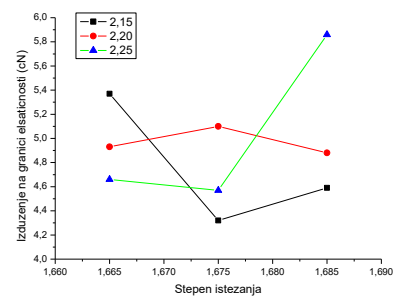


b)

Slika 2.81. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 1100\text{ m/min}$

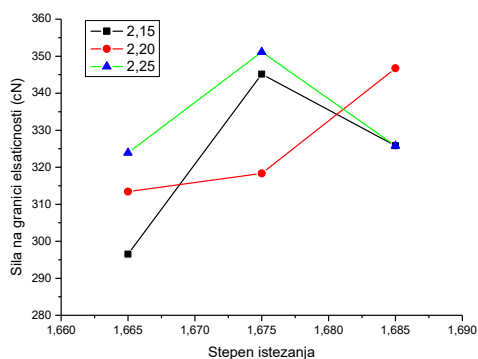


a)

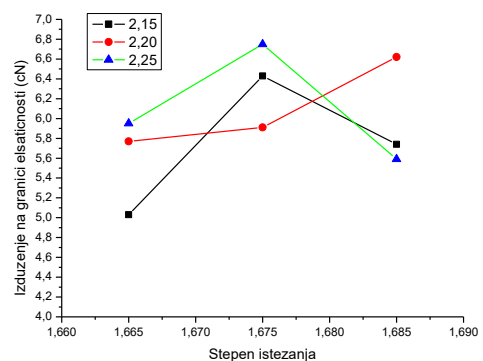


b)

Slika 2.82. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 1100\text{ m/min}$



a)



b)

Slika 2.83. Uticaj stepena istežanja i odnosa D/Y na silu (a) i izduženje (b) na granici elastičnosti teksturirane PES pređe, $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 1100\text{ m/min}$

Na slikama 2.72 do 2.83 prikazani su grafici na kojima se vidi uticaj stepena istezanja i odnosa D/Y na silu i izduženje na granici elastičnosti teksturirane PES pređe. U skoro svim slučajevima mogu se konstatovati analogne promene sile i izduženja na granici elastičnosti, što nije bio slučaj sa vrednostima relativne prekidne sile i prekidnog izduženja. Takođe analizom rezultata intenziteta sile na granici elastičnosti, uglavnom očekivane vrednosti se mogu konstatovati pri stepenima istezanja 1,665 i 1,685, dok odstupanja pokazuju rezultati pri stepenu istezanja 1,675. U svakom slučaju dobijeni rezultati mogu poslužiti za izbor optimalnih procesnih parametara proizvodnje teksturiranih PES filamentnih pređa. Izborom optimalnih parametara proizvodnje teksturiranih PES filamentnih pređa može se uticati na svojstva pređa na granici elastičnosti, saglasno njenoj budućoj nameni i naprezanjima koja ta pređa treba da podnese a da se značajnije ne deformiše.

ZAKLJUČAK

Teksturiranje lažnim upredanjem POY poliestarske pređe je proces koji uključuje bliske interakcije između procesnih parametara i strukture i svojstava teksturirane pređe. Najznačajniji parametri procesa teksturiranja su brzina teksturiranja i temperatura grejača, s obzirom da oba parametra značajno utiču na strukturu i karakteristike kovrdžavosti teksturirane pređe. Stepennost kristalnosti se povećava sa povećanjem temperature grejača i brzine teksturiranja, dostižući maksimalnu vrednost pri brzini teksturiranja od 900 m/min. Dvojno prelamanje i stepennost orijentisanosti pokazuju tendenciju rasta sa povećanjem temperature, dok povećanje brzine teksturiranja dovodi do smanjenja vrednosti oba parametra. Pri velikim brzinama teksturiranja, iznad 1000 m/min, dolazi do povećanja dvojnog prelamanja i stepena orijentisanosti. Sličan trend je uočen i u slučaju karakteristika kovrdžavosti, sva tri parametra (CC, CM i CS) se povećavaju sa povećanjem temperature grejača i smanjuju sa povećanjem brzine teksturiranja. Male promene stepena istezanja i D/Y odnosa utiču u većoj meri na strukturu teksturirane poliestarske pređe, dok je njihov uticaj na karakteristike kovrdžavosti, suprotno očekivanjima, mali.

Analizom mehaničkih karakteristika teksturiranih PES pređa može se zaključiti da brzina teksturiranja ima značajan uticaj na ova svojstva. Rezultati su pokazali da se sa porastom brzine teksturiranja uočava trend smanjenja vrednosti prekidnih sila analiziranih teksturiranih PES pređa. Izvesna odsupanja rezultata pokazuju teksturirane PES pređe sa primenjenim stepenom istezanja 1,675. Takođe, rezultati su pokazali da pri stepenu istezanja 1,685 analizirane pređe uglavnom imaju veće vrednosti prekidnih sila. Primenom većeg stepena istezanja filamentnih PES pređa popravljaju se orijentisanost molekulskih lanaca u pravcu sila istezanja, što doprinosi boljim mehaničkim karakteristikama teksturiranih PES pređa. Pored toga, rezultati analize uticaja temperature prvog grejača na prekidnu silu dale su zanimljive rezultate. Naime, rezultati pokazuju da se pri većim temperaturama prvog grejača proizvode teksturirane PES pređe sa većim vrednostima prekidnih sila. Pri višim temperaturama u procesu teksturiranja raste pokretljivost i fleksibilnost molekulskih lanaca, što doprinosi njihovoj boljoj orijentaciji u pravcu dejstva sile zatezanja, što se odražava na mehanička svojstva teksturiranih PES filamentnih pređa.

Promenom stepena istezanja teksturiranih PES pređa, može se uticati i na vrednosti prekidnih izduženja ovih pređa. Tako na primer, primenom stepena istezanja 1,665 zapaža se rast prekidnog izduženja teksturirane PES pređe, zaključno sa brzinom teksturiranja 900 m/min. Suprotno ovome, povećanjem brzine teksturiranja i pri istezanju 1,675 i 1,685 zapaža se trend smanjenja prekidnih izduženja analiziranih PES pređa. Pri manjim brzinama teksturiranja i nižem stepenu istezanja u datom procesu, teksturirane PES pređe imaju veće vrednosti prekidnog izduženja. Može se konstatovati da pređa, sa većim stepenom orijentacije molekulskih lanaca u pravcu ose pređe, ima

manje vrednosti prekidnog izduženja. Pri većim brzinama teksturiranja, postoje izvesna odstupanja rezultata prekidnih izduženja u odnosu na prethodnu konstataciju, što može biti posledica kraćeg vremena zadržavanja pređe u procesu teksturiranja i nedovoljnom vremenu, da se molekularni lanci orijentišu u pravcu ose pređe.

Granica elastičnosti definiše dozvoljeno opterećenje pređe u narednim tehnološkim procesima prerade, pri kome se ona neće značajnije deformisati. Primenom sile zatezanja, koja prevazilazi granicu elastičnosti, dolazi do pojave plastičnih deformacija koje se negativno odražavaju na konačni kvalitet gotovih tekstilnih proizvoda. Analizom rezultata intenziteta sile na granici elastičnosti, dobijene su očekivane vrednosti pri istezanju u procesu teksturiranja 1,665 i 1,685, dok odstupanja pokazuju rezultati pri stepenu istezanja 1,675. Izborom odgovarajućih parametara proizvodnje teksturiranih PES pređa, može se uticati na svojstva pređa na granici elastičnosti, saglasno budućoj nameni i napreznjima koja ta pređa treba da podnese.

Dobijeni rezultati su poslužili da se utvrde zavisnosti, kojima se mogu predvideti neka mehanička svojstva teksturiranih PES pređa. Tako je utvrđena zavisnost, kojom se mogu predvideti prekidne karakteristike teksturiranih pređa u zavisnosti od primenjene brzine teksturiranja, a pri definisanom stepenu istezanja i količniku D/Y. Pored toga, na osnovu dobijenih rezultata, dobijene su jednačine koje se mogu primeniti za predviđanje mehaničkih karakteristika na granici elastičnosti teksturiranih PES pređa, sa ciljem da se definišu granična opterećenja ovih pređa u narednim tehnološkim procesima.

Rezultati su pokazali da se delimično orijentisana poliesterska pređa, korišćena u ovom radu, može teksturirati pri značajno većim brzinama teksturiranja u odnosu na standardne brzine teksturiranja, koje se koriste za preradu analiziranih pređa, uz očuvanje dobrih karakteristika. Takođe, može se konstatovati da se optimalni parametri procesa teksturiranja moraju izabrati kao kompromisno rešenje, saglasno željenim parametrima kvaliteta teksturiranih PES pređa, kao i produktivnosti i ekonomičnosti tehnološkog procesa teksturiranja.

LITERATURA

- [1] Jovanović, R.: Sintetizovana organska vlakna, Građevinska knjiga, Beograd, 1990.
- [2] Ziabicki, A.: Fundamentals of fibre formation, John Wiley & Sons, London, 1976.
- [3] Salem, D.R. (ed.): Structure Formation in Polymeric Fibers, Hanser Gardner, 2001.
- [4] K.Katayama, M.Tsuji, Fundamentals of Spinning, in Advanced Fiber Spinning Technology, ed. T. Nakajima, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, 1994.
- [5] Hearle, J W S, Hollick, L, Wilson, D K . Yarn texturing technology, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2001.
- [6] Demir, A., Behery, HM. Synthetic filament yarn texturing technology, Prentice Hall, Upper Saddle River, USA, 1997.
- [7] Atkinson C., False twist textured yarns: Principles, processing and applications. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2012.
- [8] Yildirim, K., Altun, S., Ulcay, Y. Relationship between yarn properties and process parameters in false-twist textured yarn, J. Engineered Fibers and Fabrics, 4(2) 26-32, 2009.
- [9] Tehran, MA., Azimi, B., Mojtahedi, MRM. Investigating the effect of false twist texturing process on the color coordinates variation of spun-dyed polyester filament yarns, J. Engineered Fibers and Fabrics, 6(4) 54-62, 2011.
- [10] Canbaz Karakaşa, H., Dayıoğlu, H. Influence of false-twist texturing parameters on the structural properties of polyester yarn, Indian Journal of Fibre & Textile Research, 30, 37-41, 2005.
- [11] Celik, P., Ozdil, N., Supure, G. Experimental investigation on the static and dynamic strength of false twist textured polyester yarns, Industria Textila, 62(1) 38-43, 2011.
- [12] Bhattacharya, SS., Shaikh, TN., Pratap, A. An Investigation of Thermal Characteristic of Mechanical Crimp Textured Polyester Yarn by Differential Scanning Calorimeter (DSC), AIP Conf. Proc. 1249, 67-74, 2010.
- [13] Shaikh, TN., Bhattacharya, SS. Deriving an empirical formula to determine the optimum level of false-twist in mechanically-crimped textured polyester yarn, Textile Research Journal, 81, 1995-2005, 2011.
- [14] Mahish, S.S., Punj, S.K., Kothari, V.K. Comfort and Handle Related Properties of P/V Blended Air-jet Textured Yarn Fabrics, Fibers and Polymers, 11, 932-940, 2010.
- [15] Škundrić P., Kostić M., Medović A., Mihailović T., Asanović K., Sretković LJ., Tekstilni materijali, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2008.
- [16] C. Andreoli, F. Freti, Reference Books of Textile Technology: Man-Made Fibres, Fondazione Acimit, 2006.

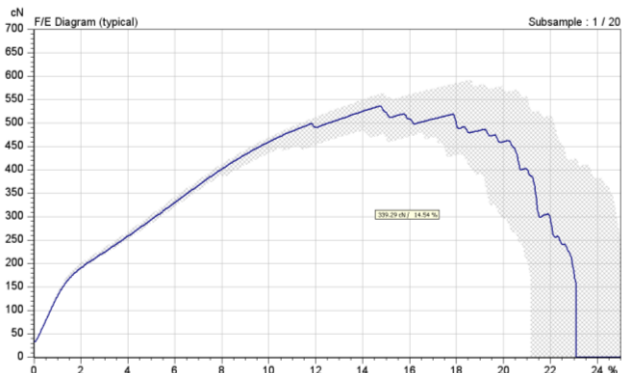
- [17] Tanemura, K. Modified continuous-filament yarns, *Journal of the Textile Institute Proceedings*. 51/3 (1960), p 167-168.
- [18] Patent DE618050 C, Verfahren zur Herstellung wolleähnlicher Kunstseide, Heberlein & Co Ag, 11.03.1932.
- [19] Wray, G.R., Acar, M, Supersonic jet texturing of yarns, *Journal of Engineering Manufacture*, 204/2 (1990) 71-89.
- [20] Rwei, S-P., Pai, H-I, Fluid simulation of the airflow in texturing jets, *Textile Research Journal*, 72 (2002) 520-525.
- [21] M. J. Denton, Evolution in False-twist Texturing Machine Design, *Developments in Texturing*, Shirley Institute Publication 525, Oct. (1976).
- [22] Wulfhorst, B., Texturing Trends, *Chemical Fibers International*, 49 (1999) 82.
- [23] Schmenk B., Wulfhorst B., Reduction of process interferences in high-speed texturing, *Chemical Fibers International*, 50 (2000) 496-501.
- [24] N. Eskin, Analysis of a high temperature heater in a false twist texturing process, *Energy Conversion and Management* 44 (2003) 2531–2547.
- [25] Gupta, V. B., Mukherjee, A. K., Cameotra, S. S., Poly(ethylene terephthalate) fibers in: *Manufactured Fibre Technology*, Eds. Gupta, V. B., Kothari, V. K., Chapman & Hall, London, 1997.
- [26] J. Militky, The chemistry, manufacture and tensile behaviour of polyester fibers, in: *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres*, ed. A. R. Bunsell, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2009. p. 223-314.
- [27] Y. Murase, A. Nagai, Melt Spinning, in *Advanced Fiber Spinning Technology*, ed. T. Nakajima, Woodhead publishing Ltd., Cambridge, 1994.
- [28] Jovanović, R.: *Osnovi nauke o vlaknima*, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.
- [29] Denton M.J., the development of false twist in bulking, *J. Textile Inst.* 69 (1968) 344-350.
- [30] Thwaites J. J., The Dynamics of the False Twist Process Part I: The Process Surveyed, *Journal of the Textile Institute* 69 (1978) 269-275.
- [31] Thwaites J. J., The Dynamics of the False Twist Process Part II: A Theoretical Model" *J Textile Institute* 69 (1978) 276-286.
- [32] Thwaites J. J., The Dynamics of the False-Twist Process Part V: Response to Variations in Feedstock, *J Text Inst* 75 (1984) 112-122.
- [33] J. J. Thwaites, C. W. Hooper, The Dynamics of the False-Twist Process Part III: Experiments with Fully Drawn Yarn, *The Journal of The Textile Institute*, 72 (1981) 239-248.
- [34] J. J. Thwaites, C. W. Hooper, The Dynamics of the False Twist Process Part IV: Draw Texturing Experiments." *Journal of the Textile Institute*, 72 (1981) 249-259.

- [35] A.M. Featherstone, J.W.S. Hearle, P.E. Wellstead, Simulation of the false twist textile yarn texturing process, *SIMULATION* 1986 46: 53-60.
- [36] T. J. Kang, W. Li, A. El-Shiekh, Mechanics of High Speed Texturing Part II: Theoretical Analysis of Ring Twisting, *Textile Research Journal* 58 (1988) 653-662.
- [37] G. W. Du, and J.W.S. Hearle, Mechanics of Friction Twisting Part II: Application of the Single Disc Model to a Triple-Stack Multi-Disc Spindle, *Textile Research Journal*, 61 (1991) 347-357.
- [38] W. E. Morton and J. W. S. Hearle, Physical properties of textile fibres, Fourth edition, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2008, p.1-81.
- [39] R. P. Daubeney, C. W. Bunn, C. J. Brown., The Crystal Structure of Poly(ethylene terephthalate), *Proc. Roy. Soc. A*226, 531-542 (1954).
- [40] A.J. East, The structure of polyester fibers, in: *Handbook of Textile Fibre Structure: Fundamentals and Manufactured Polymer Fibres*, Eds. S. Eichhorn, J. W. S. Hearle, M Jaffe, T Kikutani, Woodhead Publishing Limited, Oxford, Cambridge, New Delhi, 2009, p.181-231.
- [41] Perepelkin K. E.: Physicochemical nature and structure dependence of the unique properties of polyester fibres, *Fibre Chemistry*, 33, 340–352 (2001).
- [42] Daubeney R. D. P., Bunn C. W., Brown C. J.: The crystal structure of polyethylene terephthalate, *Proc. Roy. Soc. A*, 226, 531–542 (1954).
- [43] Huang J. M., Chu P. P., Chang F. C.: Conformational changes and molecular motion of poly(ethylene terephthalate) annealed above glass transition temperature, *Polymer*, 41, 1741–1748 (2000).
- [44] Fakirov S., Fischer E. W, Schmidt G. F.: Unit cell dimensions of poly(ethylene terephthalate), *Die Makromol. Chem.*, 176, 2459–2465 (1975).
- [45] A. Peterlin, Morphology and Properties of Crystalline Polymers with Fiber Structure, *Textile Research Journal* January 1972 42: 20-30.
- [46] D. C. Prevorsek, R. H. Butler, Y. D. Kwon, G. E. R. Lamb, R. K. Sharma, Influence of Fiber Properties on Wrinkling Behavior of Fabrics: Part VII: Effects of Morphology on Fiber Properties, *Textile Research Journal* February 1977 47: 107-126.
- [47] *High-Speed Fiber Spinning*, Eds Ziabicki A., Kawai H., Wiley, New York, 1985.
- [48] *Advanced Fiber Spinning Technology*, ed. T. Nakajima, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, 1994.
- [49] K.Yildirim, S. Altun, Y. Ulcay, *J. Tekstil ve Konfeksiyon*. 4 (2009) 286-290.
- [50] Foster P.W., Aggarwal R.J., Lu B.I., Gunasekera U.S., Cork C.R., A new concept in cooler design for false-twist texturing systems, *Textile Research Journal*, 72 (2002) 567-572.

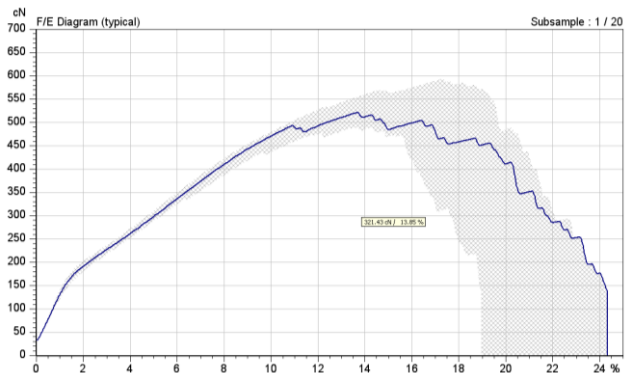
- [51] Callhoff C., Wulfhorst B., Theoretical analysis of the cooling plate in the false-twist texturing process, *Chemical Fibers International* 49 (1999) 159-161.
- [52] Technical Data Publication SDS900, Rieter-Scragg Ltd. (1984).
- [53] Saurer Components GmbH, Texturing discs: Superiorprocess stability and quality, tehnička dokumentacija, 2014.
- [54] CeramTec GmbH, New Dimensions with proven Cerasoft®G Surfaces, tehnička dokumentacija, <http://www.ceramtec.com/friction-discs/>(14.01.2014).
- [55] <http://temco.saurer.com/en/products/texturing-units/> (30.12.2014).
- [56] Morris W.J., Denton M.J., An improved method of friction-twisting in the false-twist-texturing process. Part I: The development of an improved method, *Journal of the Textile Institute*, 66/3 (1975) 116-122.
- [57] Denton M. J., Morris W. J., An improved method of friction-twisting in the false-twist-texturing process. Part II: Theoretical relations between yarn and processing parameters in the improved friction spindle, *Journal of the Textile Institute*, 66/3 (1975) 123-128.
- [58] Oerlikon Barmag, eFK Solutions for manual draw textured yarn production, tehnička dokumentacija, 2010.
- [59] T. Ecambaram, E.W. Afify, Aly El-Shiekh, Heat Transfer in False-Twist Texturing, *Textile Research Journal* 44 (1974) 803-812.
- [60] G. L. Hardegree, D.R. Buchanan, Physical Properties of Textured Polyester Yarns: The Influence of Texturing Temperatures, *Textile Research Journal* 46 (1976) 828-833.
- [61] J. C. Dupeuble, Texturing performance of polyamide yarn on high temperature heaters, *Chemiefasern Textilindustrie*, 43, 11 (1993) E145-E152.
- [62] Du G. W. and Hearle J. W. S., Threadline instability in the false-twist texturing process: Part I: Experimental observations of surging, *J Textile Inst* 80, 1989., p. 203-215.
- [63] Schultz, J. M., Termomechanical Processing: Structure and Properties in Structure Formation, *Polymeric Fibres*, Salem, D. R., Ed, Carl Hanser Verlag: Munich, 2001., p. 425-454.
- [64] G. D, Wilkinson, Draw-textured yarn technology, Monsanto Textiles Company USA, 1974.
- [65] Hearle J. W. S. and al, Structural mechanics of fibres, yarns and fabrics, Wiley-Interscience, New York, USA, 1969.
- [66] AATCC Test Method 20-2007, Fiber Analysis: Qualitative, 2007.
- [67] A.K. Gupta, in: *Manufactured Fibre Technology*, V.B. Gupta, V.K. Kothari Eds., Chapman & Hall, London (1997), p. 203.
- [68] A. Koblyakov, *Laboratory Practice in the Study of Textile Materials*, Mir Publishers, Moscow (1989), p. 200.

