



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
ЛЕСКОВАЦ



Драган М Ђорђић

**ИСТРАЖИВАЊЕ ДЕФОРМАЦИОНИХ
КАРАКТЕРИСТИКА НЕТКАНИХ ГЕОТЕКСТИЛНИХ
МАТЕРИЈАЛА ОД ПОЛИЕСТАРСКИХ И
ПОЛИПРОПИЛЕНСКИХ ВЛАКАНА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Лесковац, 2016.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF TECHNOLOGY
LESKOVAC



Dragan M Đorđić

**RESEARCH OF DEFORMATION CHARACTERISTICS
OF NONWOVEN GEOTEXTILE MATERIALS MADE OF
POLYESTER AND POLYPROPYLENE FIBRES**

DOCTORAL DISSERTATION

Leskovac, 2016.

Подаци о докторској дисертацији

Ментор: Проф. др Јован Степановић, Универзитет у Нишу, Технолошки факултет, Лесковац

Наслов: Истраживање деформационих карактеристика нетканих геотекстилних материјала од полиестарских и полипропиленских влакана

Резиме: У циљу што ефикасније производње и примене геотекстилних материјала дефинисане су њихове структурне и механичке карактеристике, затим, дефинисане су границе еластичности геотекстила и развијен је реолошки модел, којим се може предвидети понашање геотекстила током експлоатације. На основу добијених резултата одређене су границе еластичних деформација игланих геотекстилних материјала, које дефинишу дозвољена оптерећења којима се геотекстилни материјали могу подвргнути а да се при томе не наруши њихова структура. Такође, анализирани су узајамне повезаности параметара на граници еластичности са параметрима на граници прекида геотекстилних материјала. Истежање геотекстила од регуларних полиестарских, рециклираних полиестарских и полипропиленских влакана описано је диференцијалним једначинама које су изведене на основу механичких модела. Реолошки модел ће допринети развоју методе предвиђања механичких карактеристика игланих геотекстила сагласно њиховој намени. Тиме се поједностављује и усавршава техничка припрема производње и остварују се услови за искључивање пробних серија, што доприноси уштеди енергије и сировине.

Научна област: Технолошко инжењерство
Научна дисциплина: Текстилна технологија

Кључне речи: геотекстил, деформација, сила, издужење, граница еластичности, реолошки модел

УДК: 677 076.4:677.494.674

CERIF класификација: T470 Текстилна технологија

Тип лиценце креативне заједнице: CC BY-NC-ND

Data on Doctoral Dissertation

Doctoral Supervisor: Prof. Jovan Stepanović, PhD, University of Niš, Faculty of Technology, Leskovac

Title: Research of deformation characteristics of nonwoven geotextile materials made of polypropylene and polyester fibers

Abstract: In order to provide more efficient production and use of geotextile materials, their structural and mechanical properties, and then elastic limits of geotextile were defined, and a rheological model which can be used for the prediction of the behavior of geotextiles during exploitation was developed. Based on the obtained results, the limits of the elastic deformation of needled geotextile materials which define the permitted load that geotextile materials can be subjected to without disturbing their structure were determined. Also, the interconnectivity of parameters of the limit of elastic deformations with the parameters on the breaking limit of geotextile materials was analyzed. The elongation of geotextile made from regular polyester, recycled polyester and polypropylene fibers is described by differential equations that are based on mechanical models. Rheological model will contribute to the development of the methods for the prediction of mechanical properties of needled geotextile materials according to their use. In this way the technical preparation of the production is simplified and improved, and the conditions for the exclusion of the test series are fulfilled, which contributes to energy and raw materials savings.

Scientific Field: Technology engineering
Scientific Discipline: Textile technology

Key words: geotextile, deformation, force, elongation, elastic limit, rheological model

UDC: 677 076.4:677.494.674

CERIF Classification: T470 Textiles technology

Creative Common License Type: CC BY-NC-ND

ИЗЈАВА ЗАХВАЛНОСТИ

Захваљујем се ментору проф. др Јовану Степановићу на драгоценим саветима, усмеравању, уложеном труду, стрпљењу и сугестијама које су допринеле садржају рада и целовитости резултата и без чије указане преко потребне подршке и подстицаја овај рад не би био могућ.

Захваљујем се запосленима у производном погону АДП Младеновац доо, на челу са директором Иваном Ристићем и запосленима на контроли квалитета Сузани Лончар и Браниславу Жујовићу, на уложеном труду, стрпљењу, времену, као и на обезбеђеним сировинама од којих су произведени материјали чији су резултати испитивања представљени у раду.

Захваљујем се својим колегама из ЦИС Института, нарочито колеги Роберту Миладиновићу на издвојеном времену и труду око консултација и чији су савети ми изузетно значили. Хвала колегиници Исидори Урошевић на подршци и на саветима.

Захваљујем се својим родитељима на указаном безграничном стрпљењу, безрезервној подршци и помоћи код чувања сина Лазара у многобројним месецима рада на дисертацији. Хвала сину Лазару на разумевању и допуштању (углавном) да се посветим раду уместо игрању са њим. Хвала супрузи Ани чија су честа питања и разматрања на тему, да ли има краја мом студирању, ми била додатни подстицај да се посветим завршетку рада.

Овај рад посвећујем својим родитељима и сину Лазару.

Циљ рада

Неткани геотекстилни материјали производе се механичким путем, техником иглања пелца формираног од копрена из висококвалитетних синтетичких влакана.

Основна карактеристика геотекстилних материјала при изградњи путева је улога раздвајања, где геотекстилни материјал раздваја два материјала која не треба да се мешају. Затим, имају функцију дренарања односно одвођења воде из тла. Геотекстил такође има и заштитну функцију, односно штити делове грађевинске конструкције од дејства ерозије, ветра, воде, итд. Има и изолациону функцију која је потребна у многим решењима у грађевинарству: високоградња, мостови, тунели, хидротехника, путеви и заштита околине.

Носећу функцију има када геотекстил прима део или потпуно затезну силу у конструкцији. Нпр. као арматура за ојачање насипа, арматура код потпорних конструкција од армираног тла или бетона, као и арматура у коловозној конструкцији. Зато је циљ рада да се развије метода која може послужити за предвиђање понашања при затезању геотекстилних материјала. При томе је посебно значајно познавање граничних вредности напрезања које могу проузроковати појаву пластичних деформација геотекстила.

Применом погодног реолошког модела описано је понашање геотекстилних материјала од регуларних полиестарских влакана, затим од рециклираних полиестарских влакана као и од полипропиленских влакана у зони еластичних деформација.

Садржај рада

Докторска дисертација се састоји од неколико међусобно повезаних целина.

У првом делу рада приказани су резултати досадашњих истраживања који се односе на карактеристике и примену игланих геотекстилних материјала. Посебна пажња је посвећена анализи актуелних метода предвиђања структурних и механичких карактеристика игланих геотекстила. Размотрени су механички модели који могу послужити за развој методе за симулацију понашања геотекстилних материјала приликом напрезања.

Други део рада обухвата анализу параметара структуре геотекстилних материјала, као и параметре технолошког процеса израде нетканих геотекстила. Поред тога, анализирани су механичке карактеристике нетканих геотекстилних материјала површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, од регуларних полиестарских влакана, рециклираних полиестарских влакана и полипропиленских влакана. Анализом добијених резултата одређене су границе еластичних деформација

произведених игланих геотекстила. На основу добијених резултата анализирани су повезаности параметара на граници еластичности геотекстила са параметрима на граници деструкције материјала при затезању. Ове анализе су допринеле развоју методе којом се могу предвидети интензитети сила којима се неткани геотекстилни материјали могу подвргнути а да се при томе не наруши њихов квалитет.

У завршном делу рада развијен је модел који може послужити за описивање понашања геотекстилних материјала, од регуларних полиестарских влакана, рециклираних полиестарских влакана и полипропиленских влакана, током експлоатације. При томе је пре свега циљ да се опише понашање геотекстилног материјала у зони еластичних деформација.

Научни допринос рада

Научни допринос дисертације огледа се у следећим решењима:

- дефинисане су структурне и механичке карактеристике геотекстила и њихове међусобне зависности,
- дефинисане су границе еластичности геотекстила и параметри који их карактеришу,
- развијен је реолошки модел, којим се може предвидети понашање геотекстила током експлоатације,
- развијена је метода предвиђања деформационих карактеристика игланих геотекстилних материјала.

Развијени модел ће допринети правилном пројектовању игланих геотекстила у зависности од њихове будуће намене. Тиме се поједностављује и усавршава техничка припрема производње и остварују услови за искључивање пробних серија, што доприноси уштеди енергије и сировине. Поред тога, дефинисањем деформационих карактеристика игланих геотекстила остварују се услови за предвиђање граничних интензитета сила којима се они могу подвргнути током експлоатације. Добијени резултати истраживања доприносе и бољем разумевању повезаности параметара структуре производа и процесних параметара производње геотекстила.

САДРЖАЈ

1. Увод.....	10
2. Теоријске основе.....	13
2.1 Геотекстил и његова примена.....	13
2.2 Разлози за примену геотекстила.....	18
2.3 Подела геотекстила.....	23
2.4 Подручја примене геотекстилних материјала.....	27
2.4.1 Критеријуми за одабир геотекстила за изградњу путева.....	37
2.5 Производња нетканог текстила за изградњу путева.....	41
2.5.1 Поступак иглања и основни параметри процеса иглања.....	44
2.5.2 Угао слагања копрене у пелцу.....	49
2.5.3 Утицај производних параметара на квалитет геотекстила.....	51
2.6 Карактеристике геотекстилних материјала и њихово испитивање.....	57
2.6.1 Испитивање геотекстила.....	60
2.6.1.1 Механичке карактеристике геотекстила.....	61
2.6.1.2 Полуцикличне прекидне карактеристике.....	62
2.6.1.3 Једноосно затезање (напрезање) геотекстила.....	62
2.6.2 Модели еластичности који описују понашање геотекстила при затезању.....	70
3. Експериментални део.....	77
3.1 Методе контроле квалитета геотекстилних материјала.....	77
3.1.1 Узимање узорка за испитивање влакана.....	78
3.1.2 Одређивање средње дужине текстилних влакана.....	79
3.1.3 Одређивање финоће влакана.....	79
3.1.4 Одређивање прекидне силе и прекидног издужења влакана.....	79
3.1.5 Узимање узорка и припремање епрувета за испитивање.....	80
3.1.6 Одређивање масе по јединици површине.....	81
3.1.7 Одређивање дебљине при унапред утврђеним притисцима.....	81
3.1.8 Испитивање затезањем методом широког лабораторијског узорка.....	82
3.1.9 Испитивање статичког пробијања (CBR).....	85
3.2 Техничке карактеристике влакана коришћених за производњу геотекстилних материјала.....	86
3.3 Техничко-технолошки параметри производње геотекстилних материјала.....	91

3.4	Техничке карактеристике геотекстила.....	92
3.5	Резултати мерења површинске масе геотекстилних материјала.....	94
3.6	Резултати мерења дебљине геотекстила.....	95
3.7	Резултати мерења сила при затезању геотекстила.....	96
3.7.1	Резултати мерења прекидне силе.....	96
3.7.2	Резултати мерења максималне силе при затезању геотекстила.....	103
3.7.3	Резултати одређивања силе на граници еластичних деформација геотекстила.....	107
3.8	Резултати мерења силе пробијања геотекстила.....	111
3.9	Резултати мерења издужења при затезању геотекстила.....	116
3.9.1	Резултати мерења издужења при максималној сили затезања геотекстила.....	123
3.9.2	Резултати одређивања издужења на граници еластичних деформација геотекстила.....	127
3.10	Резултати одређивања рада силе при затезању геотекстила.....	132
3.10.1	Резултати одређивања рада до максималне силе при затезању геотекстила.....	132
3.10.2	Резултати одређивања рада до границе еластичности геотекстила.....	136
3.11	Повезаност параметара геотекстилних материјала.....	141
3.11.1	Анализа повезаности дебљине и механичких карактеристика геотекстила.....	141
3.11.2	Анализа повезаности силе на граници еластичности и максималне силе при затезању геотекстила.....	145
3.11.3	Утицај површинске масе геотекстила и угла слагања копрене у пелцу на интензитет силе на граници еластичности.....	148
3.11.4	Анализа повезаности рада до границе еластичности и рада до максималне силе при затезању геотекстила.....	150
3.12	Предвиђање понашања геотекстила у зони еластичних деформација.....	152
4.	Закључак.....	160
5.	Литература.....	162
6.	Списак табела.....	169
7.	Списак слика.....	170
8.	Прилог.....	181

1. УВОД

Од када је почела градња комплекснијих грађевина човек је пронашао начин да утиче на стабилност тла на којем гради. Прве употребе материјала за ојачање тла датирају 2000. година пре нове ере а масовнија примена је почела средином 20. века. Разграната мрежа геосинтетика омогућује да за све евентуалне проблеме при градњи на слабоносивом тлу да адекватно решење. Најчешће употребљавани геосинтетик је геотекстил и он задовољава већину захтева при формирању грађевине на тлу и данас се не може замислити квалитетна и сигурна градња без добро осигураног и квалитетно урађеног темеља у који је уграђен геотекстил. С обзиром да се у новијој историји ова врста материјала користи релативно кратко, испитивање и побољшавање карактеристика геотекстила је изузетно често.