- [69] A.A. Hamza, T.Z.N. Sokkar, K.A. El-Farahaty, H.M. El-Dessouky, *Polym. Test.* 23 (2004) 203-208.; I. Karacan, *Fiber. Polym.* 6 (2005) 186-199.
- [70] DIN 53840-1, Determination of parameters for the crimp of textured filament yarns; filament yarns with a linear density exceeding 500 dtex (1983).
- [71] J. Stepanovic, D. Radivojevic, V. Petrovic, C. Besic, Projecting of deformation characteristics of single and twisted wool yarns, *Industria textila*, No. 3, 2010, 95-105.
- [72] V. B . Gupta, M. Kumar, *Tex. Res. J.* 45 (1975) 382-388.
- [73] S. Canoglu, *Fibres Text East. Eur.* 17/4 (2009) 35-39.

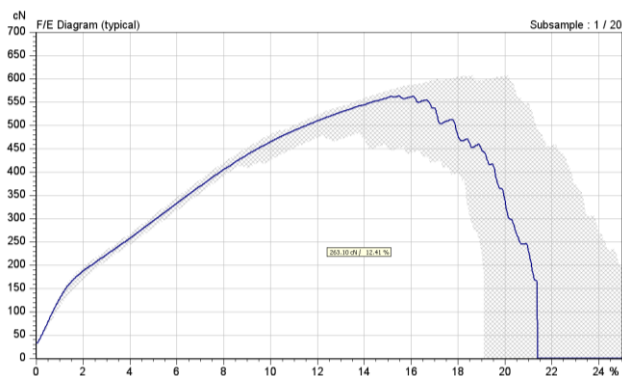
PRILOG



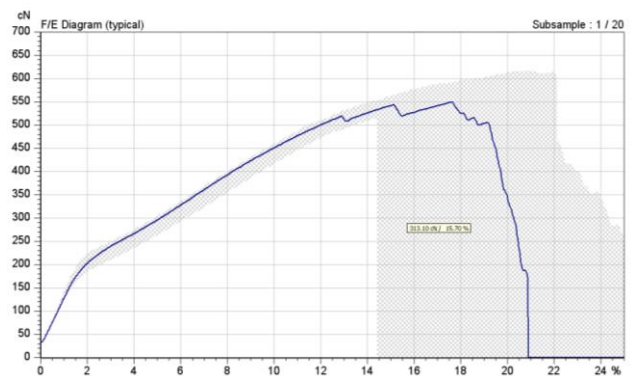
Uzorak 1. Tipična kriva $F(\epsilon)$



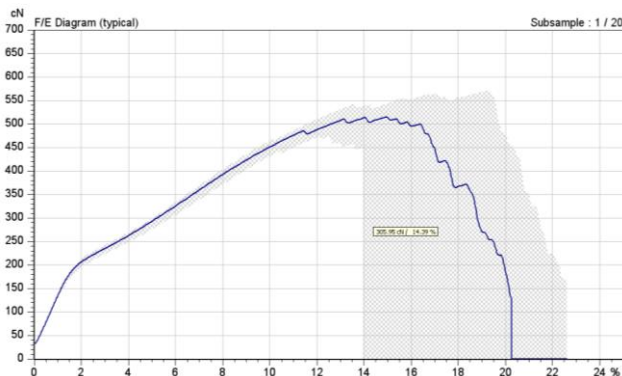
Uzorak 2. Tipična kriva $F(\epsilon)$



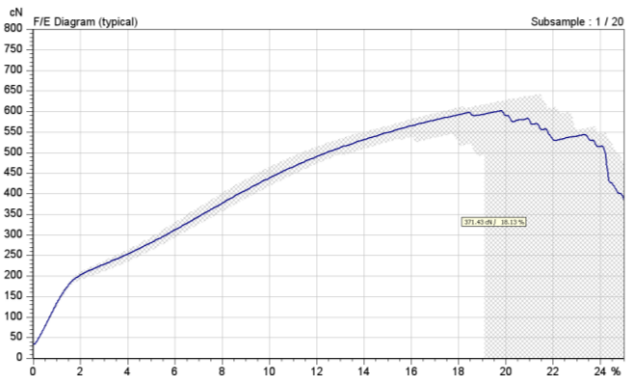
Uzorak 3. Tipična kriva $F(\epsilon)$



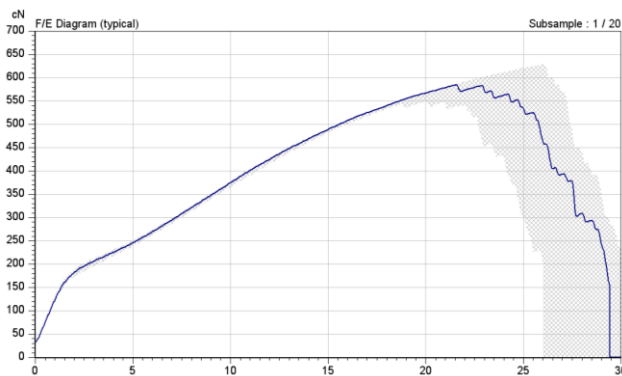
Uzorak 4. Tipična kriva $F(\epsilon)$



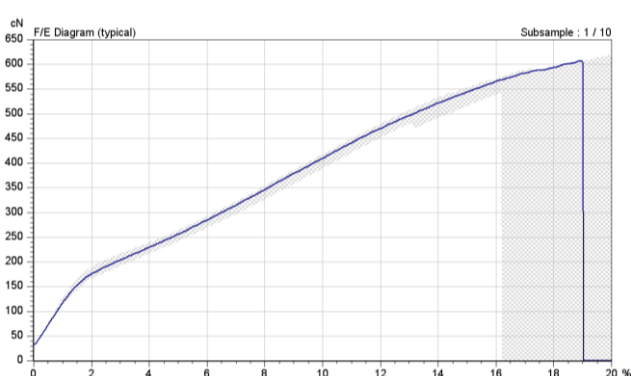
Uzorak 5. Tipična kriva $F(\epsilon)$



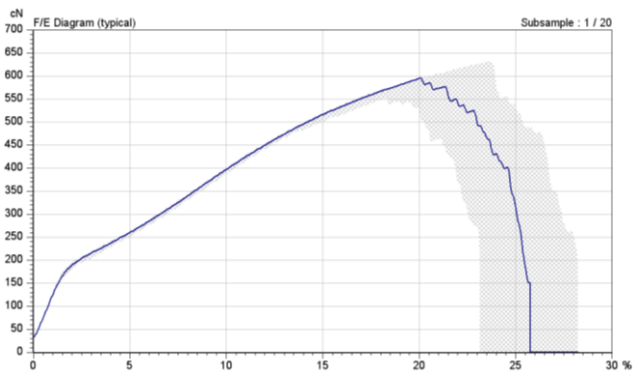
Uzorak 6. Tipična kriva $F(\epsilon)$



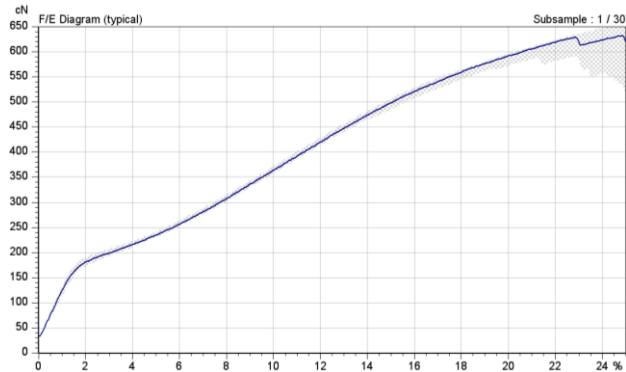
Uzorak 7. Tipična kriva $F(\epsilon)$



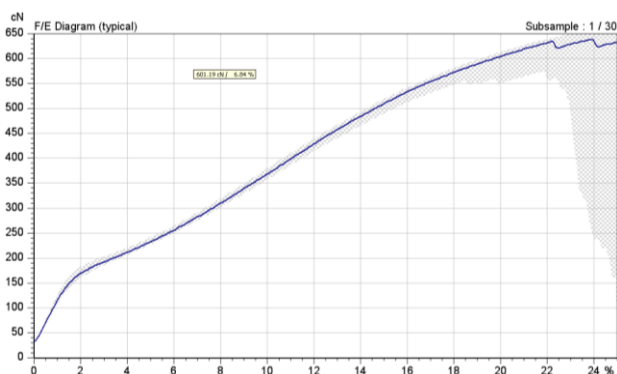
Uzorak 8. Tipična kriva $F(\epsilon)$



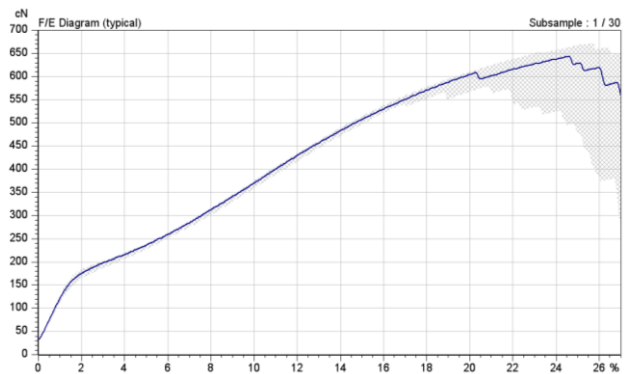
Uzorak 9. Tipična kriva $F(\epsilon)$



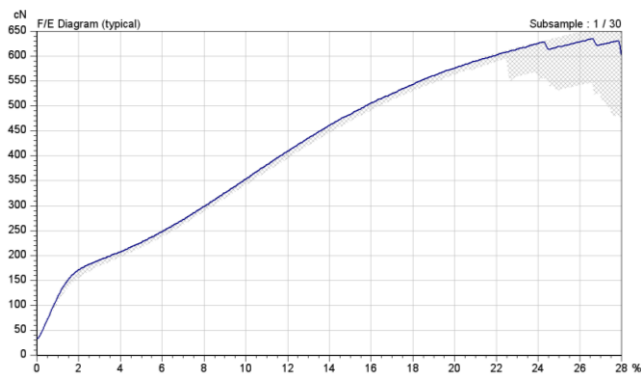
Uzorak 10. Tipična kriva $F(\epsilon)$



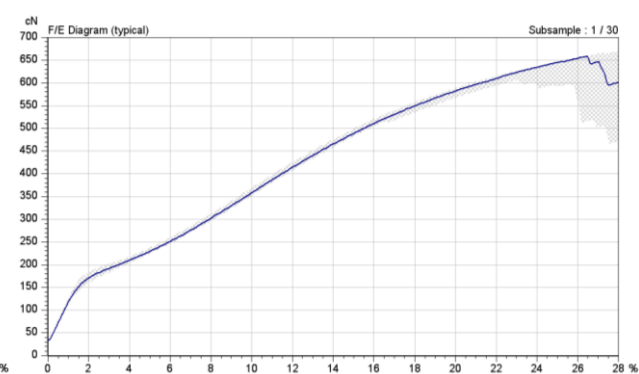
Uzorak 11. Tipična kriva $F(\epsilon)$



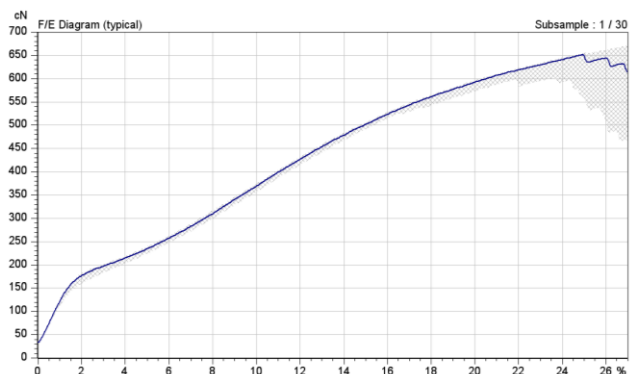
Uzorak 12. Tipična kriva $F(\epsilon)$



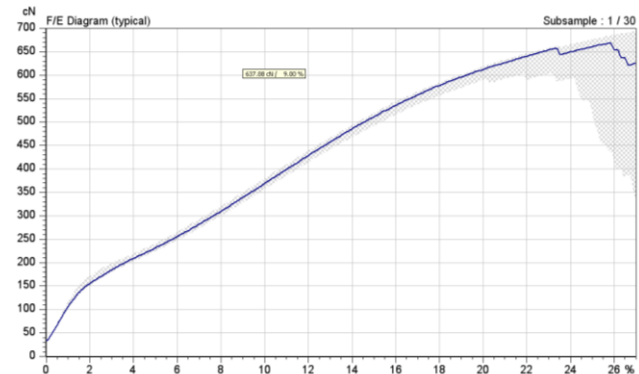
Uzorak 13. Tipična kriva $F(\epsilon)$



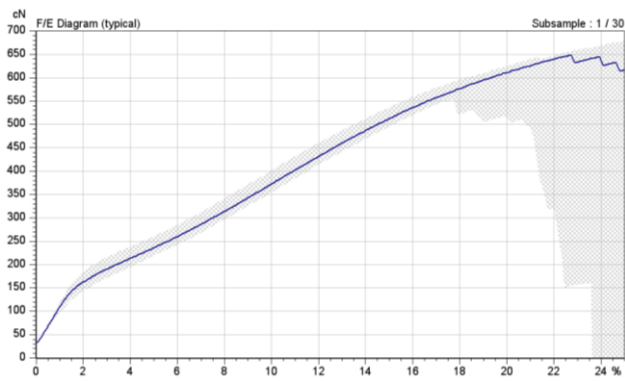
Uzorak 14. Tipična kriva $F(\epsilon)$



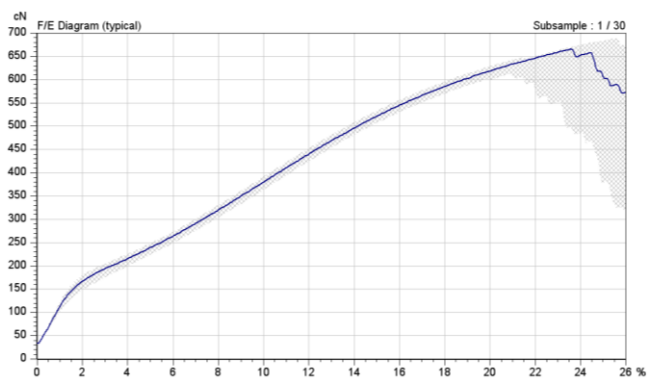
Uzorak 15. Tipična kriva $F(\epsilon)$



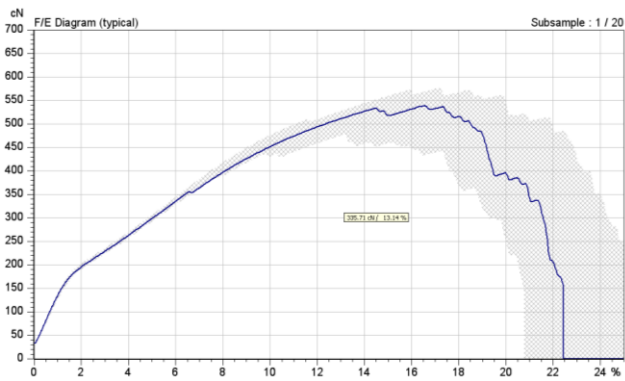
Uzorak 16. Tipična kriva $F(\epsilon)$



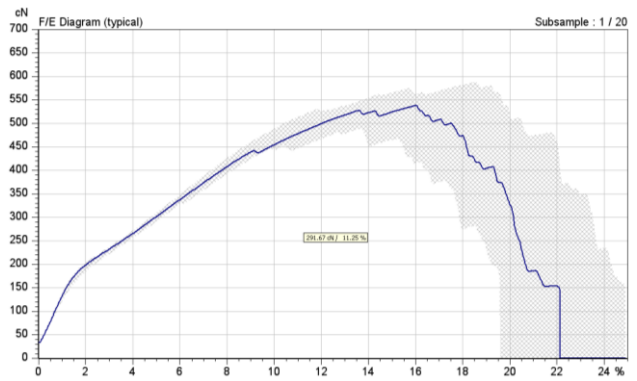
Uzorak 17. Tipična kriva $F(\epsilon)$



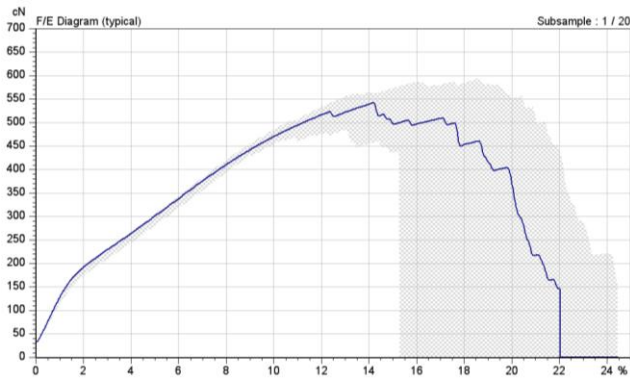
Uzorak 18. Tipična kriva $F(\epsilon)$



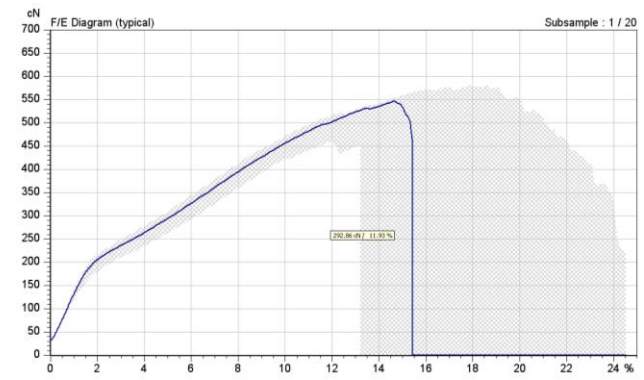
Uzorak 19. Tipična kriva $F(\epsilon)$



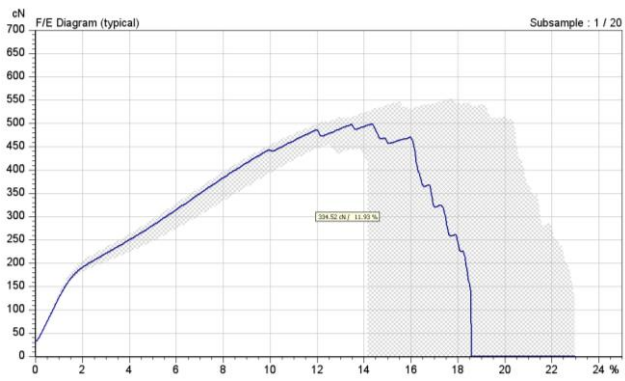
Uzorak 20. Tipična kriva $F(\epsilon)$



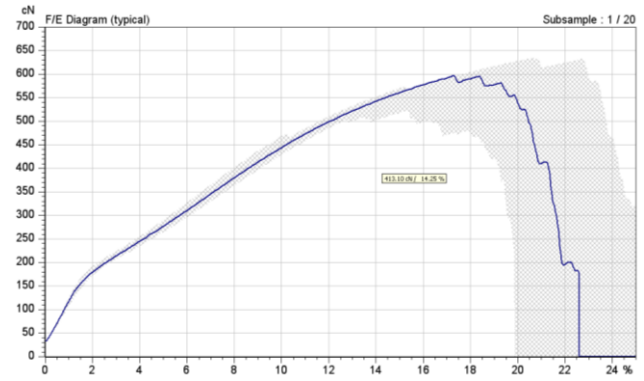
Uzorak 21. Tipična kriva $F(\epsilon)$



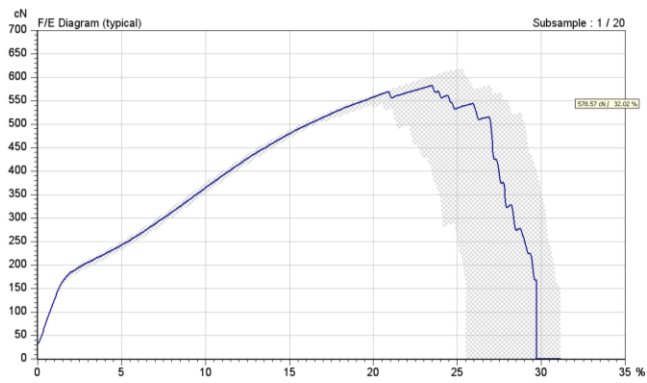
Uzorak 22. Tipična kriva $F(\epsilon)$



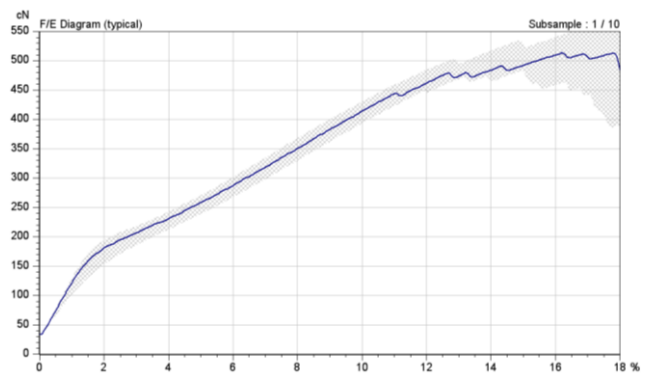
Uzorak 23. Tipična kriva $F(\epsilon)$



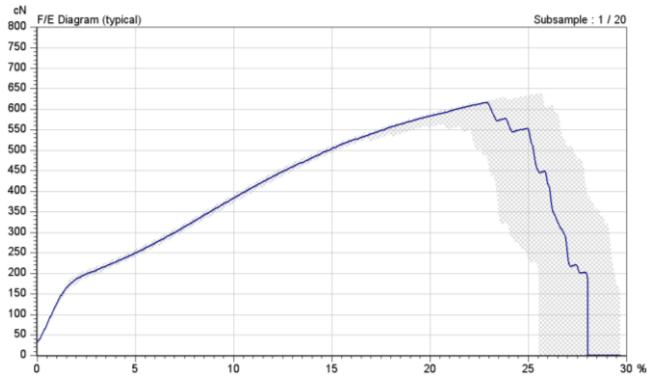
Uzorak 24. Tipična kriva $F(\epsilon)$



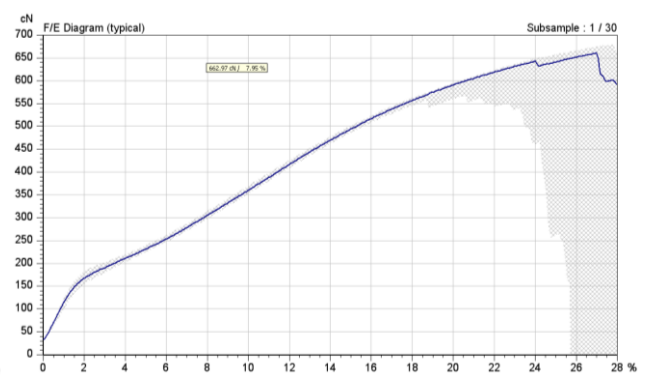
Uzorak 25. Tipična kriva $F(\epsilon)$



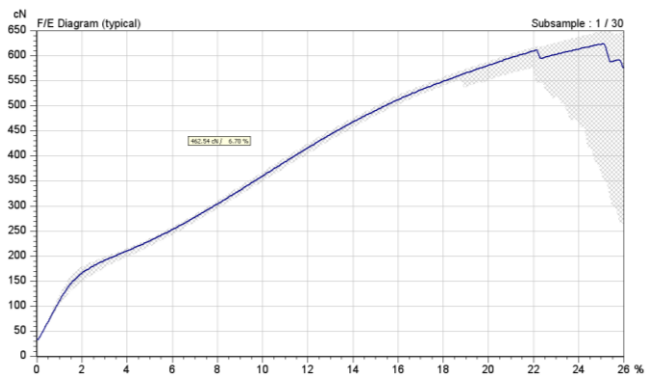
Uzorak 26. Tipična kriva $F(\epsilon)$



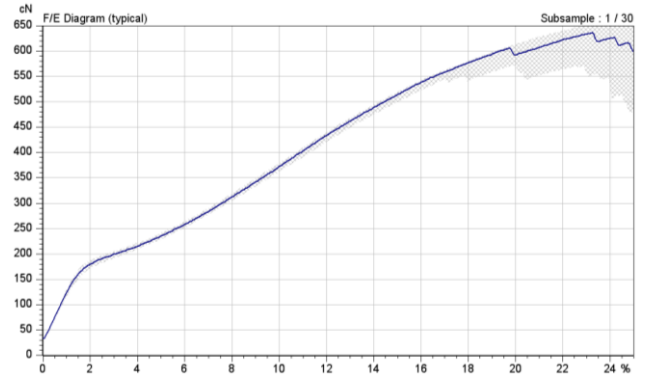
Uzorak 27. Tipična kriva $F(\epsilon)$



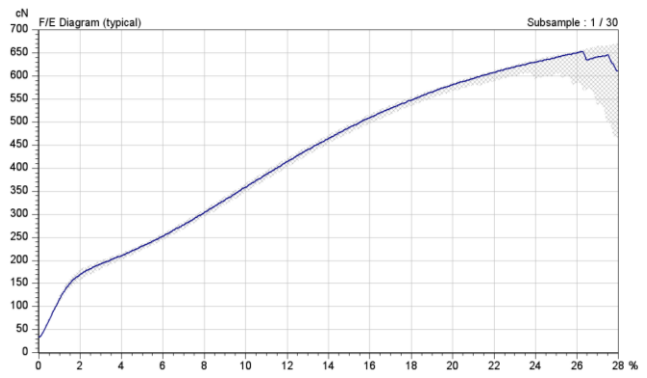
Uzorak 28. Tipična kriva $F(\epsilon)$



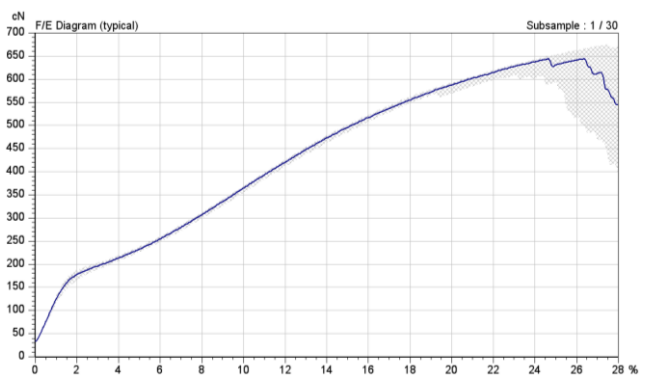
Uzorak 29. Tipična kriva $F(\epsilon)$



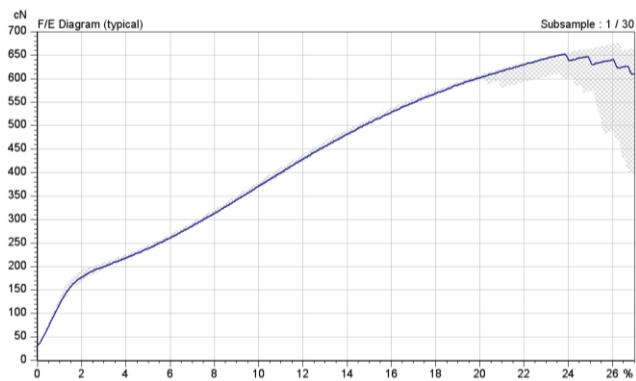
Uzorak 30. Tipična kriva $F(\epsilon)$



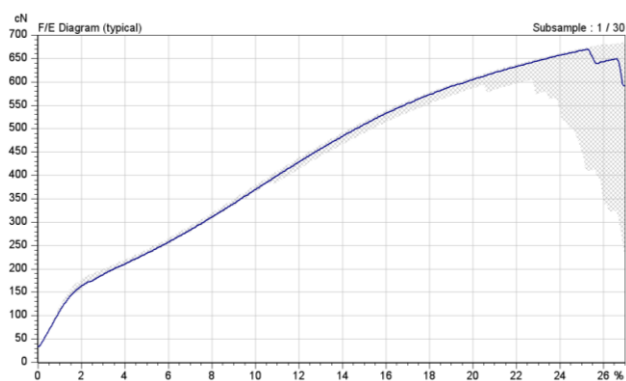
Uzorak 31. Tipična kriva $F(\epsilon)$



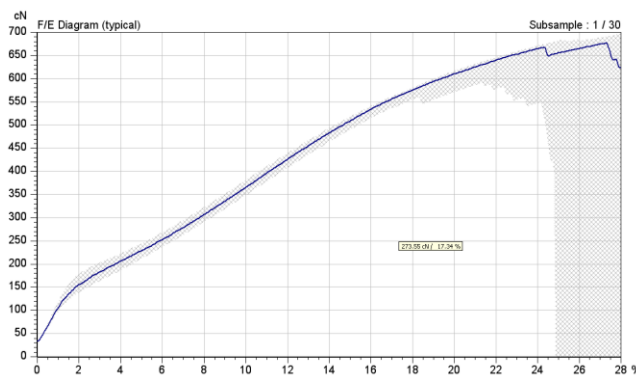
Uzorak 32. Tipična kriva $F(\epsilon)$



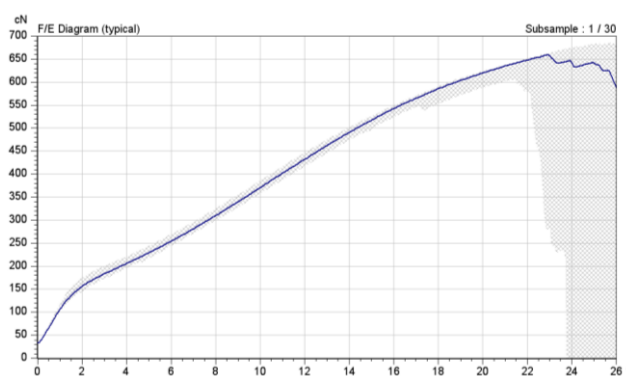
Uzorak 33. Tipična kriva $F(\epsilon)$



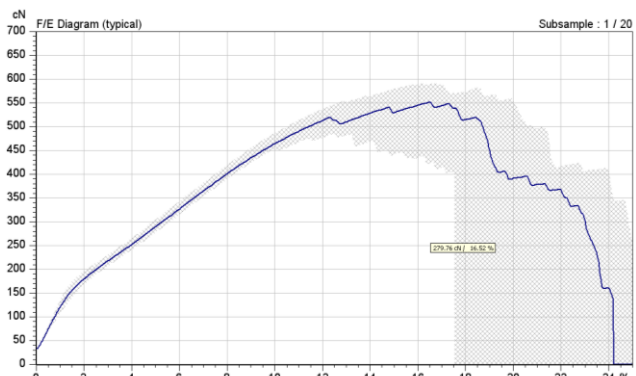
Uzorak 34. Tipična kriva $F(\epsilon)$



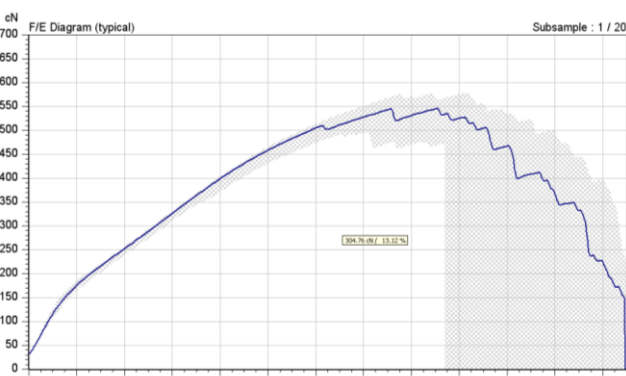
Uzorak 35. Tipična kriva $F(\epsilon)$



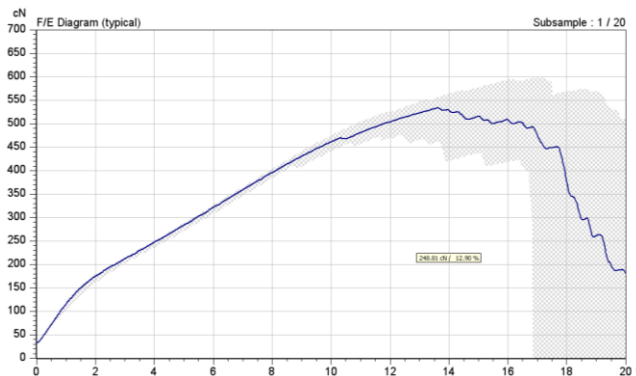
Uzorak 36. Tipična kriva $F(\epsilon)$



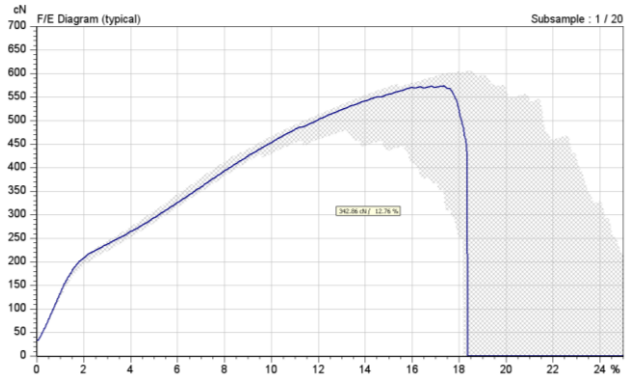
Uzorak 37. Tipična kriva $F(\epsilon)$



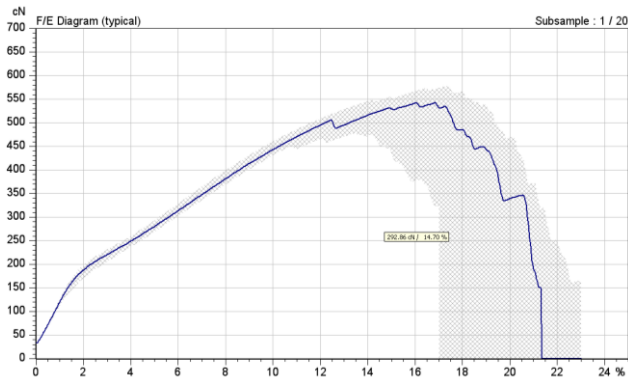
Uzorak 38. Tipična kriva $F(\epsilon)$



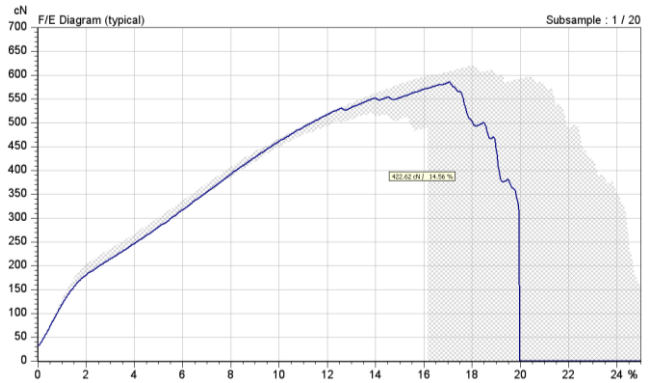
Uzorak 39. Tipična kriva $F(\epsilon)$



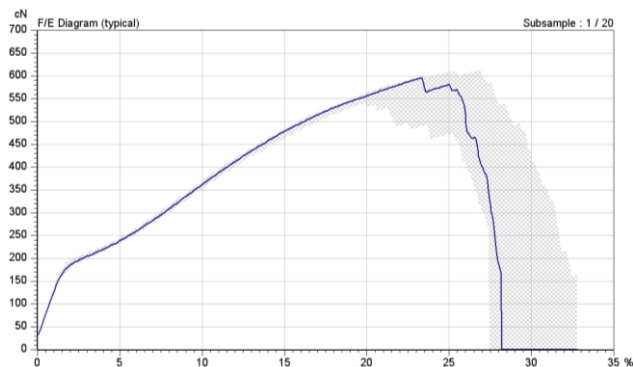
Uzorak 40. Tipična kriva $F(\epsilon)$



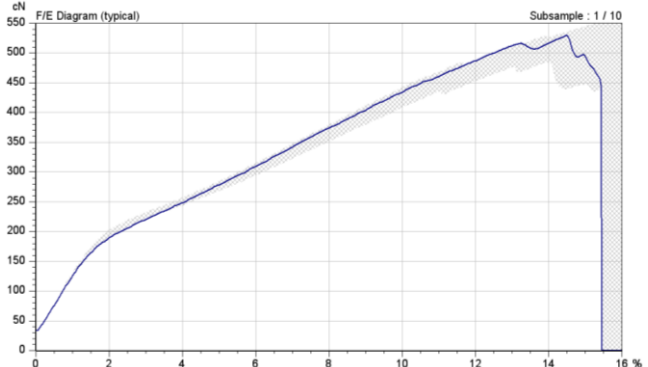
Uzorak 41. Tipična kriva $F(\epsilon)$



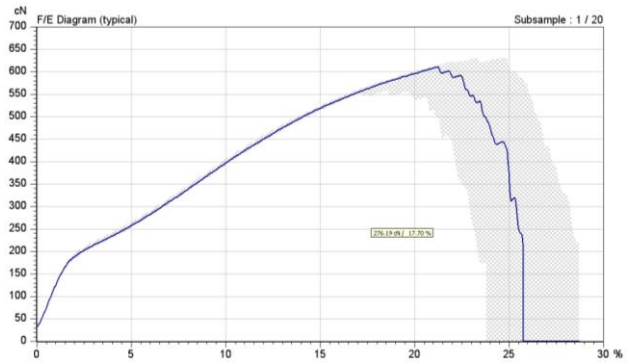
Uzorak 42. Tipična kriva $F(\epsilon)$



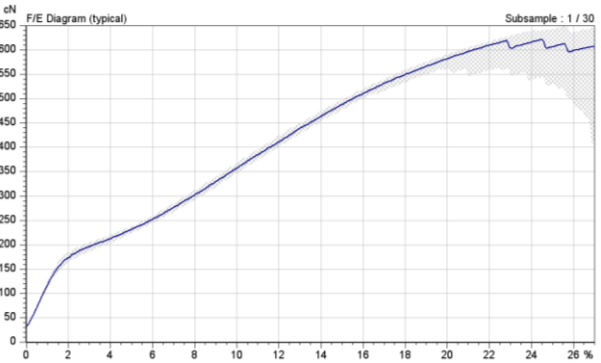
Uzorak 43. Tipična kriva $F(\epsilon)$



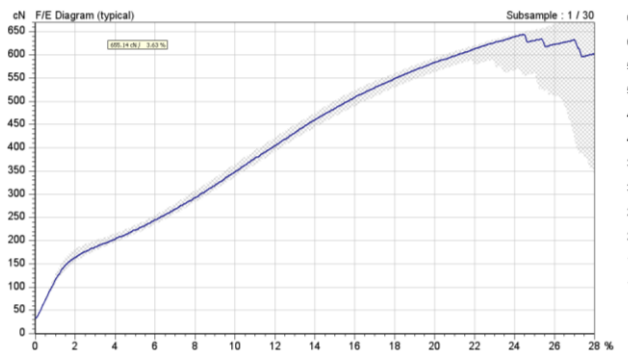
Uzorak 44. Tipična kriva $F(\epsilon)$



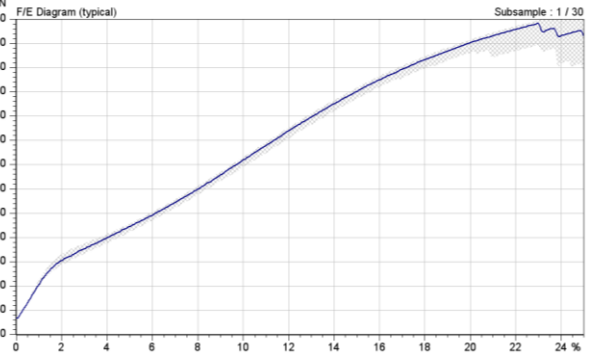
Uzorak 45. Tipična kriva $F(\epsilon)$



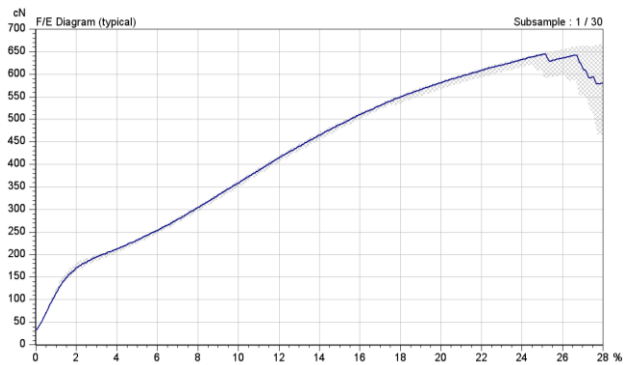
Uzorak 46. Tipična kriva $F(\epsilon)$



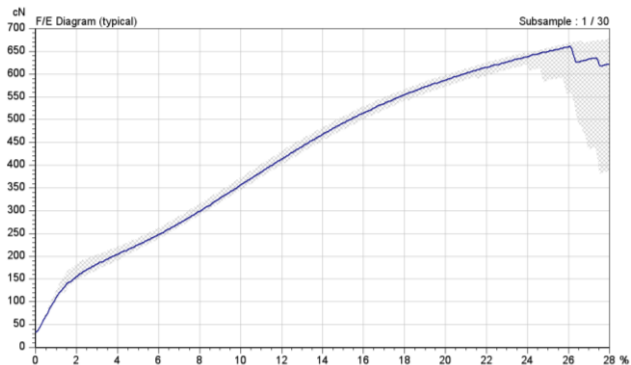
Uzorak 47. Tipična kriva $F(\epsilon)$



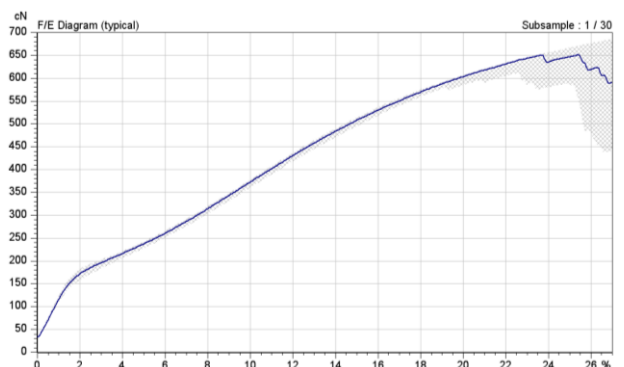
Uzorak 48. Tipična kriva $F(\epsilon)$



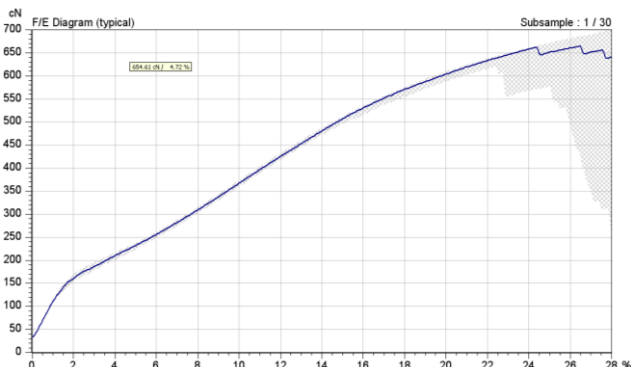
Uzorak 49. Tipična kriva $F(\epsilon)$



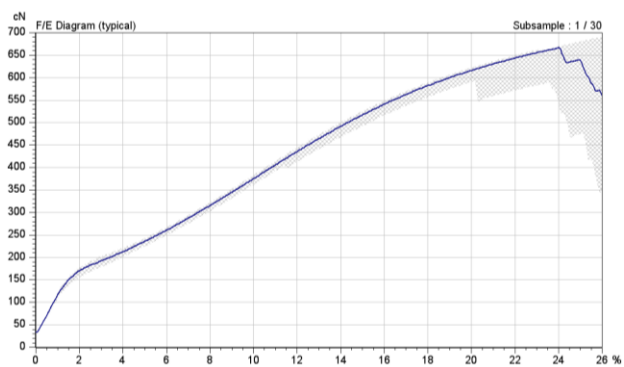
Uzorak 50. Tipična kriva $F(\epsilon)$



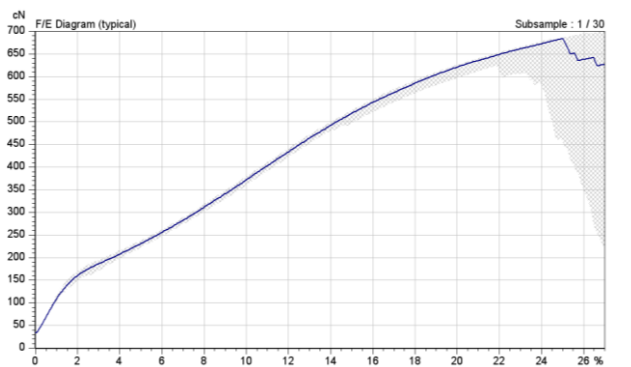
Uzorak 51. Tipična kriva $F(\epsilon)$



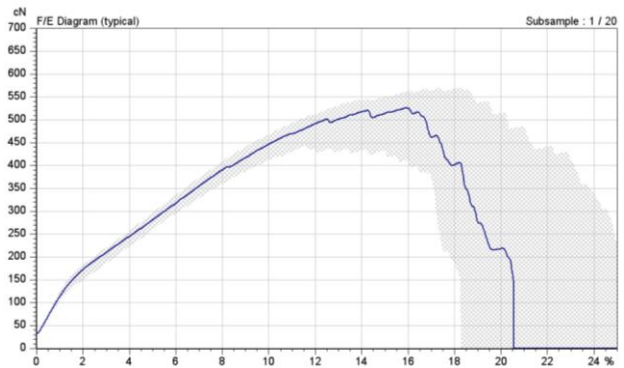
Uzorak 52. Tipična kriva $F(\epsilon)$



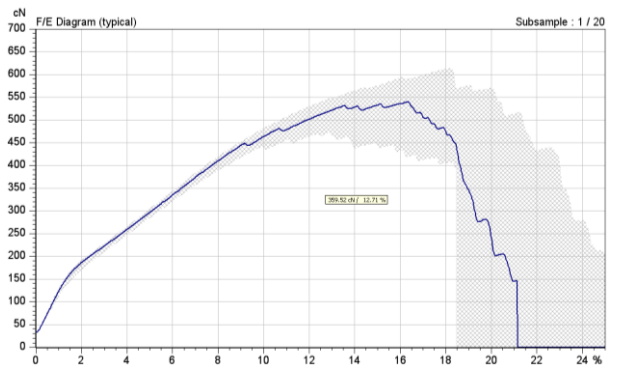
Uzorak 53. Tipična kriva $F(\epsilon)$



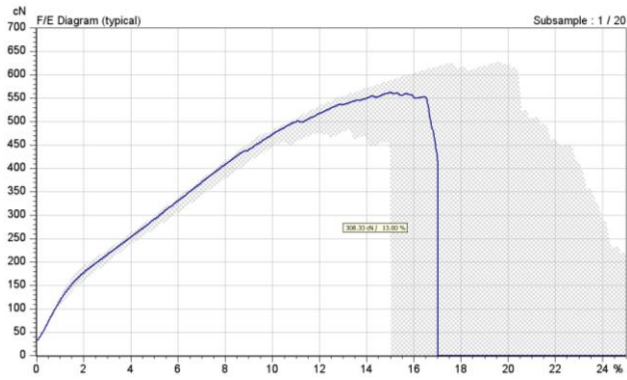
Uzorak 54. Tipična kriva $F(\epsilon)$



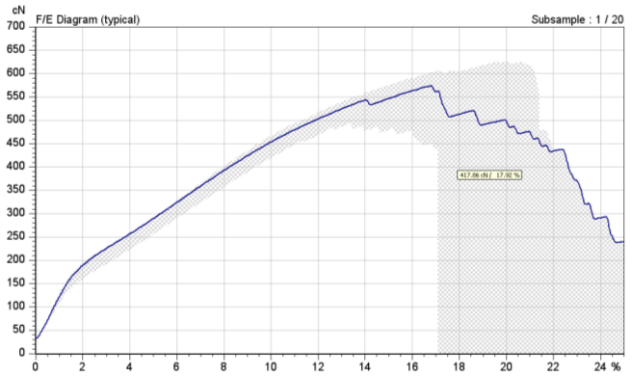
Uzorak 55. Tipična kriva $F(\epsilon)$



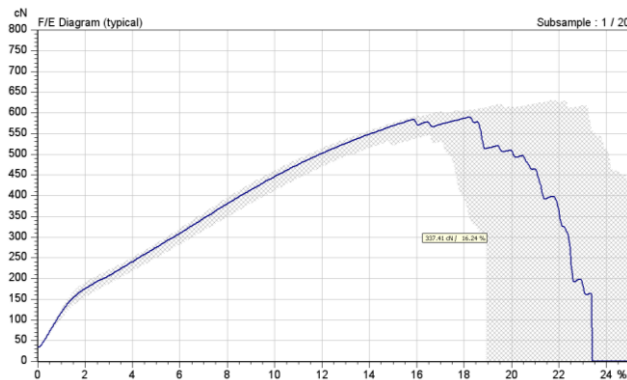
Uzorak 56. Tipična kriva $F(\epsilon)$



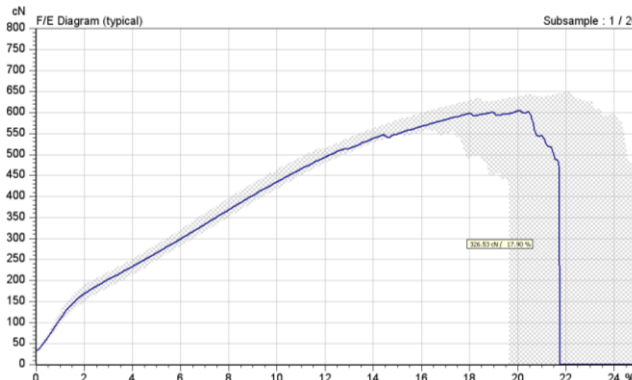