Најважније питање при уградњи геотекстила је како ће се понашати под оптерећењем и које су његове границе издржљивости. Проналажење адекватног модела за прорачун понашања геотекстила је уједно и одговор на питање како се геотекстил понаша у самој конструкцији а самим тим се долази до решења проблема стабилности које је и основ разлике између градње квалитетног и дуготрајног објекта или инфраструктуре и неквалитетног и за одржавање изузетно скупог објекта или инфраструктуре.

Геотекстил је материјал који поседује низ квалитета, он држи тло фиксираним, уједно пропушта течност која би могла да нашкоди темељима и раздваја два различита тла од мешања. Јако је важно да са побољшањем једне од карактеристика се не наруше друге, зато су истраживања неопходна како би се од геотекстилних материјала извукао максимум. На квалитет геотекстила утичу сви параметри од влакана од којих ће се произвести, преко производних параметара до правилног складиштења и начина уградње.

Циљ сваког научно истраживачког рада на тему геотекстила би требао да буде откривање нових могућности и сазнања како би се једна оваква творевина настала мршењем влакна што боље разумела и како би у потпуности могли да се искористе сви бенефити које може да пружи.

У протеклих 50 година од када се значајније почело са употребом геотекстила кренула су и истраживања и тестирања његових могућности и карактеристика. Један од најистакнутијих научника који су се бавили проучавањем геотекстила од почетка његове масовније и распрострањеније примене је др J.P. Giroud.

1977. године др J.P. Giroud је уједно постао и творац назива "геотекстил" и "геомембране", пре тога је геотекстил био познат као "филтар материјал" [1]. Сматра се да су његови објављени радови створили основу науке о геосинтетичи.

Др J.P. Giroud је један од инжењера који је имао највећи утицај код дизајна баријерних система геосинтетике [2]. 1982. године Giroud је објавио рад на тему "Филтарски критеријуми за геотекстиле" што је установило принципе на којима се базира дизајн геотекстила за филтре од тада. Најчешћа тестирања др J.P. Giroud-а су се сводила на испитивање филтарских карактеристика геотекстила и могућности, нарочито код нетканог геотекстила.

Barrett R.J [3] је истраживао још 1966. године о употреби геотекстилних материјала (тада познати као "пластични филтри") као појачање иза префабрикованих бетонских бедема и иза префабрикованих контролних блокова против ерозије као и о уопштеној употреби ових материјала. Описивао је да "пластични филтри" (геотекстилни материјали) имају најбоље карактеристике уколико су добијена производњом од поливинилхлорид влакана и влакана од полипропилена. Описивао је да су "пластични филтри" (геотекстилни материјали) неизоставни при изградњи стубова који се полажу у воду за мостове, насипе, бране, за вертикалне зидове, цеви за колекторе...

Истраживања су показала да инжењери који су били задужени за постављање и имплементацију ових материјала имали заједничко мишљење да је употреба истих превазишла њихова очекивања. Др Vipin J Agrawal је истакао да геотекстилни материјали представљају идеалне материјале за инфраструктурне радове као што су путеви, луке и многе друге и да имају светлу будућност захваљујући њиховој мултифункционалној примени [4].

Једни од најпознатијих истраживача који су се бавили развојем и имплементацијом геотекстила на терену су професор Robert M. Koerner и Joseph P. Welsh [5] са "Drexel University" који су применом геотекстила на брани у Пенсилванији (формирањем опни које су биле пуњене бетоном) успели да спрече пуцање бране која је пре примене геотекстила два пута пуцала и изазивала огромне поплаве које су однеле многе људске животе. Наиме, они су патентирали такозвани "Fabricform mattress" који представља опну која се пуни цементом допуштајући да вишак воде из цемента прође кроз поре геотекстила а да се притом чист бетон задржи на окупу. Доказано је да је бетон формиран на овај начин и до 20 % чвршћи у односу на бетон формиран без ове форме геотекстила и на тај начин су осигурали да не дође до пуцања бране приликом великих поплава.

Одређивањем величина пора бавили су се многобројни научници који су испитивали геотекстилне материјале а испитивали су их са бројним техникама: Индиректне методе као што су суво просејавање (Calhoun 1972), хидродинамичко просејавање (Fayoux 1977) и мокро просејавање (Saathoff и Kohlhase 1986). Директне методе као што су анализа слике (Rollin и др. 1977), метода употребом живе (Prapaharan и др. 1989), метод засићења (Bhatia и Smith 1995). Математичке методе као што су величина отварања (Lombard, G и Rollin, R. 1987) [6].

Међутим, ниједан од ових метода није универзално прихваћен. Ткани и неткани геотекстил може да има сличне карактеристике али величина пора ће се битније разликовати. Површинска маса $g \cdot m^{-2}$, врста влакана и дебљина могу утицати на величину пора као и начин производње. Ову констатацију изнели су Bhatia S.K. и Smith, J.L. [7], испитујући 28 тканих и нетканих геотекстилних материјала добијених различитим начинима производње.

Основе технологије израде и примене геотекстила у грађевинарству постављене су на Првом интернационалном конгресу одржаном у Паризу 1977. године. Наставак усавршавања технологије израде и примене геотекстила био је на Другој интернационалној конференцији у Лас Вегасу 1982. године а затим на трећој у Бечу 1986. године и четвртој у Хагу 1990. године.

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

2.1 Геотекстил и његова примена

Геотекстил је планаран, пропусан, полимерни (синтетички или природни) текстилни материјал, који може бити неткани, плетени или ткани, који се користи у додиру с тлом и/или другим материјалима у геотехничким и осталим грађевинским захватима [8]. Неткани геотекстил је комплексна тродимензионална структура формирана случајним распоредом влакана. Геотекстили су пропустљиви и компресивни материјали и припадају групи која такође укључује геомреже, георешетке, геомембране и геокомпозите [9]. Геотекстил се дефинише као било који текстилни материјал, односно, пропустљиви геосинтетик направљен од текстилних материјала [10], који се употребљава за филтрацију, дренажу, сепарацију/раздвајање, појачавање и стабилизацију као интегрални део грађевинских структура из земље, камења и других конструкцијских материјала.

Најједноставнија дефиниција геотекстила би била: материјал који се користи у земљишној средини. Геосинтетика чији је геотекстил подгрупа се дефинише као „сви материјали синтетичког порекла за употребу код земљаних радова у грађевинарству“.

Међу различитим геосинтетичким производима, геотекстили представљају материјале који се могу користити за најшири спектар примене у транспортним апликацијама [11].

Геосинтетици су у највећем броју случајева направљени од материјала који су у својој бази синтетички полимери. Пластичне масе представљају групу материјала органског порекла које су сачињене из везивне полимерске компоненте и различитих додатака, као што су: очвршћивачи, пластификатори, стабилизатори, пигменти...

За чврстину и отпорност полимера најбитнија је маса молекула. Са повећањем молекулске масе повећава се чврстина, истезање, отпорност на ударце, топлотна постојаност, отпорност на кидање, а смањују се реолошка својства и способност обраде [12].

За производњу геотекстила најчешће се користе термопласти: полиетилен (ПЕ), полипропилен (ПП), полиестар (ПЕС) и полиамид (ПА). За производњу геомембрана користе се термопласти: полиетилен (ПЕ и ХДПЕ), полипропилен (ПП), поливинилхлорид (ПВЦ) и еластомери. Од еластомерних геосинтетика заступљене су геомембране од вештачке гуме.

Ниједан геосинтетички производ није направљен од чистог полимера, који је иначе у основи његовог назива. Када се говори о трајности односно стабилности геосинтетика на дужи рок, треба узети у обзир да се повећањем дебљине нити, влакана или производа аутоматски повећава и отпорност [12].

Геосинтетика може да узме било који облик, у складу са функционалним захтевима приобалних подручја, и уједно продужава век трајања приобалних тврдих инжењерских структура као и њихову заштиту [13].

Производни процес нетканих текстилних материјала састоји се из припреме влакана за производњу, формирања копрене и њеног учвршћивања поступком иглања. Вlakна кратка и дуга на почетку су постављена у облику влакнасте копрене различито оријентисане (хаотично, унакрсно или паралелно). Неткани геотекстил је произведен продирањем игле која преусмерава влакна од хоризонталног ка вертикалном правцу. Ова форма је замршена тродимензионална структура која испуњава неопходне захтеве геотекстила. Овако настали производ се сматра производом који није настао конвенционалним поступком производње текстила већ је добијен технологијом добијања руна из висококвалитетних синтетичких влакана најчешће од полиестра (ПЕС) и полипропилена (ПП) и њиховим учвршћивањем механичким путем, иглањем, односно, мршењем влакана у чврсту творевину сличну филцу. Може се израђивати и од природних влакана (јута, кокос). Неткани текстил се поред поменутог најчешћег механичког начина може спајати и термички и хемијски. Геотекстил термички спојен је механички спојени геотекстил који је пропуштен кроз загрејане ваљке или кроз пећницу. На додирним тачкама нити долази услед повећања температуре до спајања. Овако спојени геотекстил добија кохезију а уједно и боље физичке и механичке карактеристике. Примена игланих геотекстила је све интензивније коришћена у цивилном инжењерству, за путеве, железнице, стабилизације насипа, депоније, одбрану од поплава...

Геотекстили су материјали са великом прекидном силом а земљишта, у глобалу, су слабе јачине (али са великом компресионом силом). Зато су геотекстили идеални да појачају квалитет земљишта и структурну стабилност земљишта [14].

Геотекстил је неопходно да испуњава више функција укључујући, филтрацију, дренажу и сепарацију. Функција геотекстила код филтрације је да задржи земљиште и да омогући пролаз воде. Дренажна функција геотекстила је да преусмери течност у равни материјала. Филтрација и дренажа се разликују по правцу кретања течности. Раздвајање укључује задржавање честица тла да се не мешају.

Геотекстил који се користи при изградњи железница мора да поседује изузетну јачину, одличне филтарске способности и одличне дренажне капацитете. Параметри производње геотекстила играју огромну улогу у његовим каснијим карактеристикама. Од саме сировине за иглање влакна и формирање копрене, игле и иглање одређују квалитет и које ће карактеристике имати геотекстил. Поред тога, од структурне повезаности нетканих материјала зависи карактеристика трења и интеракције конститутивних влакана.

Геотекстил се дефинише и својим физичким својствима (маса, дебљина...). За сврху армирања битна су и механичка својства као што је прекидна сила, за филтрирање и дренирање хидрауличка својства, као што су водопропустљивост и способност задржавања ситних честица [15]. Геотекстили морају задовољавати и карактеристике као што су отпорност према пробијању, добру отпорност на ултраљубичасте зраке, високе температуре, отпорност на разградњу и бактерије... Важно је и да се геотекстили могу и рециклирати.

При планирању радова са геосинтетцима треба узети у обзир све релевантне утицаје окружења и услове уградње и одредити их помоћу захтеваних својства геосинтетика које су заокружене у следеће главне групе својства:

-физичка својства

-механичка својства

-хидрауличка својства

-својства повезана са трајношћу и отпорношћу (оштећења приликом полагања, клизање, абразија итд.)

-својства повезана са распадом због утицаја окружења (температура, хемијски и биолошки утицаји, старење итд.) [12].

Стандардне методе испитивања су потребне за одређивање различитих карактеристика геотекстила и велики број тест метода је стандардизован у појединим земљама (NEN, DIN, BS, AFNOR, ASTM...), а осим тога и неке су међународне организације издале прописе о методама испитивања (ISO, CEN, RILEM, EDANA, PIARC, ...) [16].

Коришћење геотекстила у грађевинарству показало се као решење које штеди новац и знатно побољшава особине грађевине у односу на класичне технике изградње појединих врста објеката као и стабилизације тла и изградње путева.

Уградња геотекстила се врши у тешким условима и највише оштећења геотекстила долази при његовој уградњи тако да он мора имати велику отпорност на оштећења тј.

мора задржати сва своја својства (раздвајање, филтрацију, дренажу, стабилизацију, заштиту) након уградње у тло.

Осим временских услова који могу ослабити карактеристике геотекстила пре саме имплементације, до његовог слабљења долази и при самој уградњи од механичких утицаја којим је изложен геотекстил. Након уградње губитак на јачини мора бити занемарљив, узимајући у обзир век трајања геотекстила [17].

Свеобухватна ревизија резултата на пољу тестирања геотекстила при уградњи, указује да оштећење геотекстила при уградњи зависи од типа геотекстила, градијације и облика зрна агрегата, висине са које се полаже агрегат на геотекстил, коришћене енергије за сабијање агрегата и од типа вибро плоче [18].

Резултати указују да деформација геотекстила при уградњи зависи од карактеристика влакана и пређа и од сложености геосинтетичке структуре (тј. једноставне структуре за ткане геотекстиле и геомреже и релативно комплексне структуре за неткане геотекстиле). Комплексна структура нетканих геотекстила има велики утицај на оптерећење-напрезање ових материјала [19].