Uzorak 57. Tipična kriva $F(\epsilon)$



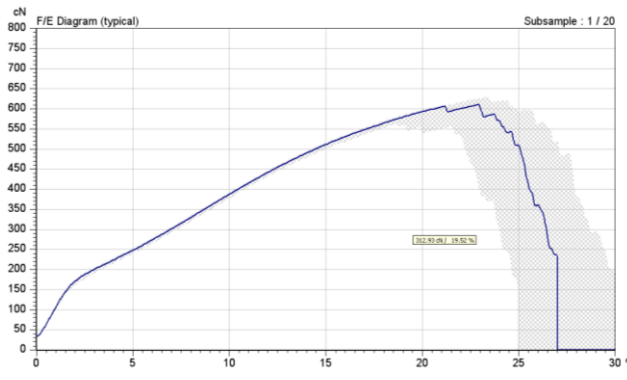
Uzorak 58. Tipična kriva $F(\epsilon)$



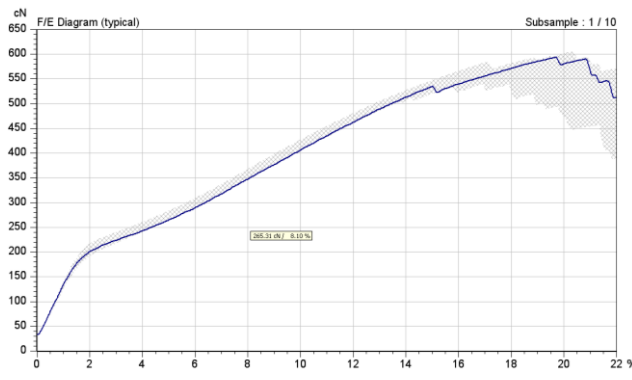
Uzorak 59. Tipična kriva $F(\epsilon)$



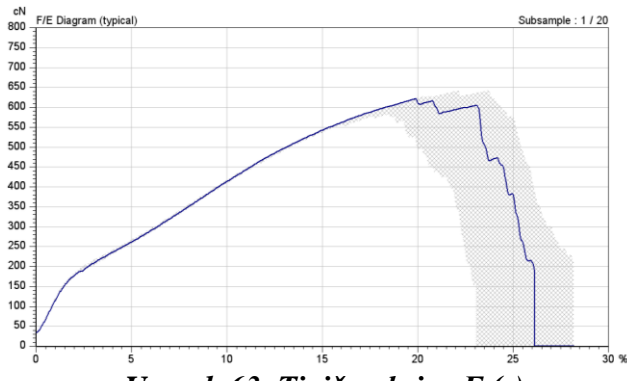
Uzorak 60. Tipična kriva $F(\epsilon)$



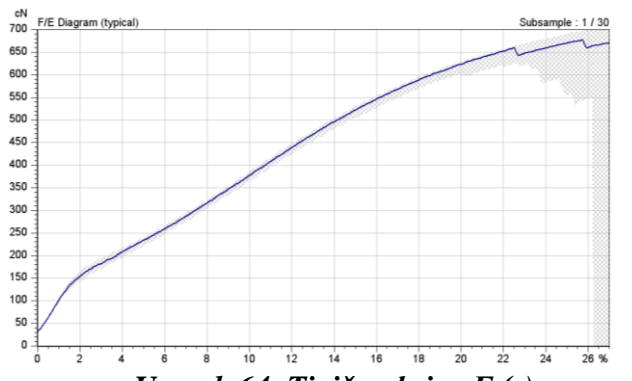
Uzorak 61. Tipična kriva $F(\epsilon)$



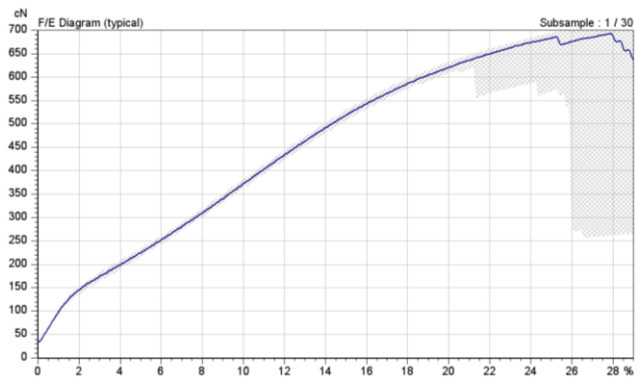
Uzorak 62. Tipična kriva $F(\epsilon)$



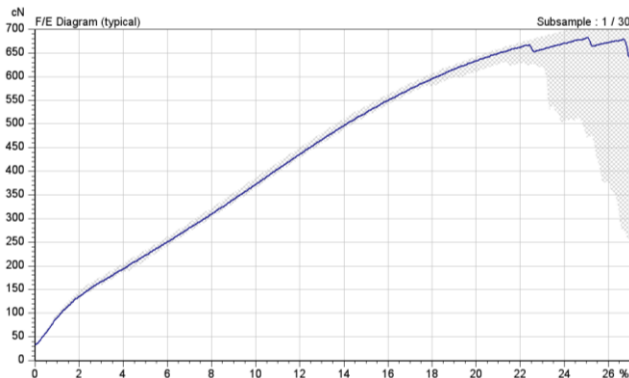
Uzorak 63. Tipična kriva $F(\epsilon)$



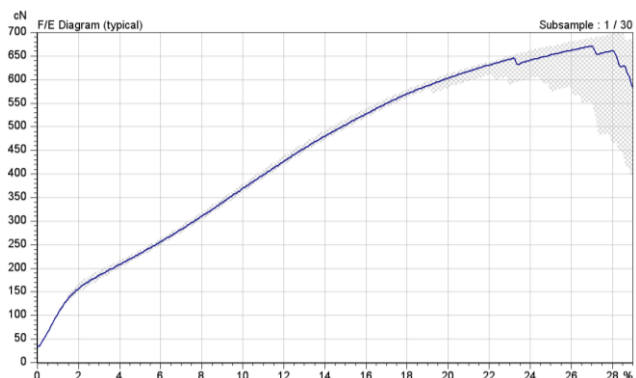
Uzorak 64. Tipična kriva $F(\epsilon)$



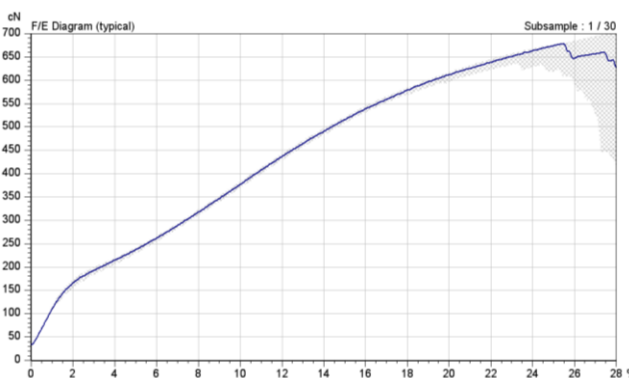
Uzorak 65. Tipična kriva $F(\epsilon)$



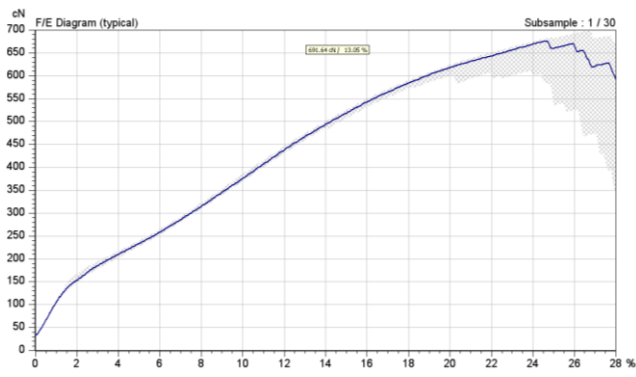
Uzorak 66. Tipična kriva $F(\epsilon)$



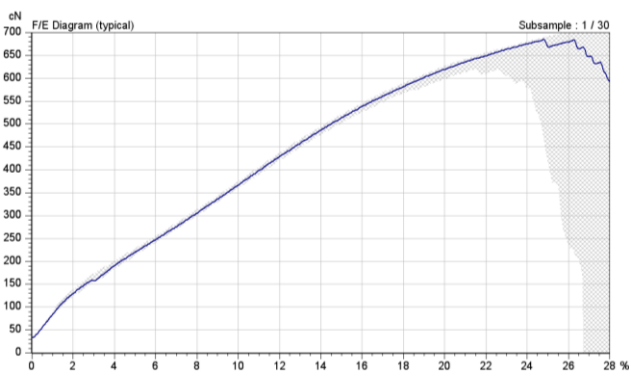
Uzorak 67. Tipična kriva $F(\epsilon)$



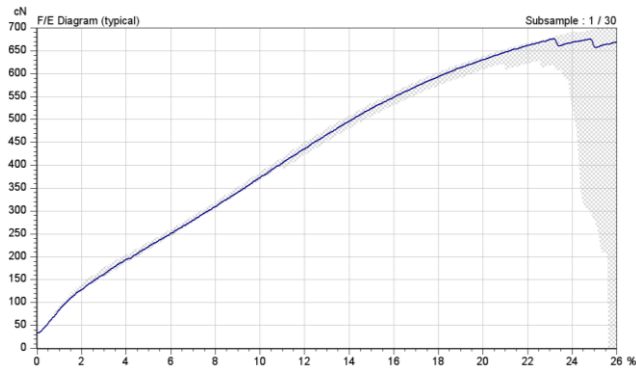
Uzorak 68. Tipična kriva $F(\epsilon)$



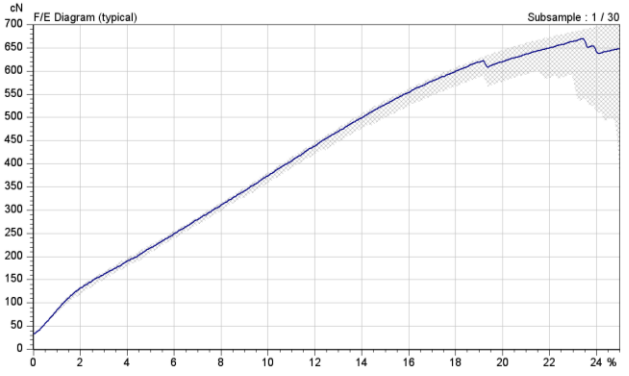
Uzorak 69. Tipična kriva $F(\epsilon)$



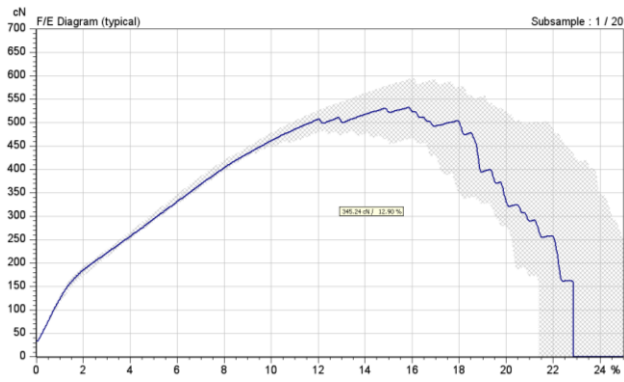
Uzorak 70. Tipična kriva $F(\epsilon)$



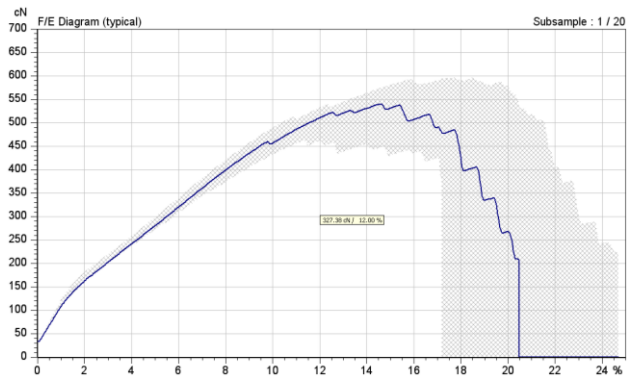
Uzorak 71. Tipična kriva $F(\epsilon)$



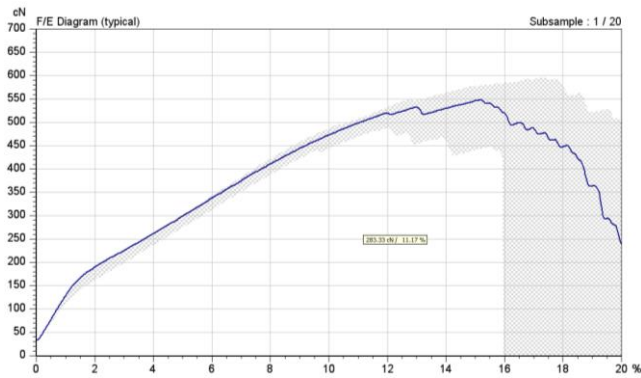
Uzorak 72. Tipična kriva $F(\epsilon)$



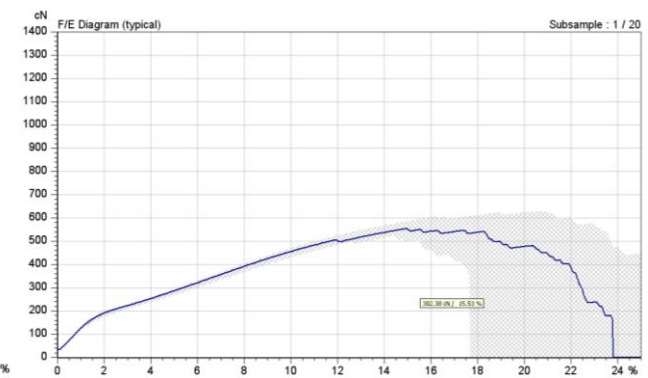
Uzorak 73. Tipična kriva $F(\epsilon)$



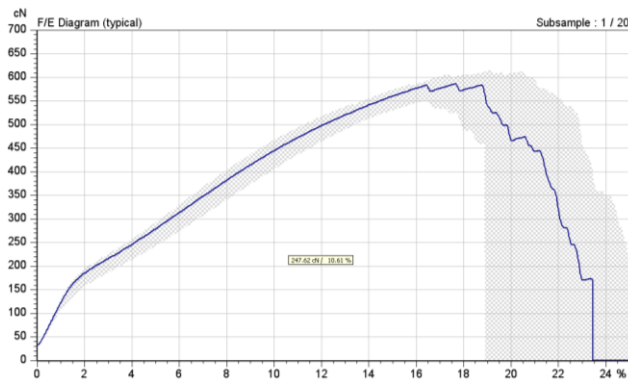
Uzorak 74. Tipična kriva $F(\epsilon)$



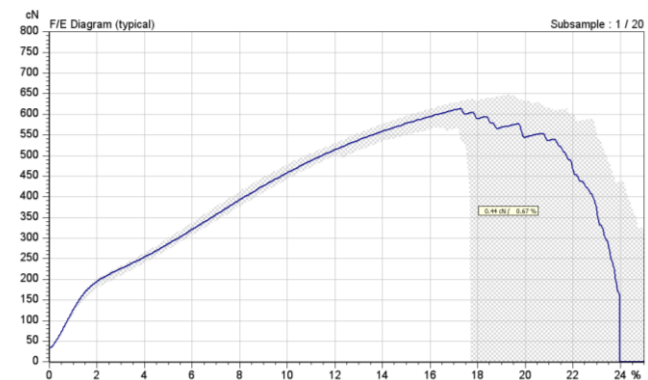
Uzorak 75. Tipična kriva $F(\epsilon)$



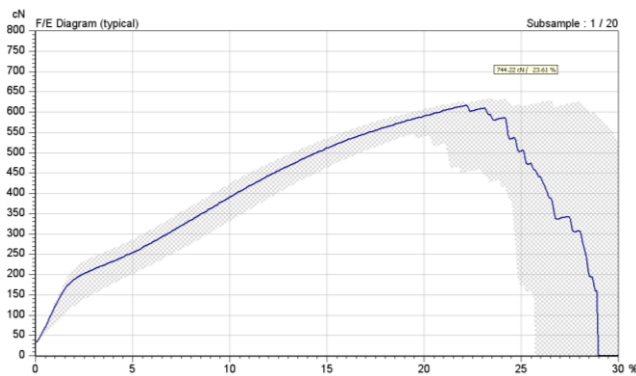
Uzorak 76. Tipična kriva $F(\epsilon)$



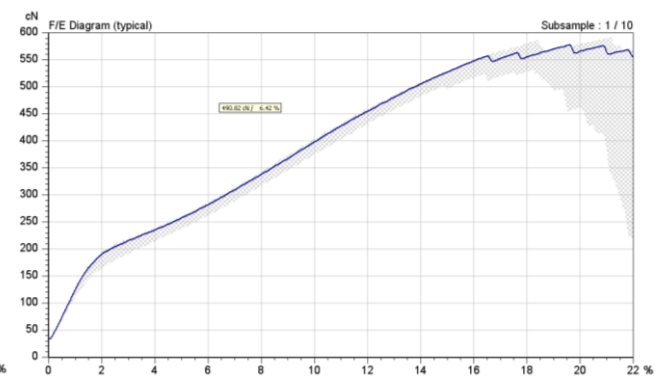
Uzorak 77. Tipična kriva $F(\epsilon)$



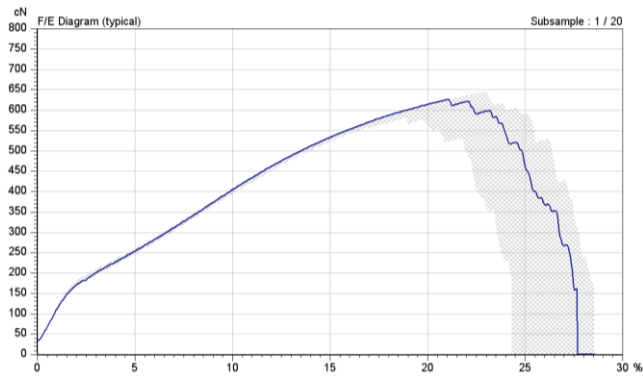
Uzorak 78. Tipična kriva $F(\epsilon)$



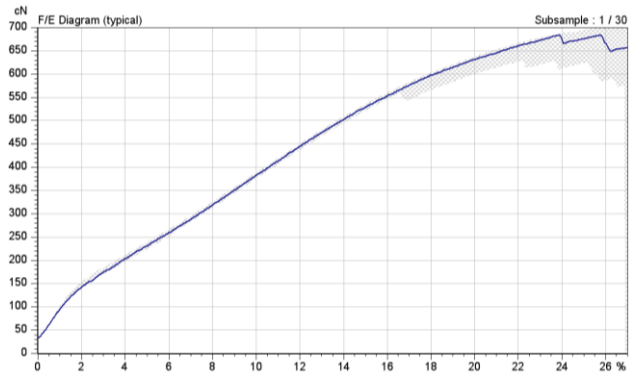
Uzorak 79. Tipična kriva $F(\epsilon)$



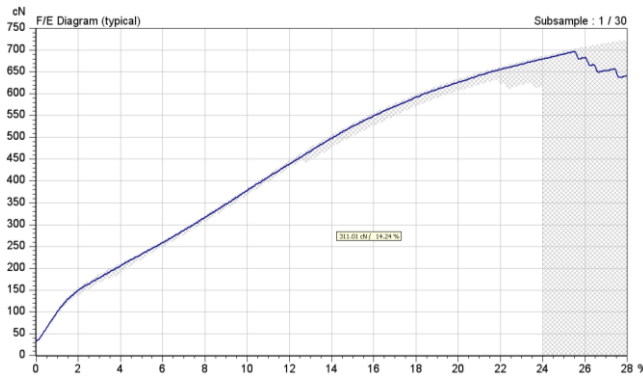
Uzorak 80. Tipična kriva $F(\epsilon)$



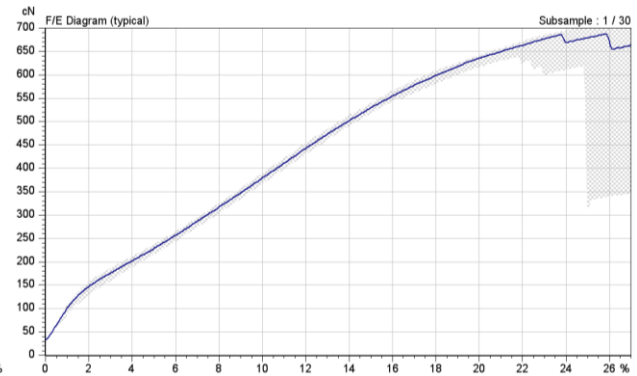
Uzorak 81. Tipična kriva $F(\epsilon)$



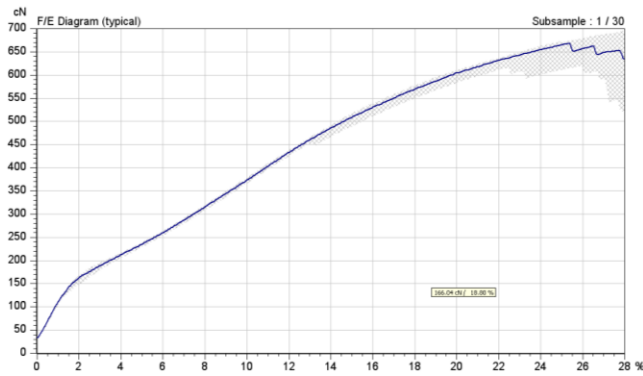
Uzorak 82. Tipična kriva $F(\epsilon)$



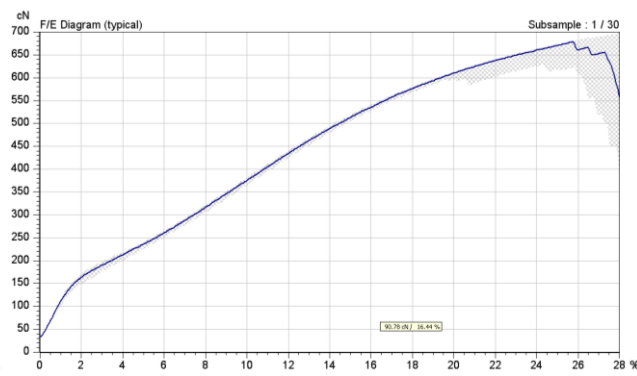
Uzorak 83. Tipična kriva $F(\epsilon)$



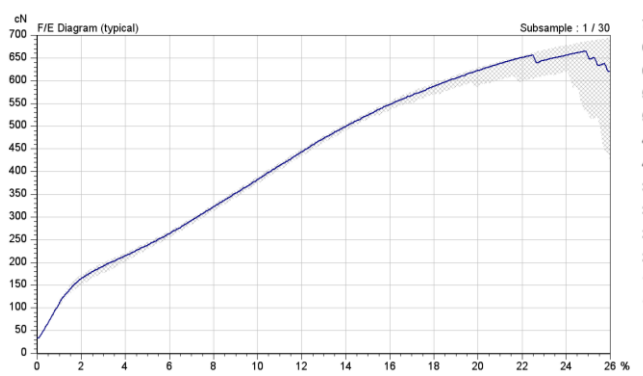
Uzorak 84. Tipična kriva $F(\epsilon)$



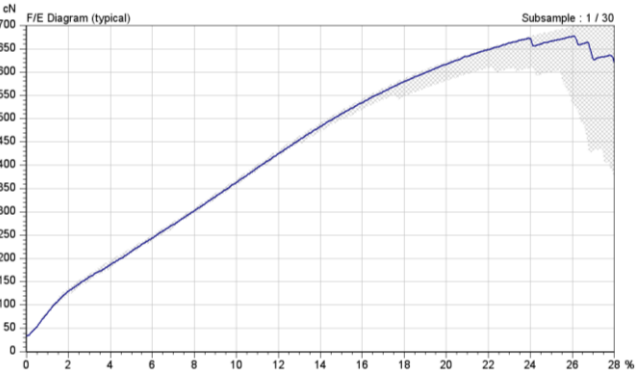
Uzorak 85. Tipična kriva $F(\epsilon)$



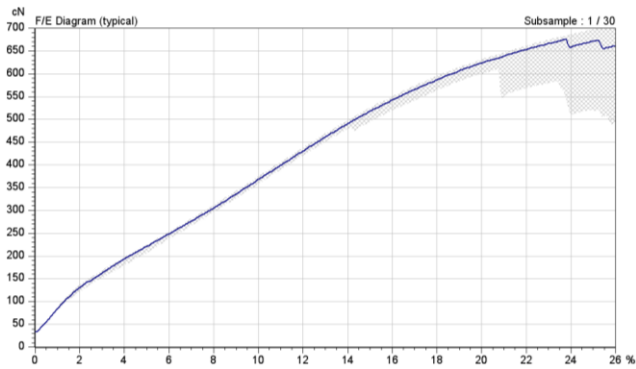
Uzorak 86. Tipična kriva $F(\epsilon)$



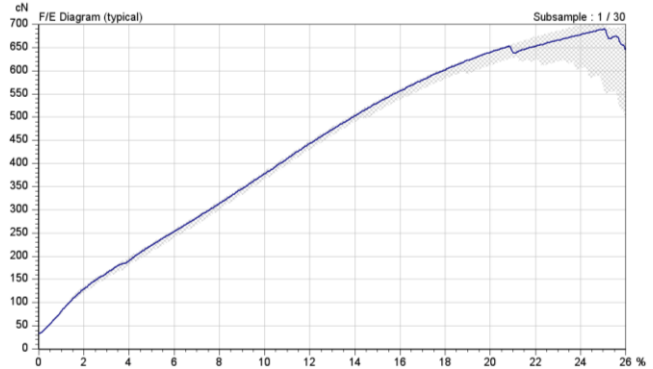
Uzorak 87. Tipična kriva $F(\epsilon)$



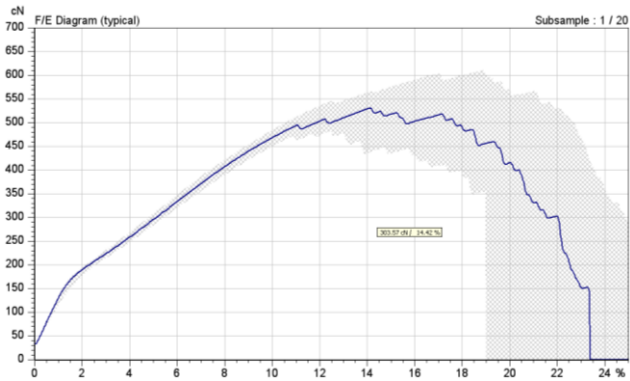
Uzorak 88. Tipična kriva $F(\epsilon)$



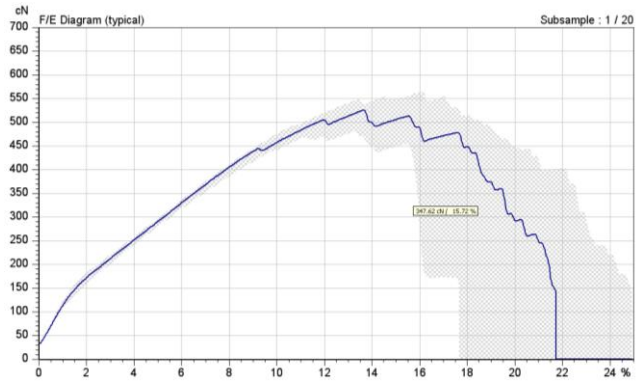
Uzorak 89. Tipična kriva $F(\epsilon)$



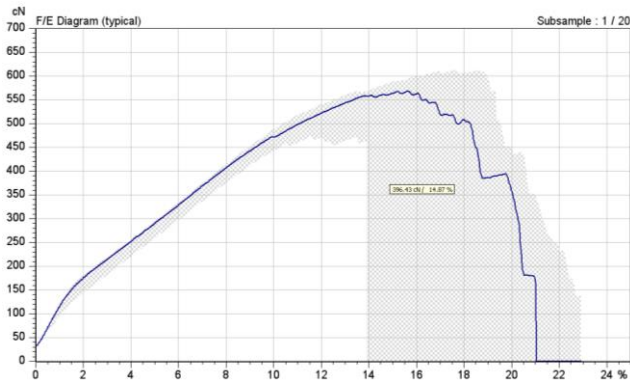
Uzorak 90. Tipična kriva $F(\epsilon)$



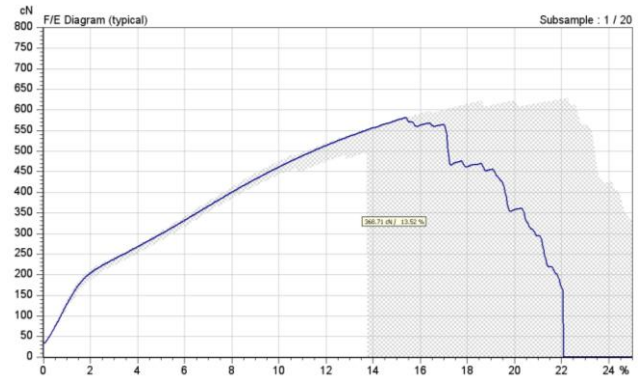
Uzorak 91. Tipična kriva $F(\epsilon)$



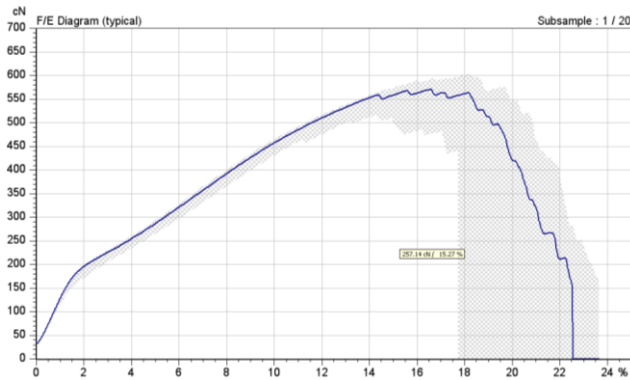
Uzorak 92. Tipična kriva $F(\epsilon)$



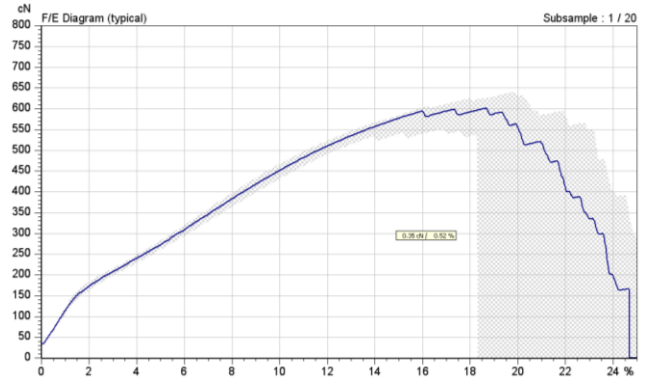
Uzorak 93. Tipična kriva $F(\epsilon)$



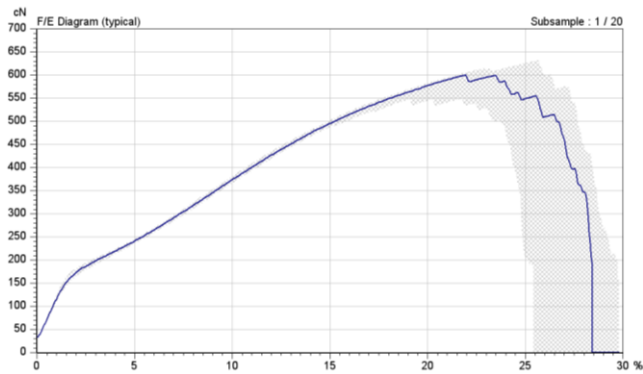
Uzorak 94. Tipična kriva $F(\epsilon)$



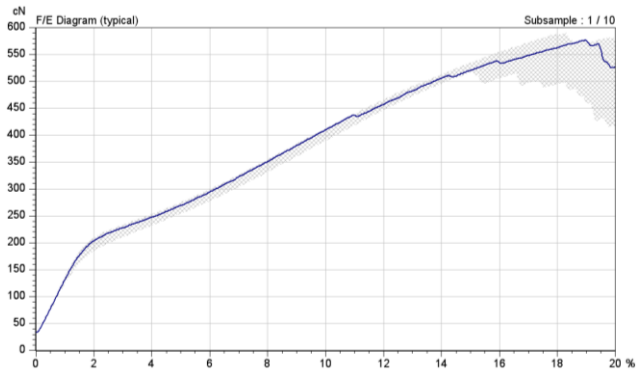
Uzorak 95. Tipična kriva $F(\epsilon)$



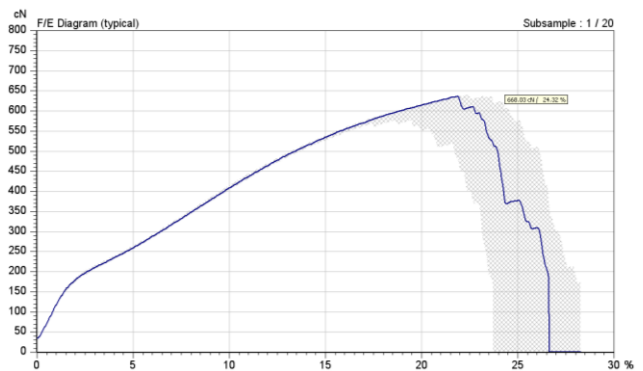
Uzorak 96. Tipična kriva $F(\epsilon)$



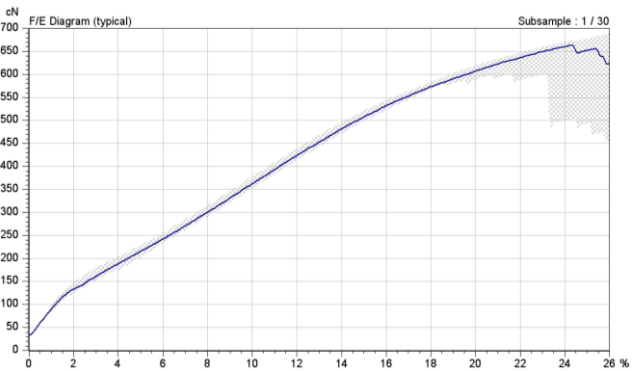
Uzorak 97. Tipična kriva $F(\epsilon)$



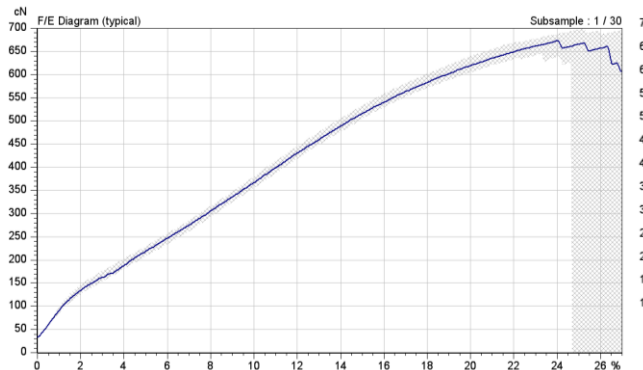
Uzorak 98. Tipična kriva $F(\epsilon)$



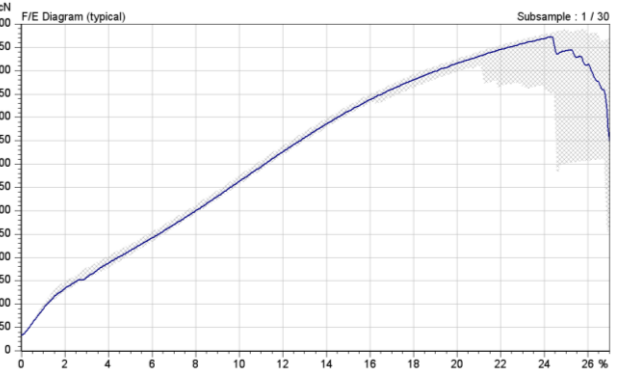
Uzorak 99. Tipična kriva $F(\epsilon)$



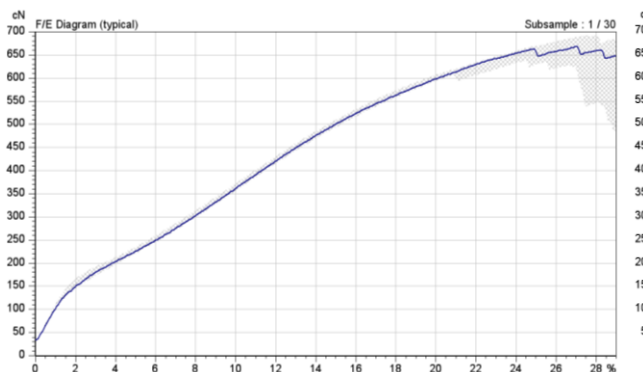
Uzorak 100. Tipična kriva $F(\epsilon)$



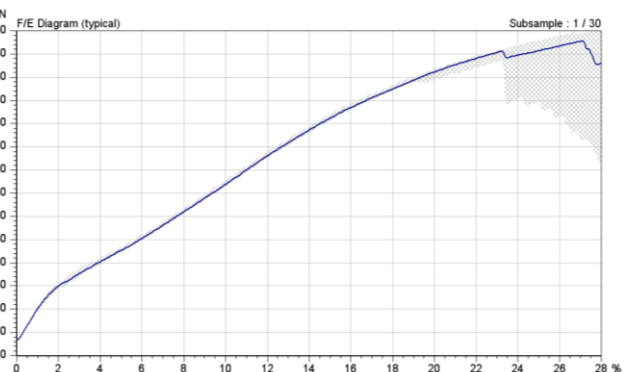
Uzorak 101. Tipična kriva $F(\epsilon)$



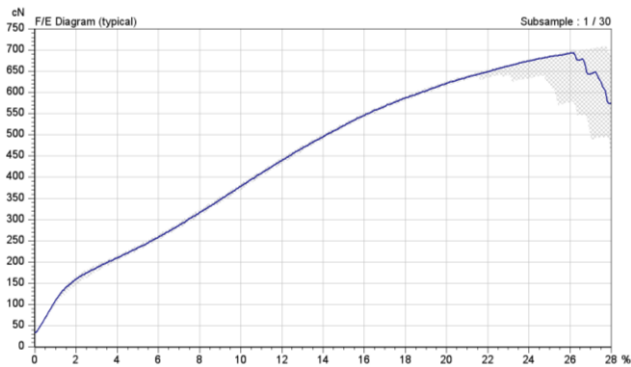
Uzorak 102. Tipična kriva $F(\epsilon)$



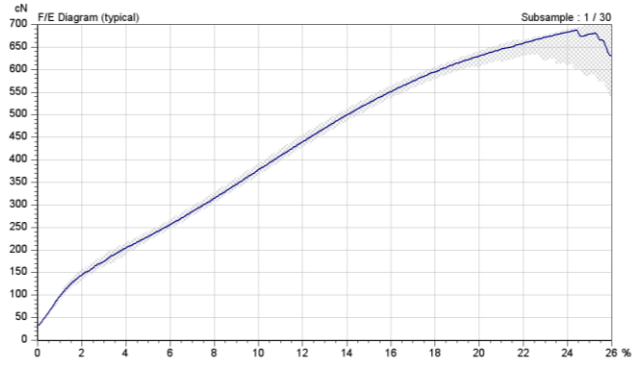
Uzorak 103. Tipična kriva $F(\epsilon)$



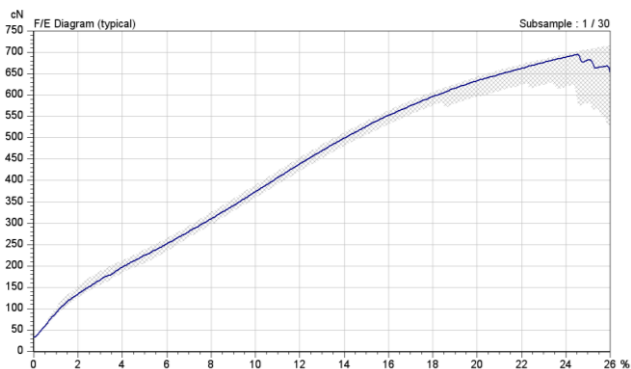
Uzorak 104. Tipična kriva $F(\epsilon)$



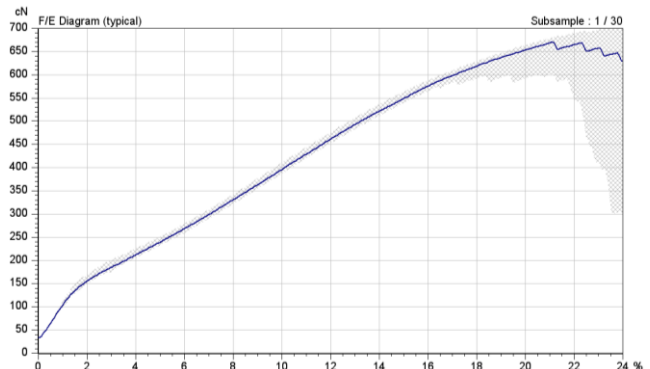
Uzorak 105. Tipična kriva $F(\epsilon)$



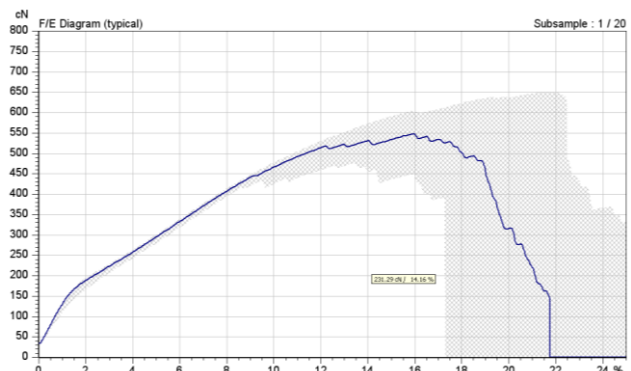
Uzorak 106. Tipična kriva $F(\epsilon)$



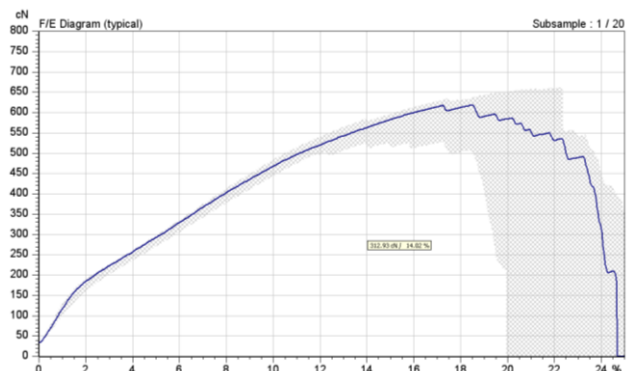
Uzorak 107. Tipična kriva $F(\epsilon)$



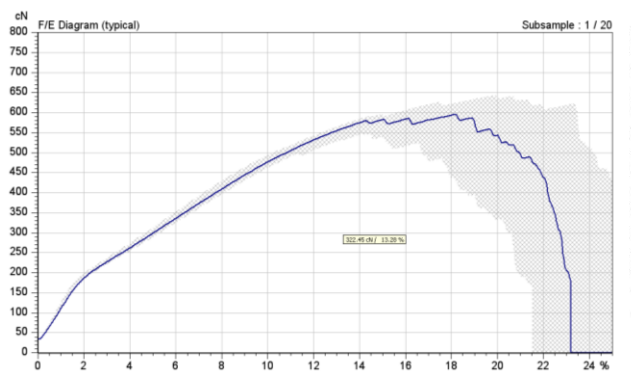
Uzorak 108. Tipična kriva $F(\epsilon)$



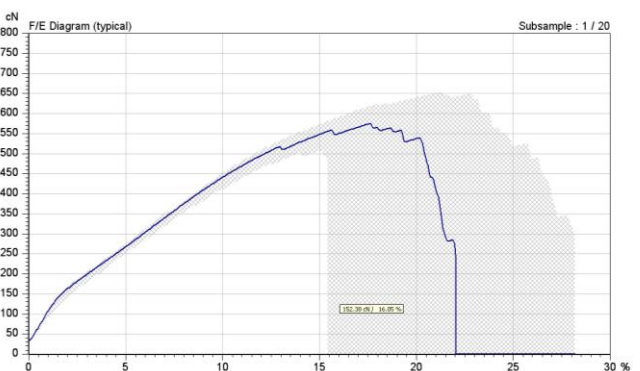
Uzorak 109. Tipična kriva $F(\epsilon)$



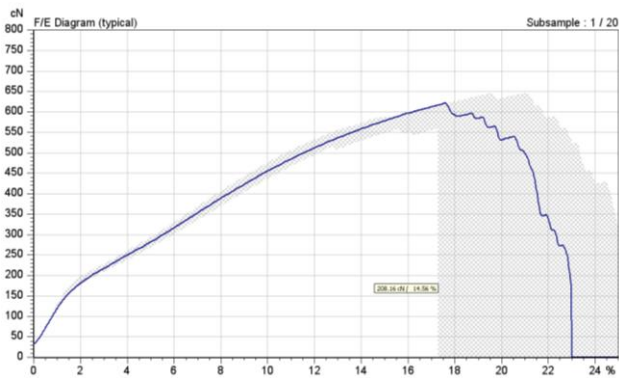
Uzorak 110. Tipična kriva $F(\epsilon)$



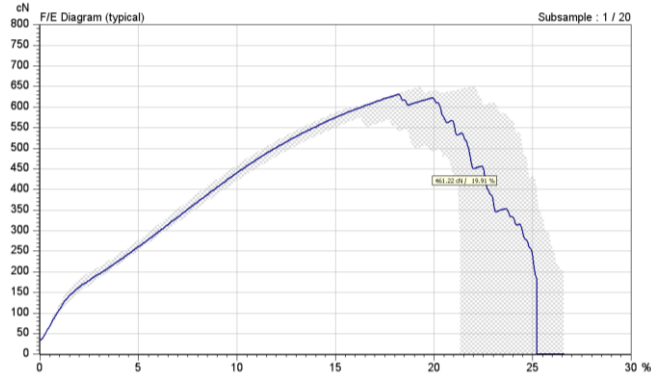
Uzorak 111. Tipična kriva $F(\epsilon)$



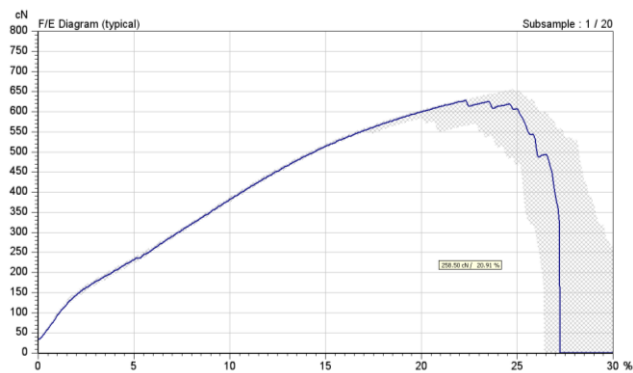
Uzorak 112. Tipična kriva $F(\epsilon)$



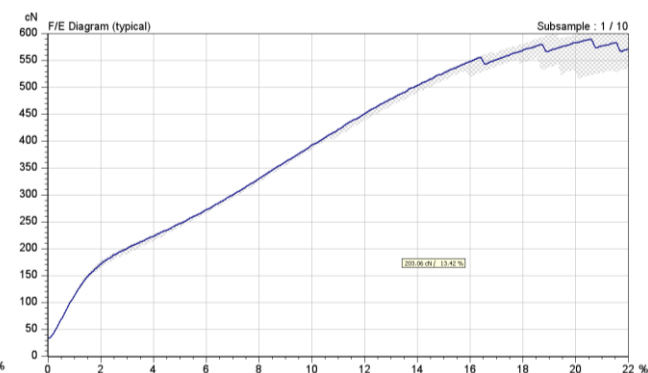
Uzorak 113. Tipična kriva $F(\epsilon)$



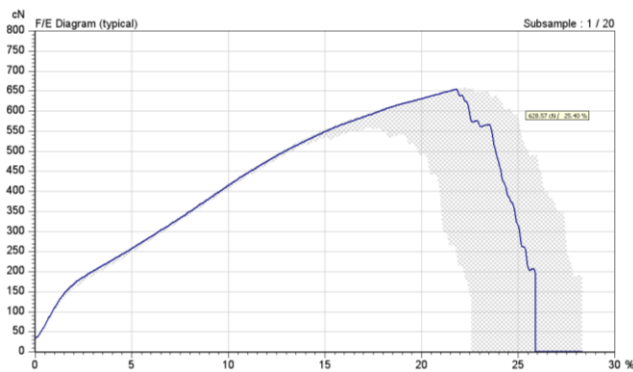
Uzorak 114. Tipična kriva $F(\epsilon)$



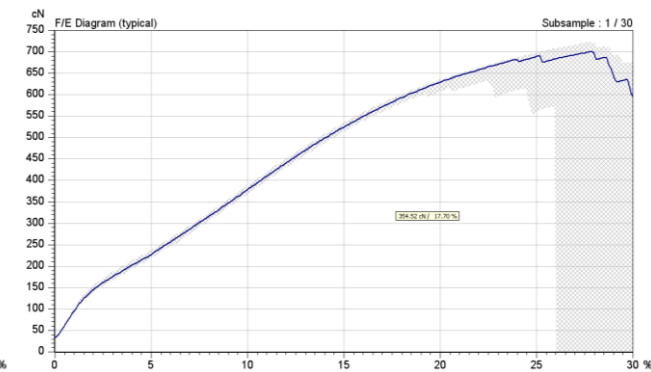
Uzorak 115. Tipična kriva $F(\epsilon)$



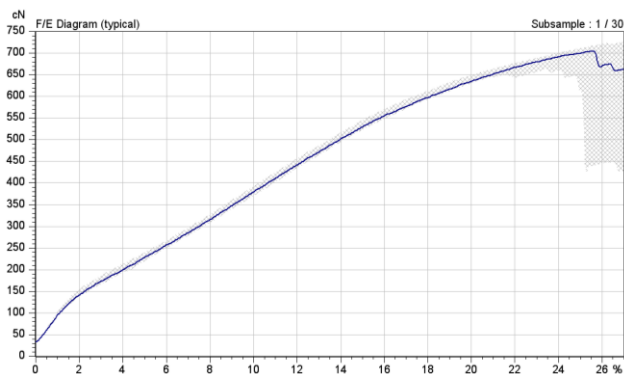
Uzorak 116. Tipična kriva $F(\epsilon)$



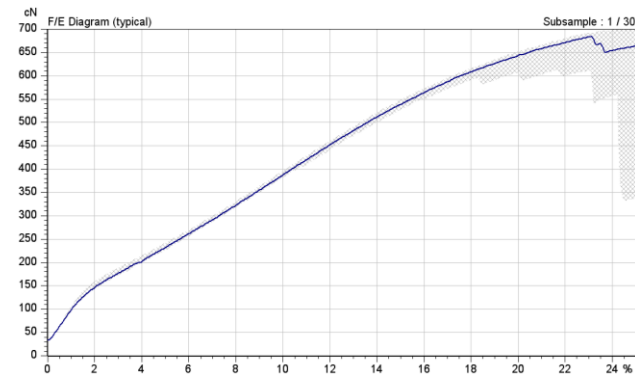
Uzorak 117. Tipična kriva $F(\epsilon)$



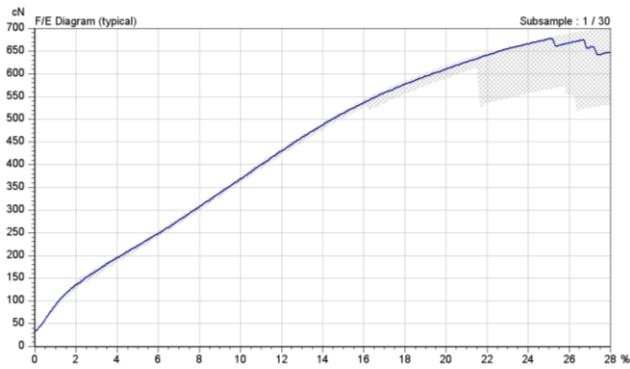
Uzorak 118. Tipična kriva $F(\epsilon)$



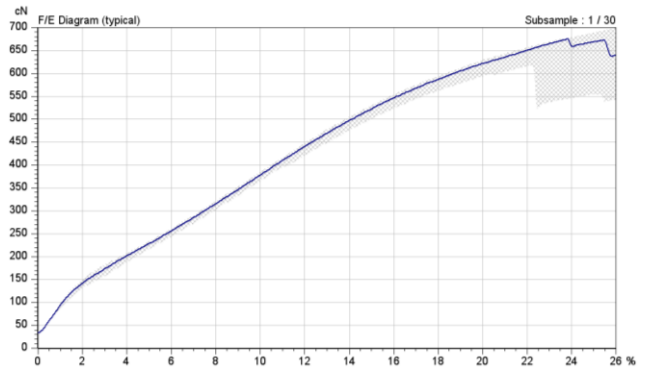
Uzorak 119. Tipična kriva $F(\epsilon)$



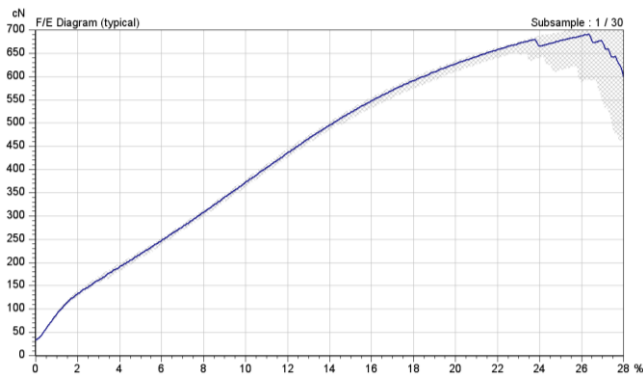
Uzorak 120. Tipična kriva $F(\epsilon)$



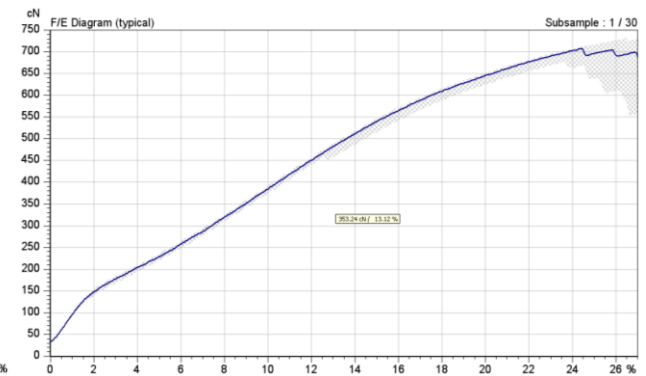