Код градње хидротехничких грађевина најчешће се употребљава неткани текстил - армирани и неармирани. Најчешћа употреба нетканог геотекстила је при изради филтра, код раздвајања и појачања. Код заштите косина насутих објеката, стабилизације обале стајаће и текуће воде производе се посебне врсте нетканих текстила са уметнутим хумусом и семеном траве како би корење додатно стабилизovalo земљиште. Геотекстил при градњи хидротехничких грађевина омогућује проток воде нормално на раван геотекстила за сврху филтрирања и/или у равни геотекстила за сврху дренажа, све у сврху спречавања ерозије тла.

При градњи хидротехничких грађевина геотекстил треба да испуни механичка и хидрауличка својства као и да осигура постојаност тих својстава током животног века грађевине.

Код грађења путева геотекстил се најчешће користи као стабилизатор слојева. У приручнику за градњу пута из 2008. године дебљина основног слоја или постељице није дефинисана али се препоручује да буде око 50 cm када се користи геотекстил, у случају када се користи геомрежа смештена на дну агрегатних слојева, доњи слој може бити тањи за 10 до 20 % [20].

Код израде косина и потпорних зидова чак и у случајевима када је темељно тло задовољавајуће чврстине постављају се вишеструки слојеви геотекстила или геомрежа како би додатно појачали стабилност косине.

Када се раде насипи мора се имати у виду да су они склони бочном ширењу због хоризонталног притиска земље која делује унутар насипа. Наведени притисак узрокује хоризонтална помична напрезања на темељу насипа које преузима темељно тло које мора имати довољну клизну јачину да не дође до слома конструкције. Неопходно је при коришћењу геотекстила за ову сврху да он има велике вредности прекидне силе.

Уградњом геотекстила се стабилизује насип, смањује и равномерно распоређује слегање, ограничава померање темељног тла, како по хоризонтали тако и по вертикали. Избор геотекстила зависи од сврхе употребе, у табели 1 су приказане врсте геосинтетика и њихова поља употребе.

Табела 1. Врсте геосинтетика и главне сврхе употребе [12]

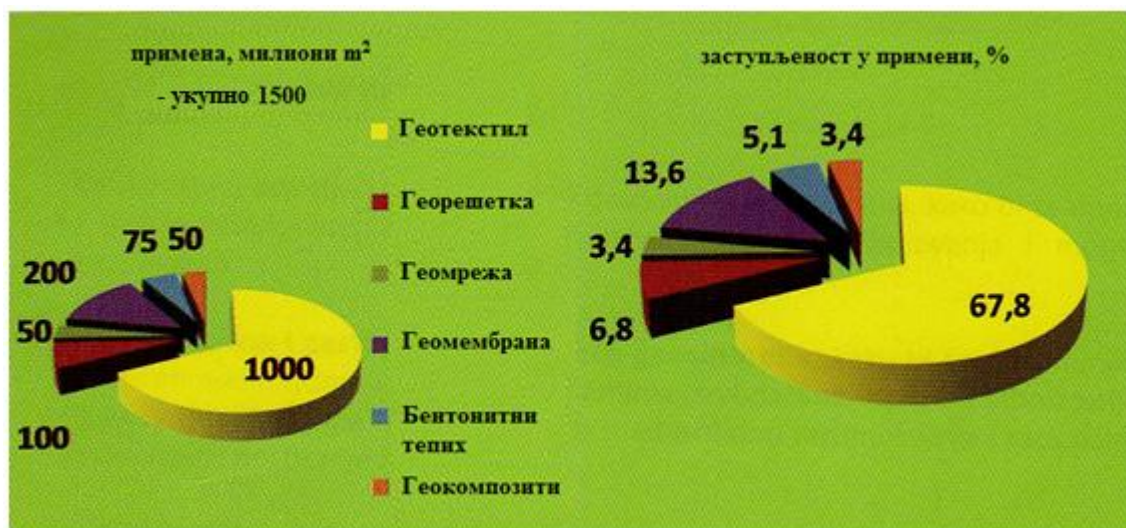
Тип геосинтетика	Одвајање	Филтрирање	Дренажа	Армирање	Заптивање	Заштита од површинске ерозије
Геотекстили (GTX)	√	√	√	√		√
Геомреже (GGR)				√		√
Георешетке (GNT)			√			√
Геомембране (GMB)					√	
Геосинтетичке баријере (GBR)					√	
Геокомпозити (GCO)	√	√	√	√	√	

Употреба геокомпозитних текстила је прикладна у случајевима када геотекстили не би могли да испуне постављене захтеве. Такви примери су:

- смањење истезања и повећање јачине нетканог геотекстила комбинацијом са тканим геотекстилима или додавањем уплетених нити
- повећање отпорности површине на трење применом специфичних влакана
- побољшање специфичних филтрационих и дренажних својстава ...

Произвођачи геотекстила имају могућност да коришћењем прилагођеног система производње испуне захтеве корисника и преко производа који не улазе у састав стандардног и класичног производног програма приказаног у каталогу производа [12].

Слика 1 приказује заступљеност геотекстила на светском тржишту у односу на друге геосинтетике.



Слика 1. Подаци о количини уграђених геосинтетика у свету [21]

2.2 Разлози за примену геотекстила



Слика 2. Геотекстил при уградњи [22]

Геосинтетика а самим тим и геотекстил у последњих четрдесет година доживљава своју експанзију а сама примена геосинтетика (у већој мери) је почела пре нешто више од педесет година, па се самим тим може сматрати релативно новим производом. Истраживања и тестирања ових материјала су увек актуелна и често се долази до нових сазнања у вези ових производа и њихових могућности. Први резултати су показали да се ова врста производа показала изузетном и за сада незаменљивом при изградњи путева, ојачања тла, стабилизацији терена...

Почетци примене ојачања тла евидентирани су у древном Египту и Бабилону и многе друге цивилизације су користиле сламу у комбинацији са глином да побољшају квалитет грађевинског материјала у конструкцији њихових домова, путева и других структура [23].

Коришћење овог материјала, уместо минералног филтра, смањује померање тла и повећава стабилизацију [24].

Масовније коришћење геосинтетика је настало уједно када је почело све веће загађење животне средине првенствено код депонија које су неадекватним одлагањем отпада загадиле подземне воде и околну земљиште. Порастом броја људи на планети пропорционално се шире и одлагалишта отпада које човек ствара и од изузетног је значаја да се отпад на одлагалишту држи под контролом и спречи његово ширење у екосистем.

Геотекстил и геосинтетика уопште се такође користи и код све бројнијих фабрика које такође доприносе у знатној мери загађењу средине као и на другим бројним местима где се жели сачувати околина и здрава средина. Последњих десет година изградња депонија комуналног и индустријског отпада знатно је интензивирана. Циљ сваке заједнице је постао брига за животну средину као претпоставка његовог одрживог развоја.

Уз помоћ геотекстила при градњи депоније је успешно могуће решити неповољна деловања опасних материја које се јављају приликом депоновања комуналног и друге врсте отпада.

Главне предности коришћења геосинтетика су:

- под контролисаним квалитетом су произведени у фабричком окружењу,
- могу бити брзо уграђени у већини случајева,
- генерално замењују природне ресурсе,
- замењују друге различите дизајне користећи земљу или друге грађевинске материјале,
- генерално имају ниску цену у односу на земљу и друге грађевинске материјале које мењају или појачавају [25].

Геотекстил и геосинтетика је настала као неопходна потреба индустрије, грађевинске пре свега а производ је науке као одговор на велике проблеме при градњи путева, насипа, брана и објеката уопште као и заштите околине.

Данас се не може замислити квалитетна и одговорна градња на било ком терену при било којим условима и температурама уколико се гради без геотекстила као основе био то мекан или чврст терен, под нагибом или раван, поред стајаће или текуће воде, код утврђења обала, мостоградње, градње путева, тунела, складишењу отпада...

Употребом геосинтетичких и геотекстилних материјала замењују се постојеће конструкцијске методе у грађевинарству које употребљавају минералне ресурсе, са методама које употребљавају геотекстилне материјале.

Предности примене геотекстила при изградњу су:

- Смањење интензитета оптерећења на постељицу и превенција продирања агрегата из помоћног слоја у постељицу.
- Спречавање продирања материјала из постељице у помоћни слој.
- Спречавање контаминације помоћног слоја материјала у који може dospети агрегат веће гранулације.
- Смањење дубине ископа који је неопходан за уклањање неодговарајућих материјала за постељицу.
- Смањење дебљине агрегата који је потребан да се стабилизује постељица. Смањење дебљине агрегата потребног за структуру пута се може и не мора разматрати.
- Мање оптерећење постељице током градње.
- Лакше одржавање целовитости и једнакости пута уколико дође до слегања постељице. Геотекстил не спречава слегање постељице, ипак, његовом употребом слегање ће бити уједначено.
- Редукује се одржавање и продужује животни век пута.
- Омогућава брзи одлив воде из коловозне конструкције што ће спречити притисак воде на конструкцију која у случају оптерећења пута може да изазове колапс постељице [26].

У Европској унији је прописом обавезно коришћење геосинтетика при градњи и код заштите животне средине и не може се замислити квалитетна градња без ове врсте материјала.

Разлози за примену геотекстила код очувања човекове околине и екосистема су сваким даном све бројнији а једни од најосновнијих разлога су:

- незауостављива промена климе која све чешће изненадним, јаким и дуготрајним падавинама подиже нивое река и језера и њено изливање може угрозити домаћинства, фабрике, читаве градове, села и насеља. Такође, чиста вода може доћи у контакт са контаминираном загађеном течношћу или материјалом и даље са отпадом трајно уништити плодно земљиште које поплави. Тако да је кључно насипе и обале утврдити и поставити геотекстилом у циљу њиховог ојачања и стабилизације како би били сигурни да неће попустити. У последње време су веома честе поплаве и јасно је да је неулагање у насипе и њихово попуштање услед некоришћења геотекстила неупоредиво више коштало

нашу државу и грађане него њихово благовремено грађење. Клима такође утиче и на наше саобраћајнице па се самим тим свако померање тла истог тренутка примети и на самом коловозу који је неопходно моментално санирати, што је бар код мањих померања могуће предупредити постављањем геотекстила. Цена је неупоредиво већа кад се врши санација у односу на инвестицију у само постављање геотекстила у конструкцију пута (без обзира да ли се санира због последица климе или хабања).

- уштеда енергије која је све скупља може се уз помоћ геосинтетике спровести тако што код одлагалишта отпада и уз помоћ мреже цеви које би под земљом акумулирале метан и друге гасове након вишедеценијске изолације отпада и директно их спроводиле до термоелектране као што је случај код калифорнијских депонија.

Оправданост примене геотекстила је неоспорна било то да се користи за утврђивање обале, при изградњи пута, облагању депоније, обезбеђивање косина код саобраћајница, штитећи не само возаче на путу већ штити околину од штетних утицаја возила (изливање уља, нафте, буке, вибрација...)

У нашој земљи коришћење геотекстила је до пре неколико година било у зачетку и тек повремено се користио како код градње путева тако и на другим местима где је примена геотекстила неопходна. Према приручнику из 2008. године [20] за градњу путева у Србији код тачке 4.3.1 постелица, наведено је да се геотекстил користи само када је калифорнијски индекс носивости CBR мањи од 2 % или је присутна велика влажност, тада се њено стање може побољшати одговарајућом стабилизацијом или применом геотекстила. Такође, примена геотекстила је наведена и у тачки 4.3.2 у делу помоћни слој али је уједно и напоменуто да се помоћни слој користи најчешће у САД а ређе у Европи и да је његова примена актуелна ако је носивост постелице недовољна и да се често у том случају између постелице и основног слоја додатно поставља геотекстил.

Путеви у Србији су слабог квалитета а њихова санација је веома честа, што се делом може повезати са недовољном употребом геотекстила при самој градњи пута што између осталог доводи и до колотрага односно недовољне носивости коловозне конструкције (колотрази могу бити и последица лоше збијености) који могу бити опасни наручито на аутопутевима где се возила крећу преко 100 km/h. У приручнику је такође наведено да квалитет асфалтног слоја веома зависи од квалитета претходно урађених слојева, што нас опет враћа на прве слојеве пута (постелица и помоћни слој), где је неопходно поставити добар „темељ“ као основу. Са коришћењем квалитетних материјала, поштујући правила градње, температуре, дебљине слојева, збијености, неопходно је и

тестирање сваког слоја од постељице, доње подлоге-тампона, горње подлоге и засторе од асфалта и бетона, пратећи услове градње како би на крају добили квалитетан и дуготрајан коловоз.

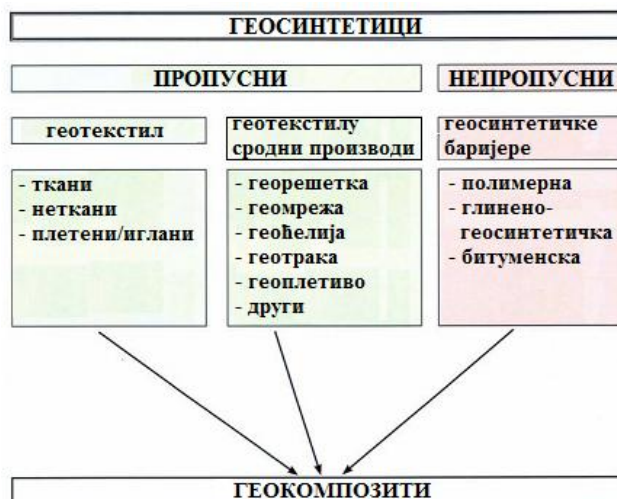
Геотекстил по приручнику се још користи при грађењу дренажног канала за трамвајски саобраћај као филтар за прикупљање воде и спровођење исте у дренажну цев која је перфорирана са горње стране а са њим су обложени зидови дренажног канала са унутрашње стране. Такође се зидови рова облажу геотекстилом до којег риголе спроводе воду са коловоза до дренажне цеви а геотекстил служи за лакше спровођење воде до исте.

Од 2012. године јавно предузеће Путеви Србије из Београда је у сврху пројекта рехабилитације транспорта издала Техничке услове за грађење путева у Србији у којима је знатно заступљенија геосинтетика у односу на приручник из 2008. године и где су прописани и минимални захтеви које треба да испуњава геосинтетика када се примењује у сврху раздвајања и у сврху филтрирања. Такође од истог предузећа и под истим пројектом је издат и Приручник за пројектовање путева у Србији [12] који је готово цео посвећен геосинтетикама и у којем се између осталог и детаљно описују геосинтетици и геотекстил, стандарди који се користе при коришћењу геотекстила, примена геотекстила, функционалне карактеристике, постојаност... Издавање оваквог приручника говори у прилог чињеници да се квалитетан и дуготрајан пут и инфраструктура не може градити без употребе геосинтетика.

Геотекстил и геосинтетика уопште, је неизоставна карика квалитетне нискоградње без које је немогуће постићи и задовољити квалитет градње који се очекује у 21. веку, како би генерације које долазе имале поуздану инфраструктуру, здравију животну средину и сачуване ресурсе. То за градитеље значи снижење трошкова градње као и скраћење времена градње, возачима се осигурава пријатна вожња, одржаватељи имају дуже интервале ревизије и снижене трошкове одржавања.

2.3 Подела геотекстила

Основна подела геосинтетика приказана је на слици 3.



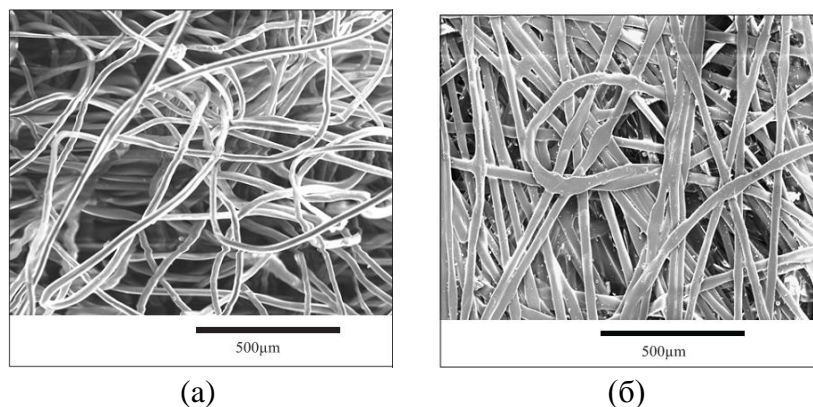
Слика 3. Подела геосинтетика [27]

У табели 2 су приказане стандардне ознаке за опис геосинтетика дефинисане према стандарду SRPS EN ISO 10318.

Табела 2. Стандардне ознаке за опис геосинтетика према стандарду SRPS EN ISO 10318:2015 [8]

GSY	Geosynthetic	Геосинтетик
GTX	Geotextile	Геотекстил
GMB	Geomembrane	Геомембрана
GGR	Geogrid	Геомрежа
GCO	Geocomposite	Геокомпозит
GNT	Geonet	Георешетка
GBR	Geosynthetic barrier	Геосинтетичка баријера
GCL	Geosynthetic clayliner	Глинена геосинтетичка баријера
GCE	Geocell	Геоћелија
GMA	Geomat	Геоплетиво

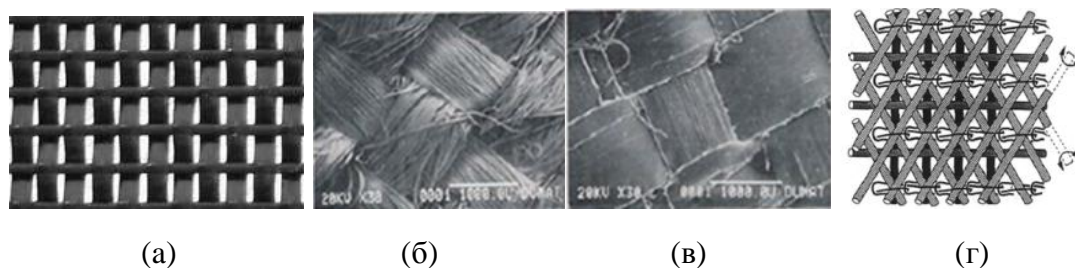
Геотекстил се може сврстати у две групе – неткани и ткани. Неткани геотекстил се производи најчешће од синтетичких влакана која се обрађују и везују механички (најчешће спојени пробијањем-мршењем иглама, слика 4 (а) или термички 4 (б)), у зависности од дужине влакана неткани механички везани геотекстил може бити од филаментних или штапел влакана. Геотекстилни неткани материјали су прва врста материјала из текстилне индустрије који су коришћени за геосинтетички инжењеринг и још увек су најзаступљенији у овој области.



Слика 4. Иглани (а) и термички спојени (б) геотекстил, микроскопски приказ [28]

У зависности од изгледа попречног пресека и типа ткања постоје четири типа тканог геотекстила:

Ткани монофиламентни геотекстили, ткани мултифиламентни геотекстили, „tape“ ткани геотекстили (flattened ribbons) и DOS геотекстили (directionally oriented structures).



Слика 5. (а) Ткани монофиламентни геотекстили [29], (б) ткани мултифиламентни геотекстили, (в) „tape“ ткани геотекстили, (г) DOS геотекстили (directionally oriented structures) [30]

Најбоље механичке карактеристике имају геотекстили од мултифиламентних пређа [31].

Ткани геотекстил углавном се користи код стабилизације конструкције коловоза.

Међутим, дренажне карактеристике тканих геотекстила нису добре као код нетканих геотекстила.

Употреба тканих и плетених геотекстила је прикладна када се захтева велика отпорност на затезање. Користе се за армирање, нарочито у ситнозрнастом тлу, где се истовремено врше и функције дренаже. Прикладни су и за филтре који су под хидростатичким оптерећењем, као и за неравномерно зрнасто тло, када омогућавају изградњу стабилног секундарног филтрационог система унутар самог тла. У филтрима који су под динамичким оптерећењем ти захтеви по правилу не могу да се испуне [12].

Ткањем се производи геотекстил са великом јачином у правцу основе и потке и малим издужењем при прекиду [31].

Неткани геотекстили у односу на ткане су мање јачине и већег издужења.

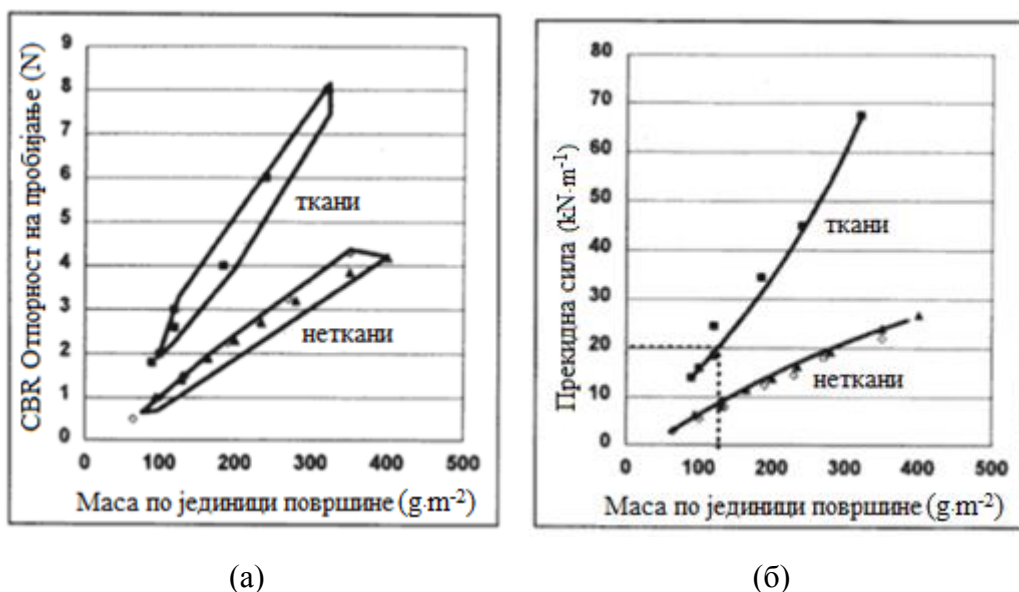
Два основна типа геотекстила, ткани и неткани, имају потпуно различите структуре пора. Многе различите врсте тканих геотекстила су произведене користећи различите типове влакана (монофиламент, мултифиламент ...). Ови геотекстили можда изгледају слично али имају веома различите структуре пора, и стога треба да имају различите перформансе филтрирања. Однос између масе по јединици површине и дебљине је врло различит за ткане геотекстиле различитих влакана и врсте ткања [7].

У табели 3 су приказане карактеристике тканог геотекстила у зависности од његове површинске масе.

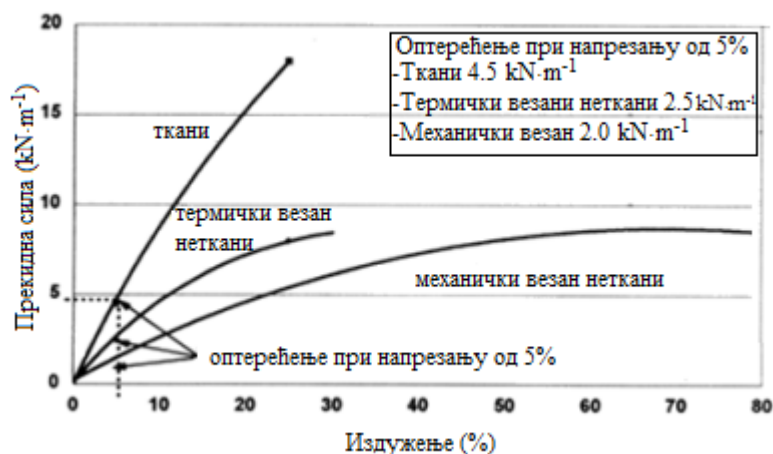
Табела 3. Карактеристике тканог геотекстила у зависности од његове површинске масе [32]

Параметри/јединице	Стандард	10	15	20	25	30	40	45	60
Механичке карактеристике	EN 965	90	100	130	165	175	190	230	300
Површинска маса ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)									
Прекидна сила ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$) дужина/ширина	EN ISO 10319	20/11	20/14	21/21	30/25	35/30	40/40	45/45	60/60
Издужење (%) дужина/ширина	EN ISO 10319	13/12	13/12	13/12	15/9	15/9	15/9	15/10	15/10
CBR -пробијање (N)	EN ISO 12236	2100	2350	3000	3500	3500	4400	5000	6500
Пенетрација (mm)	EN ISO 13433	9,5	10	9,5	5,0	8,0	10,0	4,5	6,0
Хидраулички параметри	EN ISO 12956	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Отвор пречника O_{90}									
Водопропустљивост ($\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	EN ISO 11058	20	19	20	18	18	29	25	25

На сликама 6 и 7 приказане су карактеристике тканих и нетканих (механички и термички везаних) геотекстилних материјала



Слика 6. Разлика у вредностима сила пробијања (а) и прекидних сила (б) тканог и нетканог геотекстила [30]



Слика 7. Разлика у прекидној сили и издужењу између тканог, нетканог термички везаног и механички везаног геотекстила [30]

Примена геотекстила може бити од пресудног значаја да коловозна конструкција остане дуги низ година у задовољавајућем стању. Параметар који је јако битан при одабиру геотекстила осим површинске масе и његове јачине и деформације при оптерећењу је и сировински састав геотекстила.

Геотекстили се најчешће израђују од полипропилена и полиестра.

У табели 4 приказане су разлике у температури топљења, склоности ка смицању и постојаности геотекстила израђеног од ПЕС и ПП влакана.

Табела 4. Основна техничка својства најчешће употребљаваних влакана за неткани текстил

Основна својства	Полиестар (ПЕС)	Полипропилен (ПП)
Температура топљења, °C	256	165
Склоност смицању	Мала	Велика
Постојаност на:		
разређене киселине	добра	врло добра
концентрисане киселине	средње добра	средње добра
разређене базе	добра	врло добра
коцентроване базе	лоша	средње добра
микроорганизми (трулеж, плесан)	врло добра	врло добра
УВ стабилност	добра	лоша

2.4. Подручја примене геотекстилних материјала

Геотекстил налази све више употребних могућности у области грађевине. У табели 5 су наведени стандарди који се користе при уградњи геотекстила у оквиру европске директиве 89/106/ЕЕС [33] за грађевинске производе.

Стандардима подршке, који се доносе на основу овлашћења савета Европске организације за стандардизацију, утврђују се технички захтеви за грађевински производ како би се задовољили битни захтеви постављени у директиви за грађевинске производе.