Uzorak 121. Tipična kriva $F(\epsilon)$



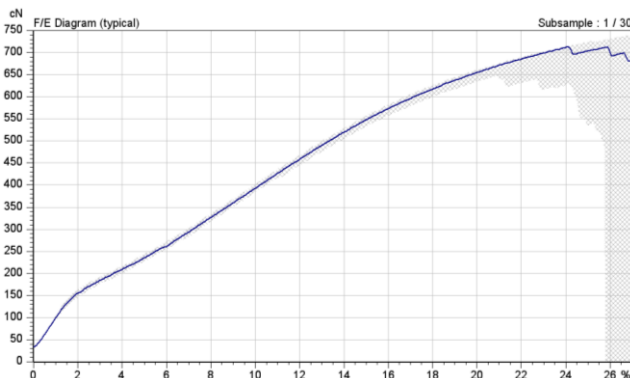
Uzorak 122. Tipična kriva $F(\epsilon)$



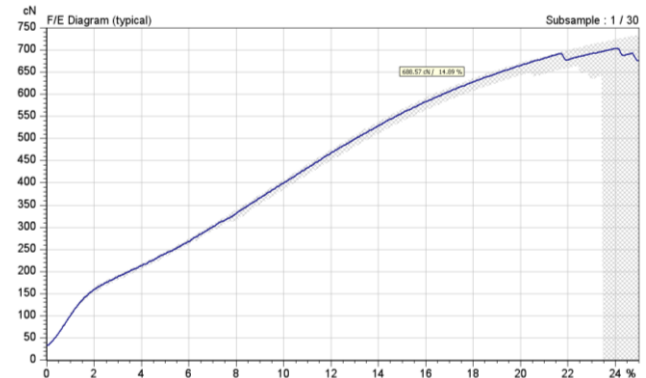
Uzorak 123. Tipična kriva $F(\epsilon)$



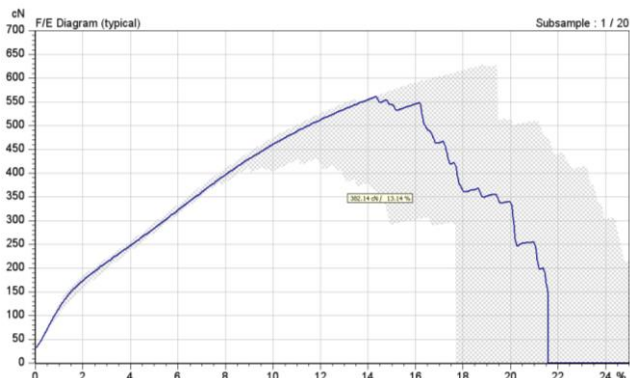
Uzorak 124. Tipična kriva $F(\epsilon)$



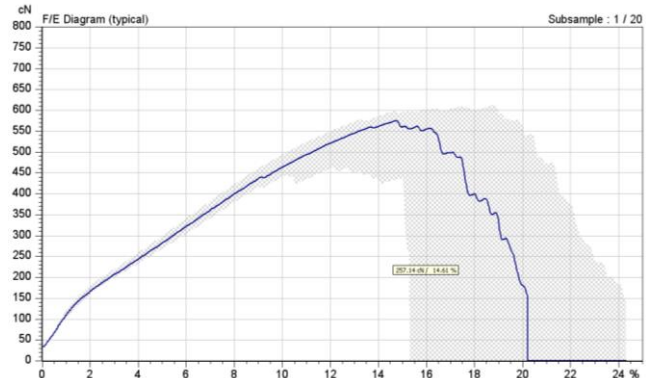
Uzorak 125. Tipična kriva $F(\epsilon)$



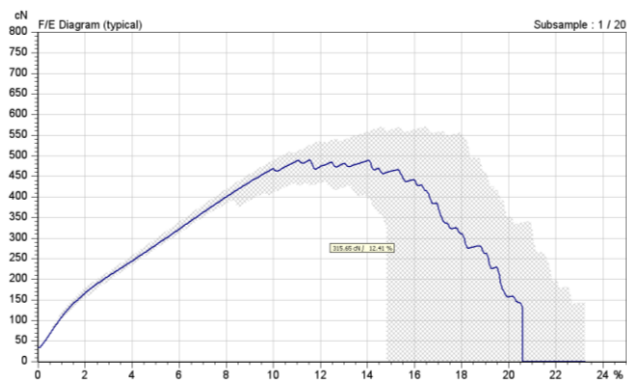
Uzorak 126. Tipična kriva $F(\epsilon)$



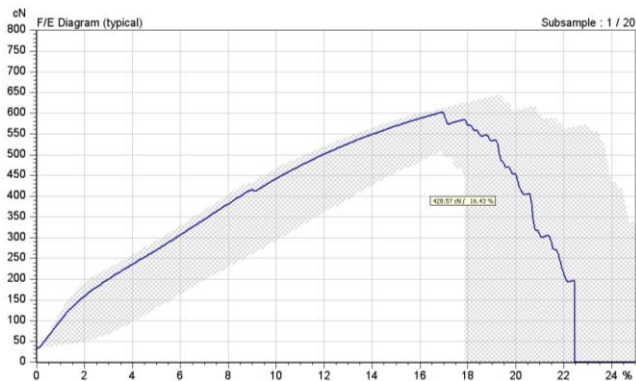
Uzorak 127. Tipična kriva $F(\epsilon)$



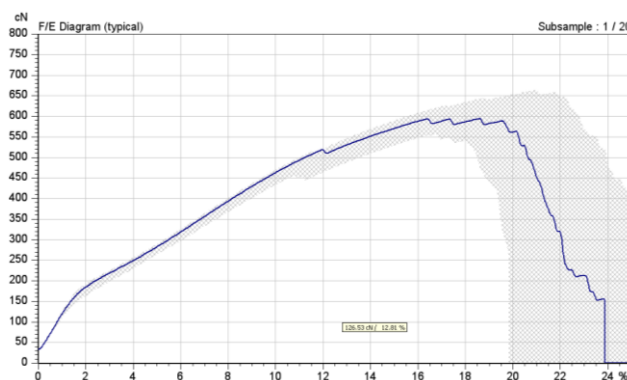
Uzorak 128. Tipična kriva $F(\epsilon)$



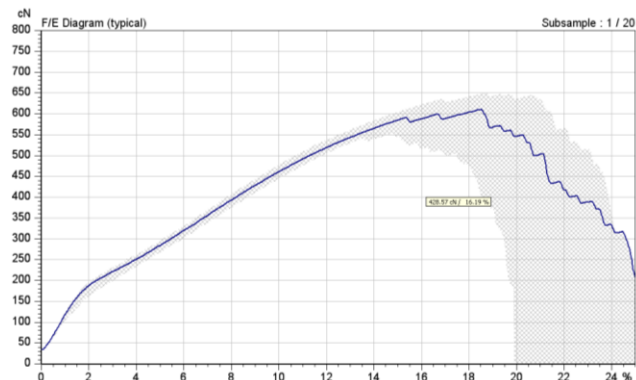
Uzorak 129. Tipična kriva $F(\epsilon)$



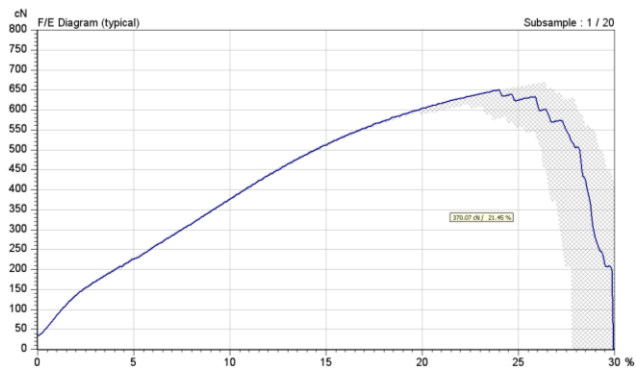
Uzorak 130. Tipična kriva $F(\epsilon)$



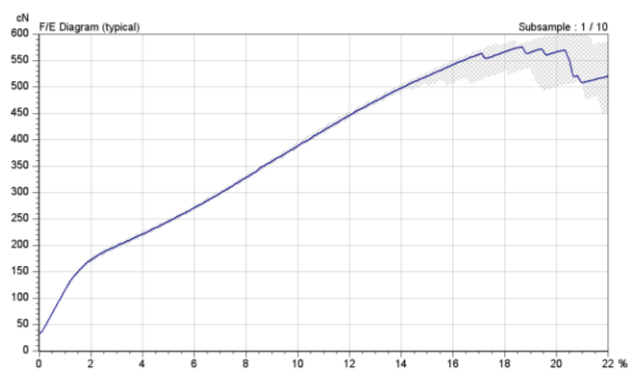
Uzorak 131. Tipična kriva $F(\epsilon)$



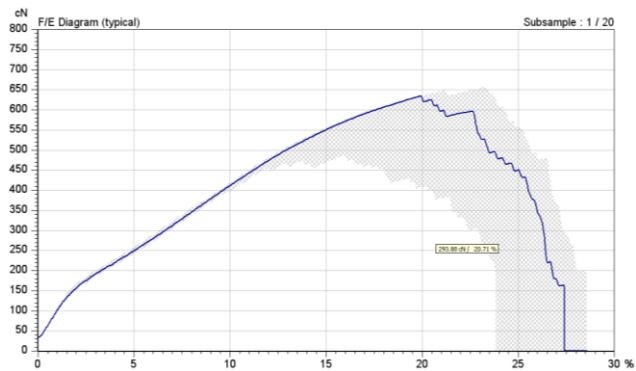
Uzorak 132. Tipična kriva $F(\epsilon)$



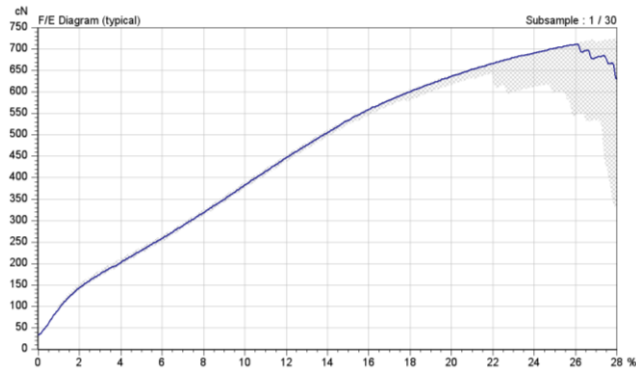
Uzorak 133. Tipična kriva $F(\epsilon)$



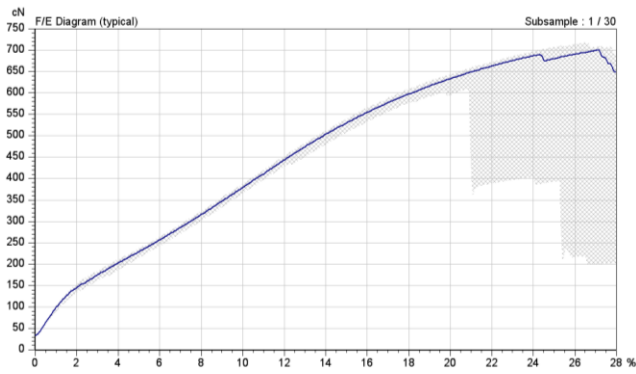
Uzorak 134. Tipična kriva $F(\epsilon)$



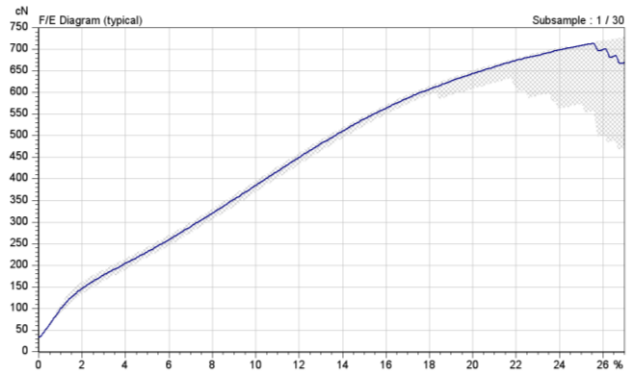
Uzorak 135. Tipična kriva $F(\epsilon)$



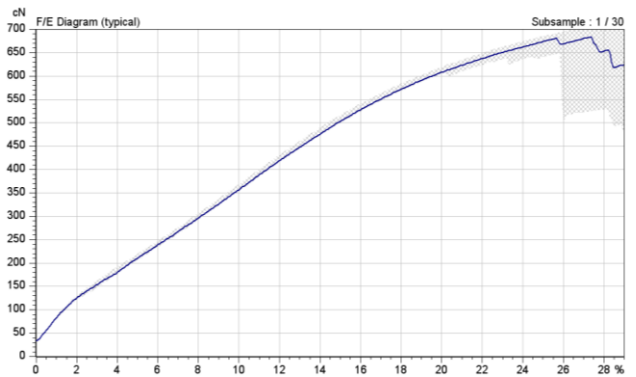
Uzorak 136. Tipična kriva $F(\epsilon)$



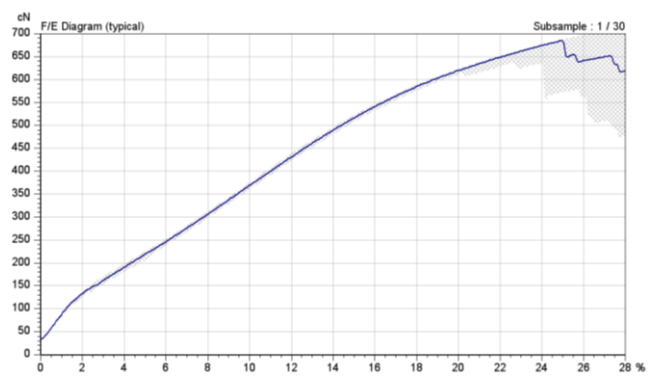
Uzorak 137. Tipična kriva $F(\epsilon)$



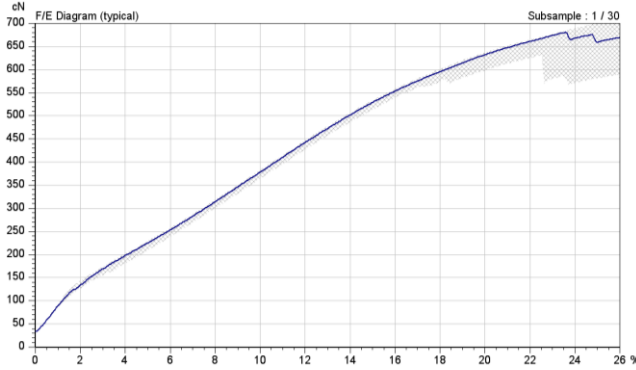
Uzorak 138. Tipična kriva $F(\epsilon)$



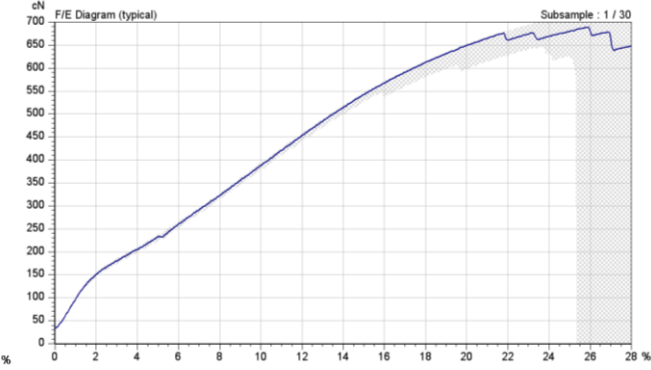
Uzorak 139. Tipična kriva $F(\epsilon)$



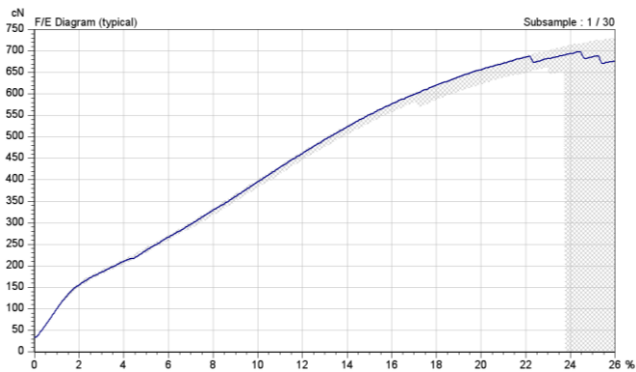
Uzorak 140. Tipična kriva $F(\epsilon)$



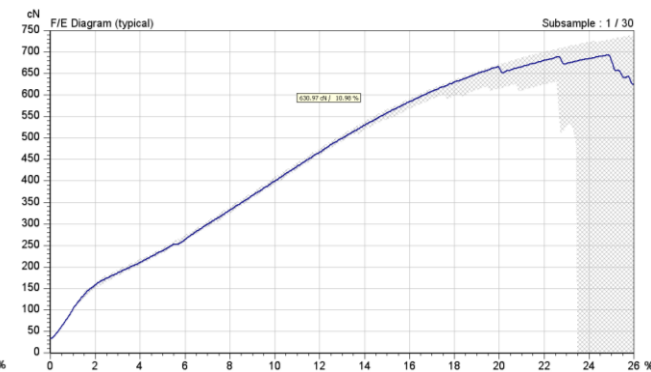
Uzorak 141. Tipična kriva $F(\epsilon)$



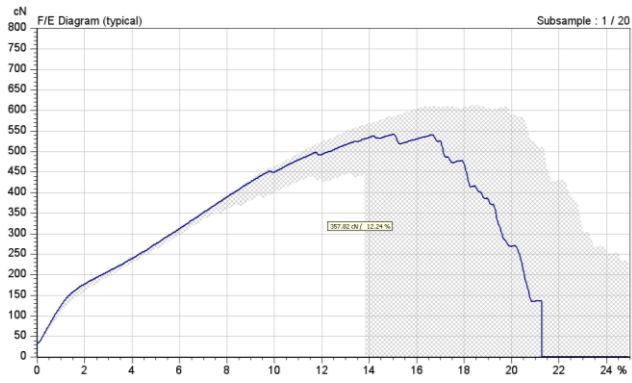
Uzorak 142. Tipična kriva $F(\epsilon)$



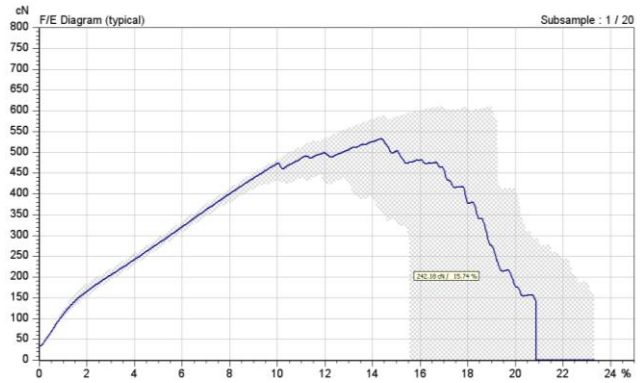
Uzorak 143. Tipična kriva $F(\epsilon)$



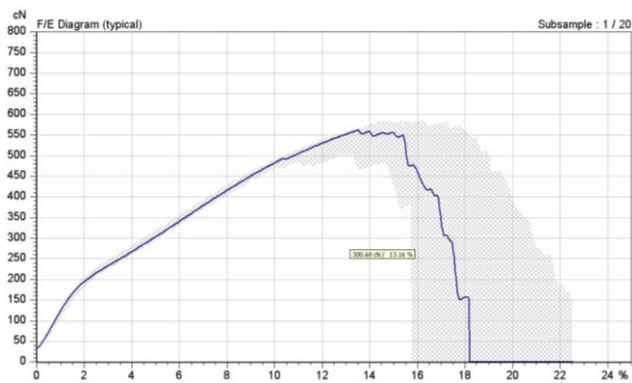
Uzorak 144. Tipična kriva $F(\epsilon)$



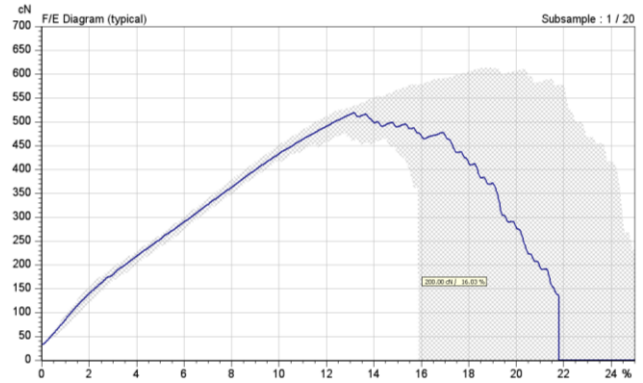
Uzorak 145. Tipična kriva $F(\epsilon)$



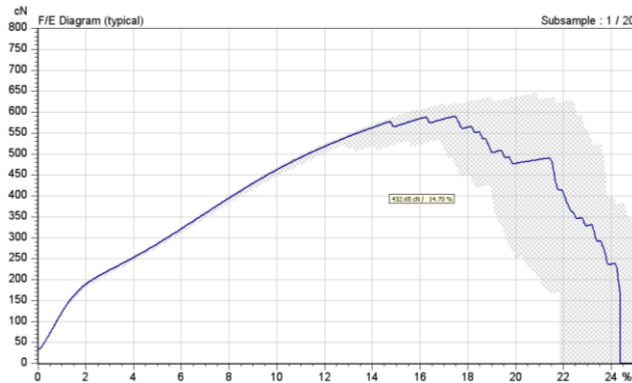
Uzorak 146. Tipična kriva $F(\epsilon)$



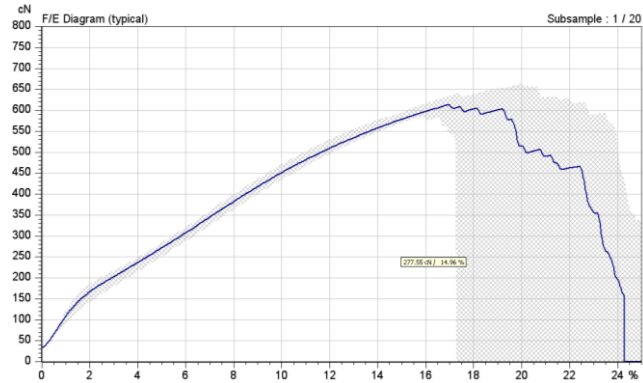
Uzorak 147. Tipična kriva $F(\epsilon)$



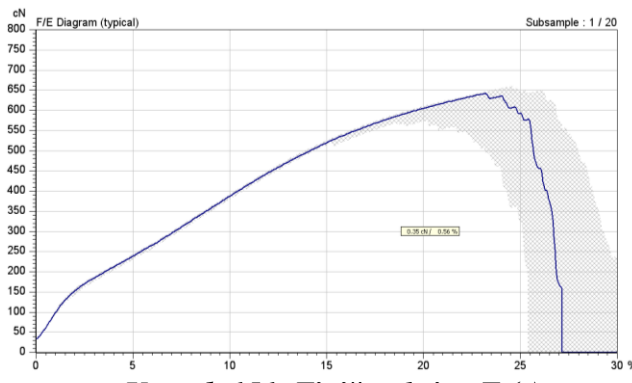
Uzorak 148. Tipična kriva $F(\epsilon)$



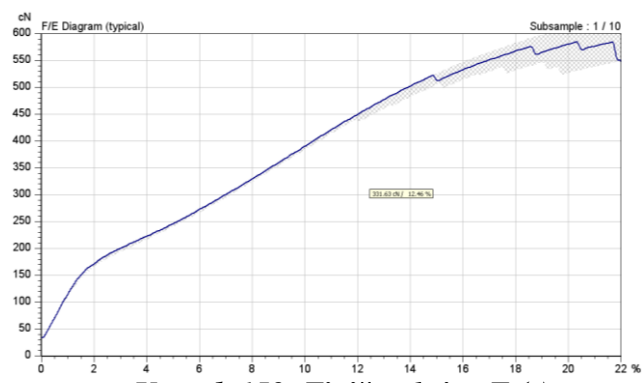
Uzorak 149. Tipična kriva $F(\epsilon)$



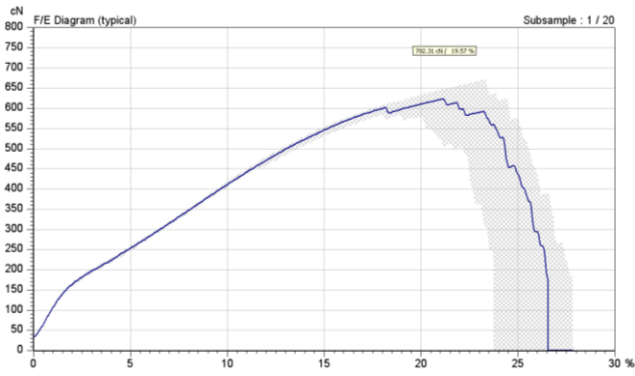
Uzorak 150. Tipična kriva $F(\epsilon)$



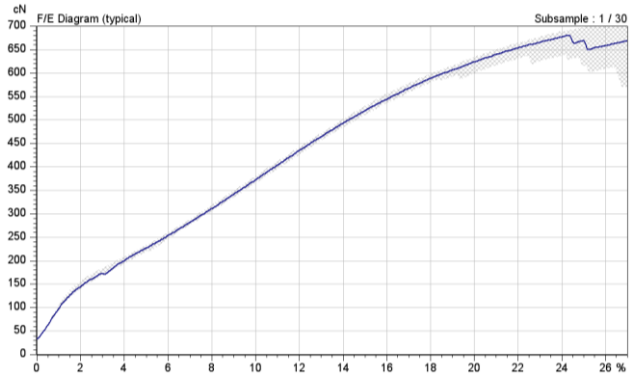
Uzorak 151. Tipična kriva $F(\epsilon)$



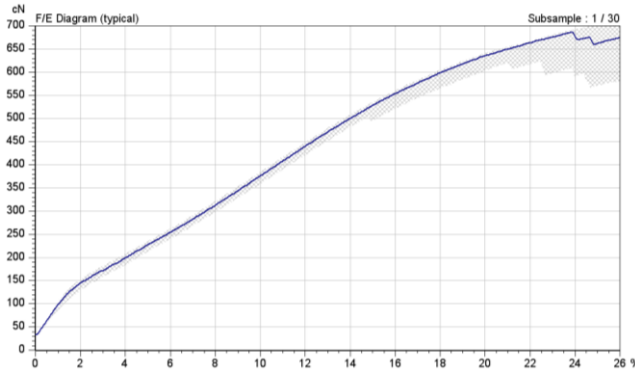
Uzorak 152. Tipična kriva $F(\epsilon)$