У складу са овим захтевима, да би се остварили услови за усаглашени систем општих правила у грађевинској индустрији, успостављени су хармонизовани стандарди израђени у оквиру мандата који је СЕН добио од Европске комисије. Хармонизовани стандардима се обезбеђује тачност података и референтне тачке за пројектанте, инжењере и услужне раднике. Они дају оптималан степен уређености у свим областима за које су писани. Усаглашеност са хармонизованим стандардима, који су преузети као национални стандарди, обезбеђује се усаглашеност са битним захтевима директиве за грађевинске производе. Национални хармонизовани стандарди су прецизне техничке спецификације које испуњавају битне захтеве директиве за грађевинске производе, при чему спецификације представљају утврђене техничке захтеве за производ.

Постоје и бројне методе како за уградњу геотекстила и уз које материјале их користити тако и за његово испитивање у лабораторијским и теренским условима [33].

Табела 5. Списак стандарда у оквиру директиве 89/106/ЕЕС за грађевинске производе [33]

Редни број	Подручје примене	Стандард
1.	Путеви и остале саобраћајнице	EN 13249
2.	Железничке пруге	EN 13250
3.	Земљани радови, темељи и потпорне конструкције	EN 13251
4.	Дренажни системи	EN 13252
5.	Заштитни радови у борби против ерозије	EN 13253
6.	Резервоари и бране	EN 13254
7.	Канали	EN 13255
8.	Тунели и подземне конструкције	EN 13256
9.	Депоније чврстог смећа	EN 13257
10.	Постројења за отпадне воде	EN 13265
11.	Ојачања асфалта	EN 15381

Прегледом стандарда и области примене геотекстила и геотекстилу сличних производа може се закључити да ова врста материјала мора бити изузетно отпорна како на воду и влагу тако и на велике силе и напрезања којима су изложени током дужег временског периода (очекивано трајање ове врсте материјала је око 120 година након уградње).

Да би геотекстил као материјал задовољио захтеве који се од њега очекују морао је да испуни низ функција како би допринео квалитетно изграђеној инфраструктури.

Геотекстил након уградње у инфраструктуру преузима на себе функције хидрауличког и механичког типа. Хидрауличке функције су дренажа и филтрација а механичке ојачавање, заштита, одвајање и стабилизација. С обзиром да се употреба и могућности геотекстила свакодневно шире па осим набројаних основних употребних могућности, геотекстил се може користити и за паковање, изолацију и заштиту од ерозије.

Међународно удружење за материјале дефинише седам најчешћих примена геотекстила са процентом тржишног учешћа, путна инфраструктура-асфалтирање (35%),

стабилизатор (30%), дренажа (16%), баријере (6%), сепаратори (6%), железнице (4%), ојачања брана/насипа и заштита обала (3%) [34].

S.K. Shukla [35] је у књизи под насловом "Геосинтетика и њена примена" истакла да је најчешћи избор геотекстила при градњи железничких пруга у Америци неткани иглани геотекстил површинске масе од $400-680 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Најчешће су ти геотекстили од полипропилена и полиестра. Наведено је да су оба материјала изузетно отпорна на влагу, инсекте, глодаре, најчешће хемикалије и дизел горива. У књизи је наведено да се геотекстил од ПЕС влакана оштећује у јако алкалној средини. Такође је наведено да неткани геотекстили треба да имају добре абразивне карактеристике и установљено је да густина убода утиче на абразивну отпорност геотекстила па је препорука да је 80 cm^2 одговарајући број убода [35].

У конструкцији брана, само геотекстили са $d \geq 4,5 \text{ mm}$ и масом по јединици површине од најмање $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ се могу примењивати за функцију филтрирања [36].

Препорука геотекстила за градњу путева су геотекстили ПП и ПЕС површинских маса $300\div 350 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, а за санацију испуцалих (оштећених) асфалтних путева препоручују се ПЕС геотекстили површинских маса $120\div 150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Геотекстил као грађевински материјал при изградњи и одржавању путева, поседује следеће функције примене:

- ФИЛТРАЦИЈА



Слика 8. Геотекстил као филтар [37]

Филтар треба да спречи прекомерну миграцију честица тла, док у исто време дозвољава пролаз течности из тла [38].

Филтар коришћен у геотехничком инжењерингу мора да има отворе довољно мале да задржи тло, и у исто време, мора бити пропустљив довољно да дозволи води да прође што је лакше могуће [39].

Геотекстили с примарном функцијом филтрирања примењују се ради ограничавања испирања ситног материјала код пролаза воде из слоја тла fine гранулације у слој крупније гранулације (сл. 8). Као филтар геотекстил задржава саставне делове тла или друге честице, уз истовремено омогућавање протока течности нормално на раван филтра [40].

При томе треба разликовати механичку стабилност филтра (способност задржавања тла) и хидрауличку ефикасност филтра с циљем одвођења воде уз минималне губитке притиска. Геотекстили с функцијом филтра имају и додатну функцију раздвајања два слоја тла, при чему ограничавају међусобно мешање два слоја тла различитих физичких својства тла (гранулометријски састав, конзистенција, слегање). Они спречавају испирање финих честица и њихово продирање у крупнозрнастији материјал. У хидротехничким грађевинама овај тип геотекстила примењује се код заштите обала и дна водотока од ерозије и ради регулације водотока. Такође користи се испод каменог насипа код утврђених обала како би спречио ерозију земље. Ефикасност филтрације укључује пролаз воде кроз сам материјал а да притом задржи честице тла на страни од које долази вода према геотекстилу [40].

Услови за геотекстилни филтар су да мора гарантовати дугорочну заштиту од ерозија обале канала и корита, и истовремено да сачува механичке и хидрауличке ефикасности филтра [41].

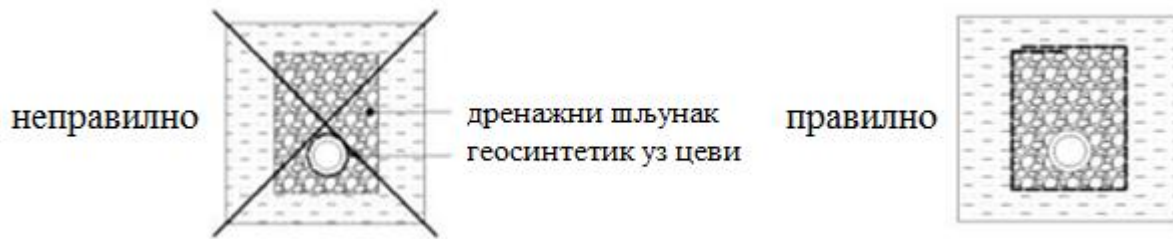
Геотекстили се најчешће примењују за сврху филтрирања код изградње брана, хидротехничких грађевина, одлагалишта отпада, инфраструктуре, обала, потпорних конструкција, насипа, ригола и система за дренажу код градње путева, других грађевинских радова а све у сврху да задржи честице земље од њене миграције и да у дренажну цев уђе само течност вертикално кроз геотекстил односно филтарски слој.

При употреби геотекстила за сврху филтрирања његова дебљина повећава дуготрајну механичку и хидрауличку ефикасност филтра. Велика дебљина филтра заједно са великом масом по јединици површине и велико издужење, у свим случајевима, повољно утиче на механичке ефикасности филтра и на издужење геотекстила.

Геотекстилни филтри морају бити робусни како би издржали механичка оштећења током уградње и коришћења [42].

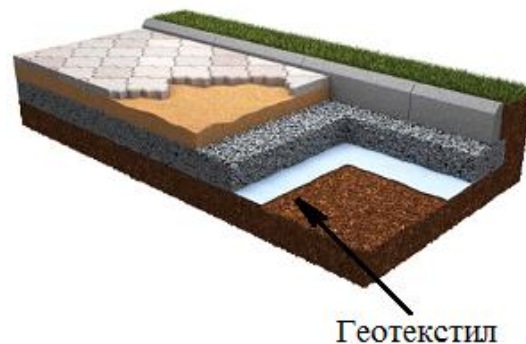
Употребом ове врсте филтра у грађевинама смањују се порни притисци и само деловање воде на конструкцију, што је јако битно код потпорних зидова за путну инфраструктуру где се вода одводи и смањује се опасност од смрзавања и умањивања

носивости путне конструкције. Такође јако је важно убрзање консолидације у тлу испод насипа, где се вертикалним фабрикованим дренажима убрзава слегање темељног тла насипа.



Слика 9. Примери правилне и неправилне употребе филтарског геосинтетика [12]

- РАЗДЕЛНА ФУНКЦИЈА



Слика 10. Раздвајање различитих слојева материјала са геотекстилом [43]

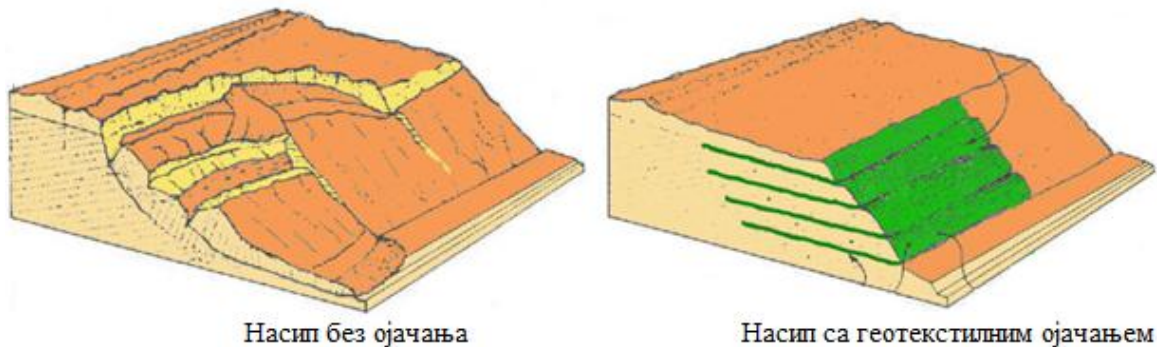
Раздвајање или сепарација је увођење флексибилног порозног материјала постављеног између различитих материјала тако да интегритет и функционалност оба материјала остану нетакнути или побољшани [44].

Другим речима се може рећи да раздвајање значи имплементирање савитљиве синтетичке баријере између два материјала чија се својства знатно разликују, како би се сачувала целовитост и повољно деловање оба материјала (слика 10). Функција раздвајања је нарочито важна у климатским условима које пролазе узастопне периоде замрзавања и одмрзавања.

Једна од сврха раздвајања је и да спречи базни материјал пута да продре у мекани подслој пута што има за циљ да одржи пројектовану дебљину коловоза. Нпр. раздваја аутохтоно тло од првог слоја насипа или постељицу (задњи слој насипа) од доњег носећег слоја коловозне конструкције (тампона). Такође, за раздвајање две врсте тла у насипу (нпр. песак од глине), могуће је применити геотекстил.

Одабир одговарајућег геотекстила зависи од врсте и гранулометријског састава у основном слоју и очекиваном оптерећењу тог слоја у експлоатацији, као и оптерећењима током уградње. Подручја у којима се користи геотекстил за одвајање слојева су: градња путева и путне инфраструктуре, изградња хидротехничких грађевина, изградња железничких пруга и земљаних насипа.

- НОСЕЋА ФУНКЦИЈА



Слика 11. Насип са и без геотекстилног ојачања [45]

Циљ геотекстила при градњи насипа је да преузме део или потпуно затежућу силу у конструкцији (слика 11). Као на пример арматура за ојачање насипа, арматура код потпорних конструкција од армираног тла или бетона, као и арматура у коловозној конструкцији.

Ојачано тло је било који зид или потпорни систем косине у којем је ојачавајући елемент уграђен у конструкцију како би побољшао његове механичке карактеристике [46].

Како се доступност погодних места за градњу смањује, све је већа потреба да се искористи лоше земљиште за изградњу темеља, извођење земљаних радова и изградње [47].

Дебљина полиестарског геотекстила када се накваси се смањује у односу на суво стање. Процент смањења дебљине мокрог геотекстила је већи када је постављен као ојачање у поређењу са узорцима који нису у ојачању [48]. Геотекстил у овом случају првенствено служи као ојачавајући слој у земљишту којим се побољшава јачина и деформбилност земљишта као и да би формирали ојачани земљишни зид. Ојачањем земљишта стварају се услови да се изграде насипи и преко мекане и слабо носиве подлоге или да се косина насипа изгради под стрмим углом што се не би могло урадити код неојачаног земљишта.

S. Adanur и T. Liao [49] су развили методу за прорачун напрезања и деформација на различитим геотекстилинама током теста извлачења. Јачина при истезању и ток криве одговарају симулираним вредностима.

Ојачање земљишта може бити окарактерисано као стално прекидање кохезије C_R као привидне кохезије. То значи да се ојачана земља може сматрати као кохезивни материјал са анизотропним кохезијама [50].

Триаксални резултати испитивања тла показују да додавање арматуре узрокује повећану максималну јачину, веће осно напрезање пре колапса, смањени или ограничени губитак јачине после максималних вредности оптерећења [51; 52; 53; 54; 55; 56].

Повећање јачине је чак четири пута веће од неармираног тла у сувим условима [55].