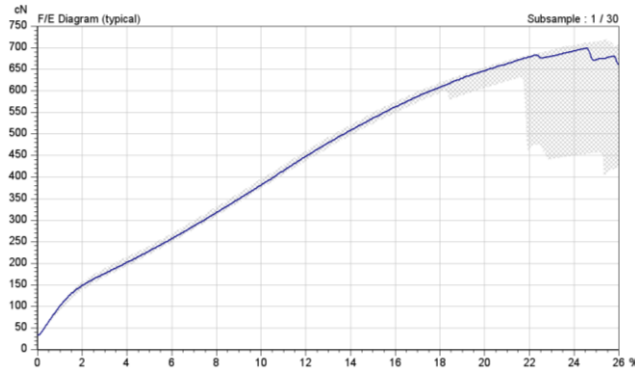
Uzorak 153. Tipična kriva $F(\epsilon)$



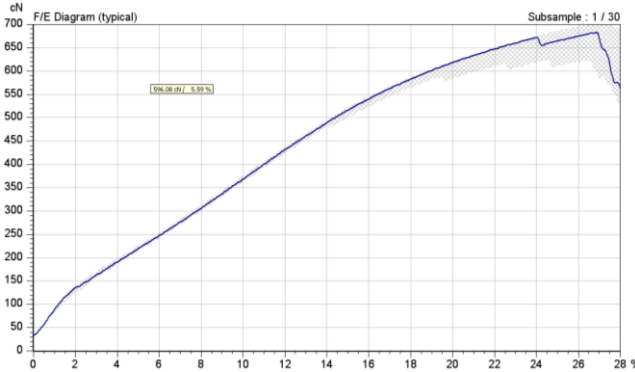
Uzorak 154. Tipična kriva $F(\epsilon)$



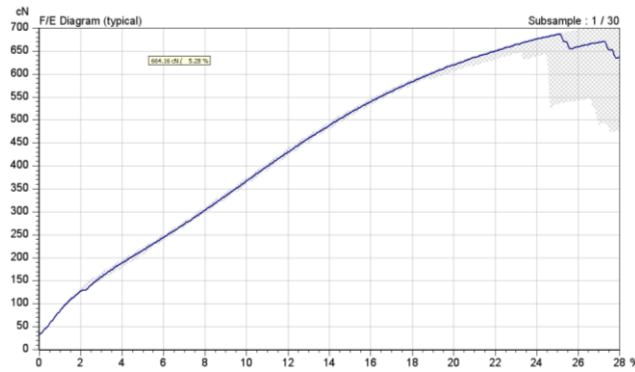
Uzorak 155. Tipična kriva $F(\epsilon)$



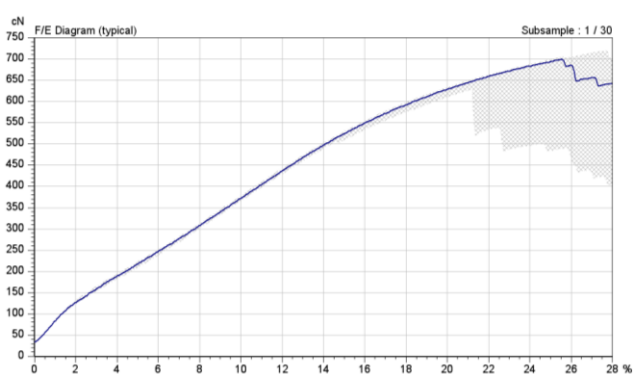
Uzorak 156. Tipična kriva $F(\epsilon)$



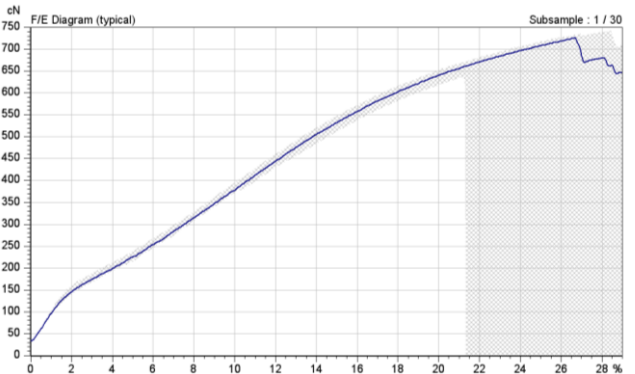
Uzorak 157. Tipična kriva $F(\epsilon)$



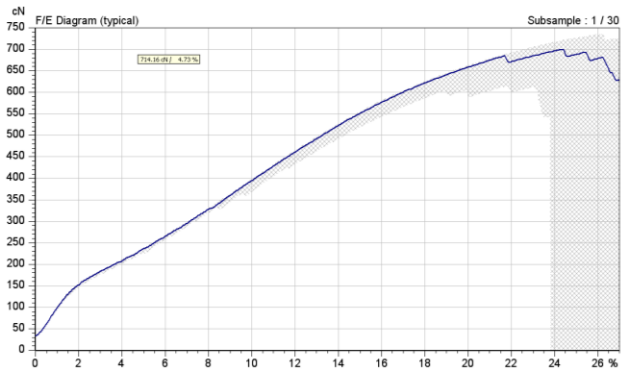
Uzorak 158. Tipična kriva $F(\epsilon)$



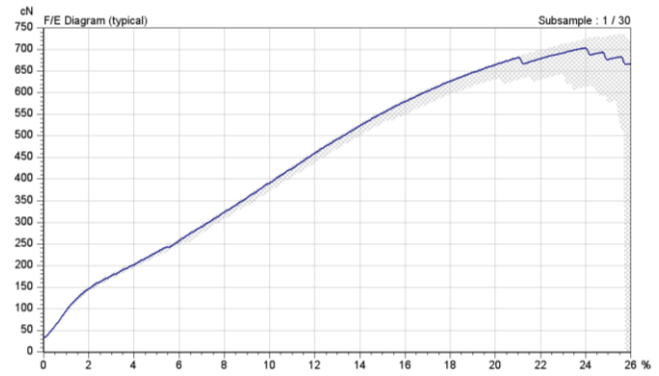
Uzorak 159. Tipična kriva $F(\epsilon)$



Uzorak 160. Tipična kriva $F(\epsilon)$



Uzorak 161. Tipična kriva $F(\epsilon)$



Uzorak 162. Tipična kriva $F(\epsilon)$

Biografija autora

Petar B. Stojanović je rođen u Leskovcu 29.10.1946. godine gde je završio osnovnu osmogodišnju, tehničku tekstilnu školu, Višu tehničku tekstilnu školu a na Tehnološkom fakultetu u Leskovcu je diplomirao na odseku za tekstilno inženjerstvo. Profesionalnu karijeru je započeo u Tekstilnom kombinatu u Grdelici (1969-1970. god.) kao tehnolog u farbari. Od 1970. do 1986. godine radi u akcionarskom društvu „Dunav“ A.D., Grocka kao rukovodioc farbare a od 1986. godine do danas kao direktor preduzeća.

U preduzeću „Dunav“ A.D., Grocka je ostvario poseban stručni doprinos realizacijom internih razvojnih projekata i to:

1. Projekat - Tehnološka modernizacija proizvodnih kapaciteta I (1988. godina);
2. Projekat - Transformacija društvenog preduzeća u akcionarsko društvo (1989. godina);
3. Studija: PA- i PET-vlakna, tehnološki razvoj i stanje na tržištu, proizvodne mogućnosti „Dunav“-a A.D. (1992. godine);
4. Projekat - Program rešenja viška radne snage kroz osnivanje malih kućnih preduzeća (1994. godina);
5. Projekat - Uvođenje kvalitativnih normi YUS-ISO (1996. godina);
6. Projekat modernizacije proizvodnih kapaciteta II (1998. godina);
7. Studija: Tržište HV i DTY, Težište: Mogućnost plasmana proizvoda „Dunav“-a A.D. Produkti za domaće i inostrana tržišta u vremenu 2002 - 2005;
8. Projekat - Omotane elastantske pređe (2004. godina);

U okviru specijalizacija i permanentnog usavršavanja učestvovao je u radu foruma:

- Menadžment u bojenju pređa iz PA i PES - „BAYER“ - Leverkusen 1982. „BASF“ 1984;
- Menadžment u proizvodnji sintetičkih teksturiranih pređa Carih 1986;
- Novi procesi u proizvodnji teksturiranih pređa - „SANDOS“ - Basel 1988, CIBA GEIGY“ - Basel 1989;
- Pozicija i uloga tekstilne industrije Evrope u okviru procesa globalizacije - Bezema-Meiningen 2002;
- Ekonomski i poslovni forum na Kopaonik i u Miločeru;
- Sertifikat za korporativno upravljanje.