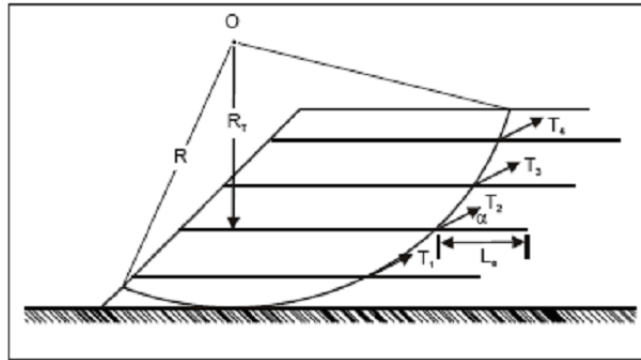
Снага геосинтетички ојачаног земљишта зависи од јачине земљишта, јачине геосинтетика и размака између геосинтетика [57].

Коришћењем геотекстила код слабоносивог тла се на најбржи, најефикаснији и економичан начин постиже њихова стабилизација. Проблеми са формирањем темеља и подлога у слабоносивом тлу ће бити квалитетно и ефикасно решени употребом геотекстила. Употреба геотекстила уместо скупе замене тла, израде дренажа, консолидације или убризгавања знатно ће утицати на економичност појединих решења и укупну цену инвестиције.

Број, дужина, чврстоћа и позиција за постављање примарног геосинтетичког ојачања се прорачунава како би се постигао задовољавајући фактор сигурности који се најчешће рачуна помоћу Бишопове методе и формуле:

$$FS = \left(\frac{M_R}{M_D} \right)_{\text{неојачана}} + \frac{\sum T_{\text{allow}} \times R_T \cos \alpha}{M_D} \quad (1)$$

где су M_R и M_D момент отпора и момент кретања за неојачану косину, α – угао силе затезања у ојачању у односу на хоризонталу, T_{allow} – максимална дозвољена сила затезања ојачања, R – сила ојачања ($R = R_T \cos \alpha$) [58].



Слика 12. Пример циркуларне анализе клизања ојачаног земљишта на стабилном тлу [58]

Потенцијално место клизања у ојачаном зиду земљишта претпоставља се да се поклапа са местом максималне силе затезања у ојачању [59].

Параметричка студија показује да присуство влакана значајно доприноси привидној кохезији земљишта, а допринос снази смицања код повећања нормалног оптерећења је ограничен [60].

Примена дебљег геотекстила за ојачање није увек предност у односу на примену тањег геотекстила. Некада, геотекстили мање површинске масе могу обезбедити ефикасније ојачање [61].

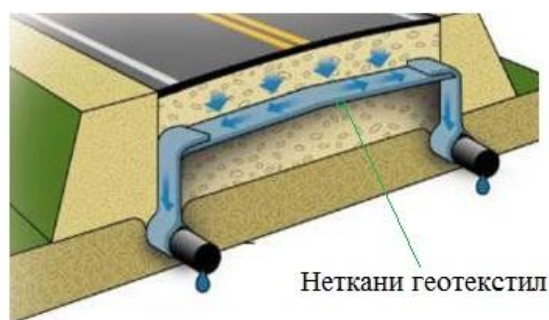
Asli Gunes и др. [62] након извршеног испитивања користећи различите површинске масе геотекстила од полиестра код стабилизације косина закључили су да код веома стрмих падина употреба геотекстила показује добре резултате. Употребом геотекстилног материјала од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ су постигнуте најбоље перформансе стабилизације стрмих падина.

- ДРЕНИРАЊЕ (одвођење воде)

Дренажа је у суштини прикупљање и одвођење атмосферских, подземних и других облика воде изван подручја објекта за који се врши дренажа. Основна функционална карактеристика дренажног геосинтетика јесте способност превођења воде под статичким или хидрауличким оптерећењима. Способност дренаже геосинтетика се често описује као трансмисивност (Θ) и изражена је као производ коефицијента пропусности (kG) и дебљине (d) под оптерећењем (сл. 13) [12].

Да би се код конструкције насипа тунела, потпорних зидова, подземних делова грађевина, путева, сачувао ниво подземних вода испод њих, неопходно је да се воде равномерно одведу ван грађевине у циљу очувања темеља и основе. Геотекстил у овом случају служи као одвод који спроводи ток воде кроз мање пропустљиво земљиште.

За јачи ток воде могу се користити геокомпозити. За убрзање консолидације меканог кохезивног темељног тла које се налази испод насипа могу се користити префабриковане дренажне цеви. Дренарање геосинтетикама подразумева сакупљање воде упијањем, равномерно одводњавање и спречавање капиларног подизања тла. Када су подземне воде један од главних узрочника нестабилности тада се спроводи дренарање као мера санације у стабилизацији клизишта. Довољно брзо одвођење воде из конструкције, уз спречавање испирања честица темељног тла је ефикасно решење које се постиже полипропиленским геотекстилом. На овај начин се могу стабилизovati велика клизишта на ефикасан и економичан начин.



Слика 13. Дренажни геотекстил [63]

Функција дренарања је дефинисана као "прикупљање и одвођење падавина, подземних вода и/или других течности у равни геотекстила". Способност геотекстила за одвођење течности га препоручује за коришћење за дренажне системе [64].

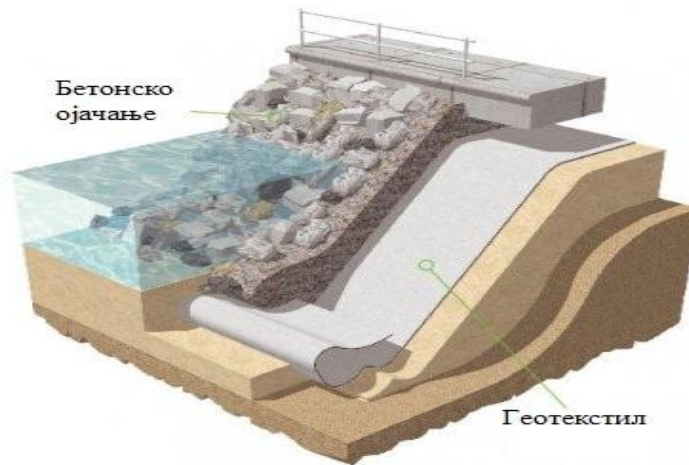
Веома значајно својство нетканог геотекстила је да његова тродимензионална структура обезбеђује пут за проток воде [65].

Геокомпозитни одводи су индустријски монтажни елементи за одводњавање.

Састоје се од дренажног слоја (језгра одвода, који је нпр. направљен од геомрежа, мреже, монофиламентне структуре) и филтарског геотекстила постављеног на врху језгра одвода [66].

- ЗАШТИТНА ФУНКЦИЈА

Штити делове грађевинске конструкције од дејства ерозије, ветра, воде, итд. Повећава отпор на смрзавање у бази агрегата. Параметри који утичу на ефикасност заштитне функције од оштрих делова су дебљина геотекстила који се полаже, његове површинске масе као и његова отпорност на пробијање приликом велике силе притиска. Геосинтетика пружа заштиту против еколошких катастрофа као што су поплаве и циклони, са минималним трошковима. Те структуре могу да заштите обалу и да издрже тешке олује са таласима од 2,5 до 5 метара [67].



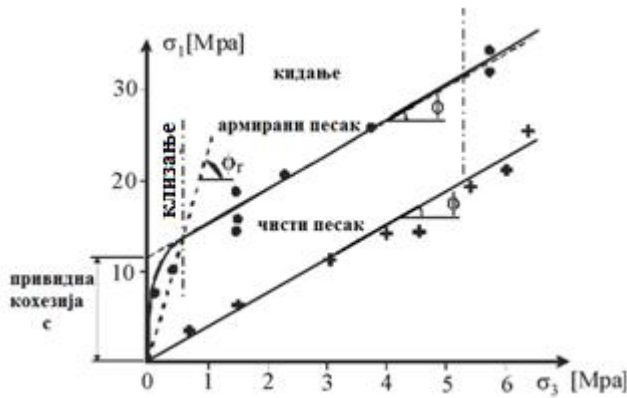
Слика 14. Геотекстил уграђен у циљу заштите обале [68]

-АРМИРАЊЕ ТЛА

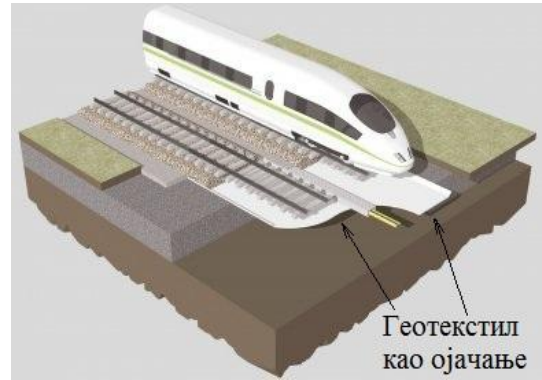
Уграђивањем геотекстила у тло даје се тлу затезна чврстоћа а уграђени геотекстил се понаша као арматура. Армирање земљишта је ефикасан систем побољшања карактеристика слабо носивог тла, односно јачине и деформабилности земљишта. У зависности од начина оптерећења и положаја геотекстила могућа су два основна типа армирања: мембрански тип и клизни тип армирања. Мембрански тип армирања јавља се када је геотекстил положен на тло под притиском, а на њега делује вертикално оптерећење. Тада геотекстил преузима вучно напрезање и на тај начин растеређује тло које га само не би могло преузети. Клизно армирање јавља се због ефекта смицања на међуповршинама геотекстила и додирних материјала (зрнастог материјала и тла) [15].

Код избора рачунских вредности материјалних својства геотекстила, а што нарочито важи за арматурне геосинтетике, треба узети у обзир компатибилност земљишта и геотекстила, нарочито компатибилност деформација. Геотекстил, на пример, може да развије одређену вредност затезне чврстине код врло велике деформације, на подручју где се земљиште већ урушава. Планирање геотекстила које не узима у обзир компатибилност материјала и њихових захтева може бити без ефекта, а може бити и штетно за објекат, ако калкулације нису биле засноване на исправним претпоставкама [12].

Дугорочна својства геосинтетика одређују се уз помоћ присуства одређених адитива који се мешају са полимером током екструзије. Производи за ојачавање се обично производе са веком трајања најмање 100 година [69].



(а)

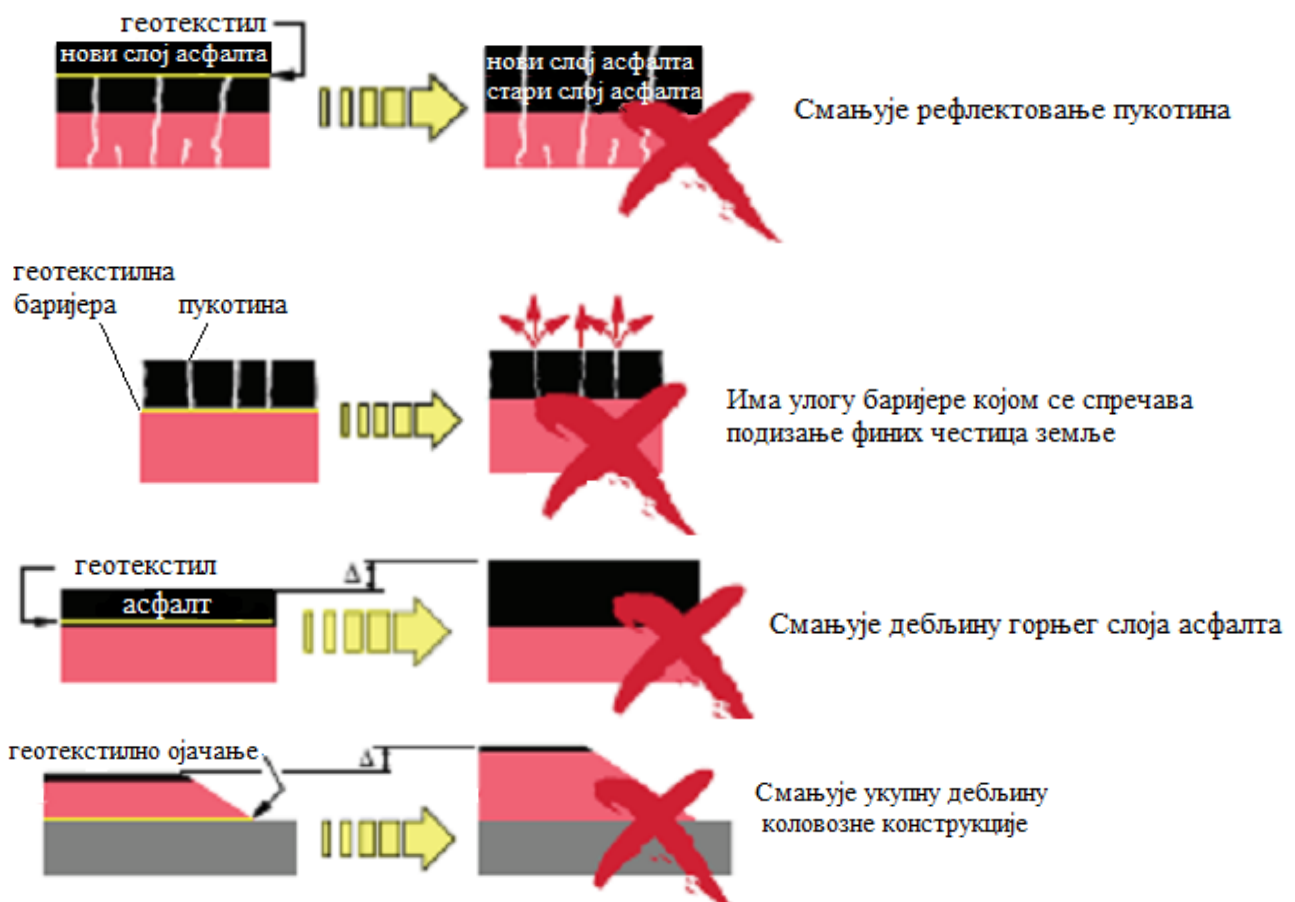


(б)

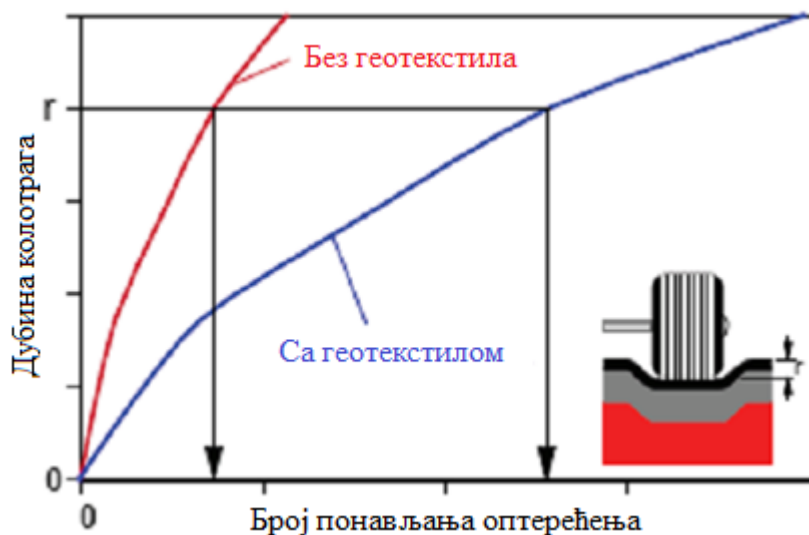
Слика 15. Резултат лабораторијског испитивања песка ојачаног геотекстилом (а) [70] и пример геотекстила у функцији ојачања (б) [68]

2.4.1 Критеријуми за одабир геотекстила за изградњу путева

Геотекстил за путеве осим улоге филтрације, стабилизације и ојачања тла има и следеће улоге при асфалтирању:



Слика 16. Улога геотекстила при изградњи путева [58]



Слика 17. Дубина колотрага са и без геосинтетике [58]

Ефикасност геосинтетике као ојачања коловоза се може израчунати преко фактора ефикасности :

$$E = N_r / N_u \quad (2)$$

где је N_r – број прелазака до оштећења ојачаног коловоза, N_u – број прелазака до оштећења неојачаног коловоза. $E = 16$ је задовољавајуће [58].

Резултати истраживања потврђују побољшање квалитета коловоза услед уградње геосинтетике.

Код градње путева на тлу слабе носивости без геотекстила, при мањим оптерећењима слој зрнастог каменог материјала угиба се, па се оптерећење од возила шири на површину тла већу од отисака точка. Камени зрнасти материјал не може поднети вучна напрезања те почиње да пуца од доње површине слоја. У те пукотине и шупљине улази тло и долази до нарушавања контакта између камених зрна, она „пливају“ у меком материјалу чиме се смањује чврстоћа слоја и долази до деформација и пропадања коловоза уз појаву покретних ломова у тлу [12].

Највећа механичка оштећења којима је изложен геотекстил су приликом постављања односно у изградњи конструкције. Степен могућег оштећења геотекстила зависи од величине и облика агрегата који су у контакту са геотекстилом као и од притиска механизације при градњи на подлогу у коју је геотекстил положен. Зато је неопходно при пројектовању радова узети у обзир и овакву врсту оштећења и предупредити их. Механичка оштећења која се могу јавити на геотекстилу а која су настала директним контактом тла и геотекстила под притиском су пробијање и цепање при контакту геотекстила са оштрим ивицама коришћене сировине за градњу.

Излагање сунчевој светлости деградира физичка својства полимера. Врућ асфалт може подстаћи оштећење полимера. Полимери могу постати крти и при изузетно ниским температурама. Хемикалије у подземним водама могу реаговати са полимерима. Висока рН воде може нашкодити полиестрима а ниска рН може нашкодити полиамидима. Све ове факторе треба узети у обзир и одабрати одговарајући геотекстилни материјал [71].

Геотекстил може бити ефикасан у контролисању рефлексивних пукотина као и слабијих и средње озбиљних тзв. "алигатор-пукотина" на коловозу. Такође геотекстил може бити користан и код контролисања рефлексивне код вертикалних термалних пукотина, али употреба геотекстила није толико ефикасна код значајних вертикалних и хоризонталних померања [72].

За геотекстил се претпоставља да не пружа структурну подршку, дакле, није дозвољено смањење дебљине агрегата за структурну подршку при градњи пута. Уштеда на агрегату када се користи геотекстил при градњи пута је могућа само код агрегата који се користи за стабилизацију при градњи пута [73;74].

Рехабилитација пута је потребна где структурни недостаци лоше утичу на носивост постојеће коловозне структуре. Импрегнирани геотекстил се поставља испод асфалтног бетона као рехабилитација или превентивна мера да успори степен погоршања постојећег пута [75].

Након пуцања коловозне површине, дуготрајност пута се нагло смањује. Такозване рефлексивне пукотине такође дозвољавају води да продире у структуру коловоза, што може ослабити базне слојеве и постељицу пута и може умањити структурни капацитет коловоза. Продор воде у слојеве пута нарочито лоше може утицати ако су дренажне карактеристике базних слојева лоше. Из тог разлога улога геотекстила је да умањи продор воде кроз рефлексивне пукотине и њено задржавање у слојевима пута [75].

Сврха геотекстила у путној инфраструктури између осталих је због својих филтарских карактеристика и као слој за одвајање, па се морају дефинисати његова механичка својства али узети у обзир и :

- карактер подлоге – мекша подлога је најчешће везана за ситне честице па захтева веће издужење односно отпорност на деформације и већу прекидну силу геотекстила и ако постоје и крупнија зрна у подлози (или камење), потребно је повећати дебљину геотекстила или поставити подлогу од песка; за избор геотекстила је важнији гранулометријски састав темељног тла на који се он полаже него јачина темељног тла (често исказана параметром CBR);

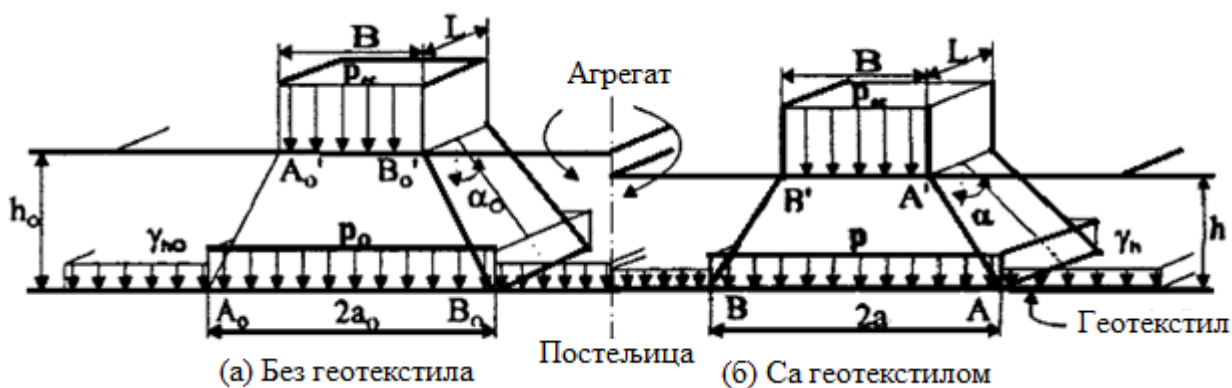
- подземне воде – ако се очекује појава воде у равни геотекстила, треба осигурати већу пропусност вертикално на површину (пермитивност), која мора бити нешто већа од пропусности тла испод геотекстила (из којег долази вода);
- карактер насипног материјала који се полаже на геотекстил – крупнија и углата зрна захтевају боља механичка својства, а то значи већу прекидну силу геотекстила, већу отпорност на пробијање, већу дебљину;
- када се користи неткани геотекстил, потребна је одговарајућа дебљина – због услова пропусности и због заштите од притиска зрна [76].

Поједини истраживачи извештавају да је боље користити јаче ојачање у дужим дистанцама него слабије ојачање на краћим дистанцама, због међусобног ометања ојачања када се постави сувише близу једно другом [77].

Сила смицања тло-геотекстил зависи од дужине геотекстила. Сила смицања прогресивно опада са порастом дужине геотекстила [78].

Код постављања геотекстила испод асфлата за сврху заптивања, геотекстил апсорбује асфалт и постаје хидроизалациона мембрана која минимизира вертикални проток воде у коловозну конструкцију [65].

Giroud J. P. и Noiray L. [79] су користили геометријски модел приказан на слици 18 за оптерећење под притиском точка p_{ec} на $B \times L$ област, која расипа кроз h_0 дебљине камене базе без геотекстила и h дебљине камене базе са геотекстилом. Резултати указују да што је мања јачина геотекстила то је потребна већа дебљина слоја агрегата.



Слика 18. Распоред оптерећења испод саобраћајно оптерећених површина [79]

Оптерећење постелице p_0 (без геотекстила) и p (са геотекстилом) дефинисано је једначинама:

$$p_0 = \frac{P}{2(B + 2h_0 \operatorname{tg} \alpha_0)(L + 2h_0 \operatorname{tg} \alpha_0)} + \gamma h_0 \quad (3)$$

$$p = \frac{P}{2(B + 2htg\alpha)(L + 2htg\alpha)} + \gamma h \quad (4)$$

Где је:

P = осовинско оптерећење

γ = запреминска тежина каменог агрегата

2.5 Производња нетканог текстила за изградњу путева

Иглањем се производе неткани геотекстилни материјали од полиестра (ПЕС), полипропилена (ПП) или од њихових мешавина, различитих финоћа и дужина влакана.

Осим различитих сировинских састава влакана за израду геотекстила како хемијских тако и природних могу се користити и влакна секундарног порекла односно рециклирана влакна. Механичко учвршћивање осим иглањем се може вршити и прошивањем и хидроуплитањем.

Неткани геотекстили се производе од штапелних влакана или филаментних влакана.

Принцип поступка иглања се састоји у томе да се снопићи влакана у пелцу помоћу игала посебне конструкције преносе са површине у унутрашњост пелца, при чему се преплићу и мрсе са осталим влакнима, чиме се добија компактнија и чвршћа структура производа. На тај начин се формира производ специфичне структуре, сличан филцу, велике јачине и отпоран на механичка дејства. Повећање јачине пелца током иглања настаје због повећања сила трења између влакана. Коришћењем влакана са већим коефицијентом трења и повећањем густине иглања такође се повећава јачина пелца.

Производни процес израде механички игланог нетканог текстила пролази кроз четири главне фазе:

- допремање и припрема влакана,
- формирање копрене и пелца са оријентисаним положајем влакана,
- иглање пелца,
- завршна обрада, резање на потребну ширину и намотавање.

За формирање пелца по механичком поступку углавном се користе једноделне или дводелне влачаре на којима се постиже одлично отварање и мешање компонената. Томе додатно претходи припрема и мешање влакана ако се користи мешавина влакана. Развијен је читав низ високопродуктивних влачара, наменски за израду копрене за производњу нетканог текстила, са већим радним ширинама, тестерастим гребенима и слично.

Механички поступак формирања пелца врши се слагањем копрене. Линију чине, осим уређаја за храњење, систем специјализованих влачара као и уређај за преузимање и полагање копрене. Произведени пелц формиран овим начином састоји се од више слојева копрене са уздужном оријентацијом влакана, чиме се утиче на карактеристике произведеног пелца.

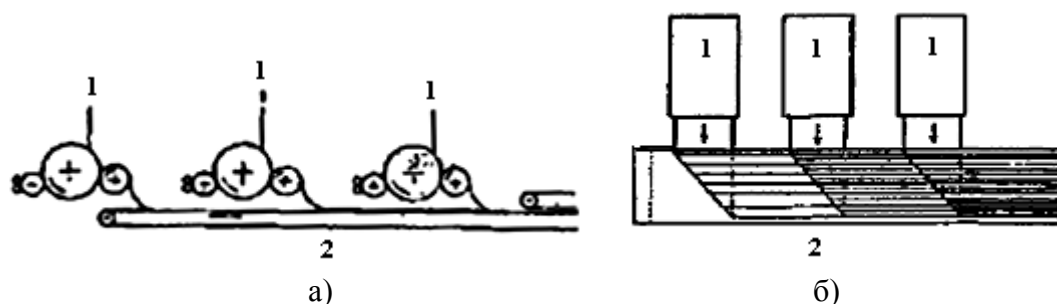
Влакна која се користе за израду пелца умногоме одређују сам квалитет нетканог текстила и могу се употребљавати влакна дужина од 20 - 150 mm.