Kao priznati stručnjak i menadžer u oblasti tekstilnih tehnologija učestvovao je u radu Privrednih komora, udruženja i komiteta i to:

- Predsednik odbora za industriju Privredne komore SRJ (1996-2000);
- Član upravnog odbora Privredne komore Srbije (1994-2008);
- Predsednik Odbora za tekstil, kožu i obuću pri Privrednoj komori Srbije (2000-2008);

- Predsednik Industrijskog odbora Privredne komore grada Beograda (1996-2000);
- Član asocijacije grčko-srpskih privrednika (od 2001);
- Član asocijacije akcionarskih preduzeća Srbije (od 2007);
- Član udruženja korporativnih direktora Srbije (od 2007).

Nagrade koje je dobijao u prethodnom periodu:

- Od strane privredne komore Srbije: Povelja za postignute rezultate u razvijanju i pospešivanju privrede za 2004-tu godinu;
- Nagrada Privredne komore SRJ za postignute rezultate u 2002.-goj godini;
- Opština Grocka 1998: Oktobarska nagrada;
- Nagrada Privredne komore Srbije za osnovanih 27 malih preduzeća u Grockoj u 1994. godini;
- Menadžer godine u tekstilnoj industriji Srbije za 2007. godinu (Edicija 100 uspešnih privrednika Srbije).

U svojoj aktivnosti u naučnom i stručnom radu objavio je više radova i saopštenja u domaćim i inostranim časopisima, kao i na naučnim skupovima (M22-2, M23-1, M33-1, M34-2, M52-1, M63-2, M64-2). Ima dva tehnička rešenja i učestvovao je u realizaciji više projekata.



ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

**Проучавање утицаја параметара процеса текстурирања на
структуру и својства текстурираних полиестерских пређа**

која је одбрањена на Технолошком факултету у Лесковцу, Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивао на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредио ауторска права, нити злоупотребио интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Лесковцу, _____

Потпис аутора дисертације:

Петар Б. Стојановић



**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНОГ И ЕЛЕКТРОНСКОГ ОБЛИКА
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Наслов дисертације:

**Проучавање утицаја параметара процеса текстурирања на
структуру и својства текстурираних полиестерских пређа**

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам предао за уношење у **Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу**, истоветан штампаном облику.

У Лесковцу, _____

Потпис аутора дисертације:

Петар Б. Стојановић



ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да, у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

Проучавање утицаја параметара процеса текстурирања на структуру и својства текстурираних полиестерских пређа

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

У Лесковцу, _____

Потпис аутора дисертације:

Петар Б. Стојановић