Код механичког формирања пелца могу се користити влакна са разним геометријским параметрима. При коришћењу кратких влакана ограничава се њихово процентуално учешће у укупној мешавини. У сваком случају неопходно је да се примене не мање од 90 % дужа влакна (40-50 mm) која осигуравају чврстину слојевитог пелца, што је неопходно за одвијање целокупног технолошког процеса производње [80].

Осим уздужне оријентације, која је карактеристична за неткане текстиле мањих површинских маса, оријентација влакана може бити попречна или комбинована.

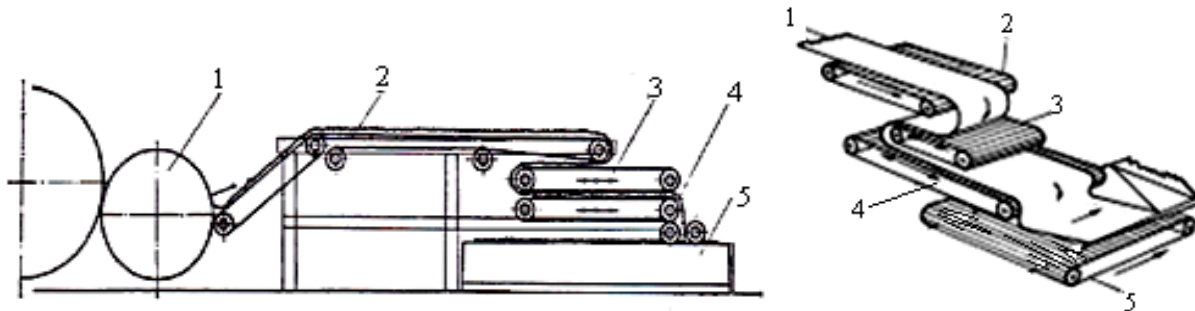
Слагање копрене под одређеним углом у пелцу може битно да утиче на механичке карактеристике геотекстила.

За производе веће површинске масе користи се континуирани начин рада када се више влачара постави у низу, једна иза друге (сл. 19 а) или паралелно, једна поред друге (сл. 19 б) и све полажу копрену на транспортер при чему се задржава уздужна оријентација влакана [81].



Слика 19. Формирање пелца са уздужном оријентацијом влакана [81]

Попречни положај влакана се остварује попречним полагањем, тако да се копрена скинута са влачаре полаже на транспортер који се креће под правим углом у односу на смер кретања пелца. Тако добијен пелц има већу јачину у попречном него у уздужном смеру. Иза влачаре се користе посебни полагаачи који могу бити вертикални или хоризонтални (сл. 20). Високопродуктивне линије које раде великим брзинама користе хоризонтални полагаач због великих инерцијалних сила које се јављају код осцилација вертикалног полагача [81].



Слика 20. Хоризонтални полагаач копрене за попречни положај влакана у пелцу [81]

Копрену (1) са одузимача прихвата транспортер (2) и преко компензационог транспортера (3) је додаје полагачу (4) који је слаже на попречни транспортер (5). Брзина транспортера (2) је подешена према брзини одузимача. Ширина пелца се одређује повратним кретањем полагача тако да не зависи од радне ширине влачаре. На овакав начин се производи пелц са ширином до 5 m а у изузетним случајевима и до 15 m [81].

Површинска маса овако формираног пелца (m_p) зависи од површинске масе копрене (m_k) и од броја слојева копрене у пелцу (n_k) [81]:

$$m_p = n_k \cdot m_k \text{ [g} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}, \quad (5)$$

$$\text{ако је } n_k = \frac{v_k \cdot b_k}{v_p \cdot b_p}, \text{ онда је} \quad (6)$$

$$m_p = \frac{v_k \cdot b_k \cdot m_k}{v_p \cdot b_p} \text{ [g} \cdot \text{m}^{-2}\text{]} \quad (7)$$

где је : m_p – површинска маса пелца [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]

m_k – површинска маса копрене [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]

v_p – брзина кретања пелца (брзина транспортера са пелцом) [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

v_k – брзина копрене (брзина транспортера са копреном) [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

b_p – ширина пелца [m].

Оваквим слагањем влакана у пелцу, не постиже се прави попречни положај влакана јер се копрена због померања транспортера са пелцом слаже у слојевима који су у односу

на осу пелца под одговарајућим углом, који се може добити из релације:

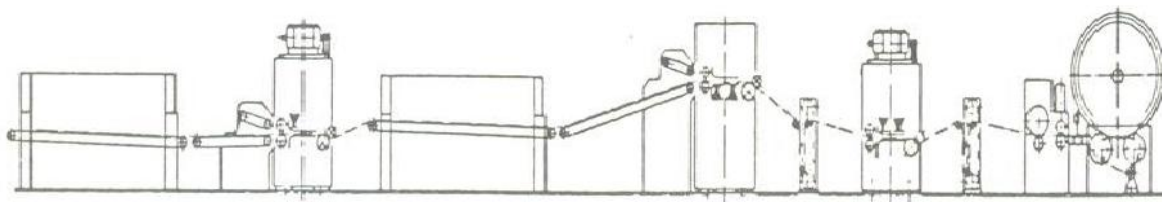
$$\beta = \text{arc tg} \frac{v_k}{v_p} [^\circ] \quad (8)$$

где је: β – угао полагања копрене у односу на уздужну осу пелца [$^\circ$].

Овај угао се према томе може регулисати променом односа брзина пелца и копрене и показало се да се код односа $v_p : v_k = 1 : (4,5 \text{ до } 5)$, добија неткани текстил који има приближно једнаке прекидне силе у свим правцима. У том случају је угао слагања копрене у пелцу (β) $77^\circ 10'$ до $78^\circ 30'$. Међутим, овакав однос се не може увек постићи јер је при константној брзини копрене (тежња је да влачара ради са што је могуће већом брзином) брзина пелца зависна од задате површинске масе пелца тако да се на угао слагања копрене у пелцу не може произвољно деловати [81].

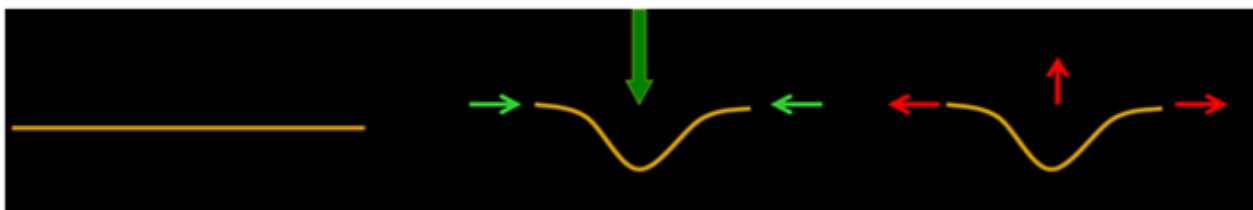
2.5.1 Поступак иглања и основни параметри процеса иглања

Током процеса иглања, влакна у пелцу се повезују сопственим влакнима, која се иглама посебне конструкције преносе са површине у дубину пелца. На тај начин се формира производ специфичне структуре, отпоран на маханичка дејства што му омогућује широку примену и различите намене [82].



Слика 21. Шема технолошког поступка за производњу нетканих текстила механичким начином израде [83]

На слици 22 је приказана шема фазе иглања нетканог текстила.



Слика 22. Фаза иглања нетканог текстила [84]

Сам поступак настанка нетканих материјала је при продирању игала кроз пелц формиран од више слојева копрене (у зависности од жељене површинске масе геотекстила који се производи) и преплитању односно мршењу влакана изузетном брзином

(новије машине имају и до $n=2000 \text{ min}^{-1}$) тј. њиховим трењем изазваним компресијом пелца.

Даска за иглање може имати и преко 5000 игала по метру радне ширине (у зависности од густине иглања која зависи од пројекционе густине игала у игленици, броја игленица, интензитета иглања, типа машине за иглање). Учвршћивање пелца омогућује специјална конструкција игала које имају назубљења (тзв. игла за филцање (сл. 24)) помоћу којих проласком кроз пелц захватају снопиће влакана. Систем мршења је када игле пробију пелц и назубљењима захватају влакнасте снопиће и повлаче их усправно до површине пелца.

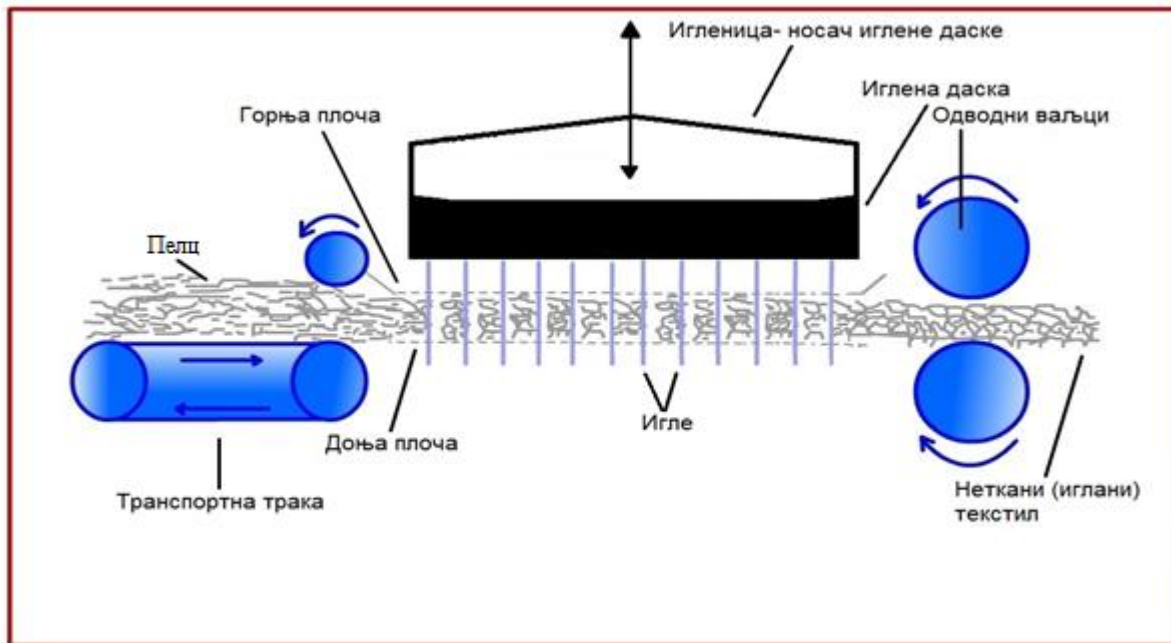
При томе снопић влакана код повратног хода игле остаје у том положају. Густина убода мора бити ограничена јер са великом густином може доћи до оштећења влакана.

Поступак иглања се изводи на машини за иглање и том приликом материјал пролази кроз три зоне, а то су: зона додавања или довођења пелца помоћу уређаја за довођење, зона у којој се помоћу уређаја за иглање одвија сам процес иглања и зона одвођења игланог нетканог текстила уз помоћ уређаја за одвођење [81].

Основни елементи машине за иглање и поступак иглања су шематски приказни на слици 23. Пелц који може бити претходно иглан или не, или може бити са ојачавајућом компонентом (тканина, фолија, мрежа) доводи се помоћу доводних ваљака и бескрајне транспортне траке у зону иглања [81].

У зони иглања се налази уређај за иглање, кога чине:

- основна или доња плоча, која се може померати и тиме подешавати њена висина која уједно одређује дубину иглања као један од основних параметара процеса иглања,
- горња - скидајућа плоча, која придржава пелц и скида влакна са игала код повратног хода иглене даске,
- игле које приликом иглања премештају влакна из једног слоја пелца у други,
- иглена даска на којој су фиксиране игле према одређеном распореду,
- игленица-носач иглене даске која носи иглену даску и осцилаторно се креће горе-доле [81].



Слика 23. Приказ основних елемената машине и поступка иглања [85]

У зависности од тога да ли се на машини врши претходно или завршно иглање уређај за додавање додаје или само пелц, или претходно иглани пелц са осталим структурним елементима нетканог текстила. Пелц пролази између доње и горње плоче, док игленица врши осцилаторно кретање горе-доле, при чему игле пробадају пелц и врше иглање [81]. Приликом кретања према доле радни део игле пролази кроз пелц и специјалним зубцима захвата појединачна влакна или снопиће влакана и преноси их из горњих слојева пелца у доње, односно преусмерава их у приближно вертикалан положај.

Код супротног кретања игала тј. према горе, зубци ослобађају влакна и она остају у унутрашњости пелца. У току иглања долази до повећања трења између влакана у пелцу и њиховог преусмеравања и трења чиме се повећавају стабилност, јачина и густина производа [81].

Доња плоча може да се подешава и од њеног положаја зависи дубина иглања, док горња плоча задржава пелц код повратног хода игленице и чисти игле. Обе плоче су са перфорацијом која одговара распореду игала у игленој дасци.

Након завршеног иглања иглани неткани производ долази у зону одвођења и одводи се помоћу одводних ваљака [81].

Додавање и одвођење материјала је периодично и то у тренутку кад су игле у горњем положају, а код модерних машина са високом учестаности иглања континуирано.

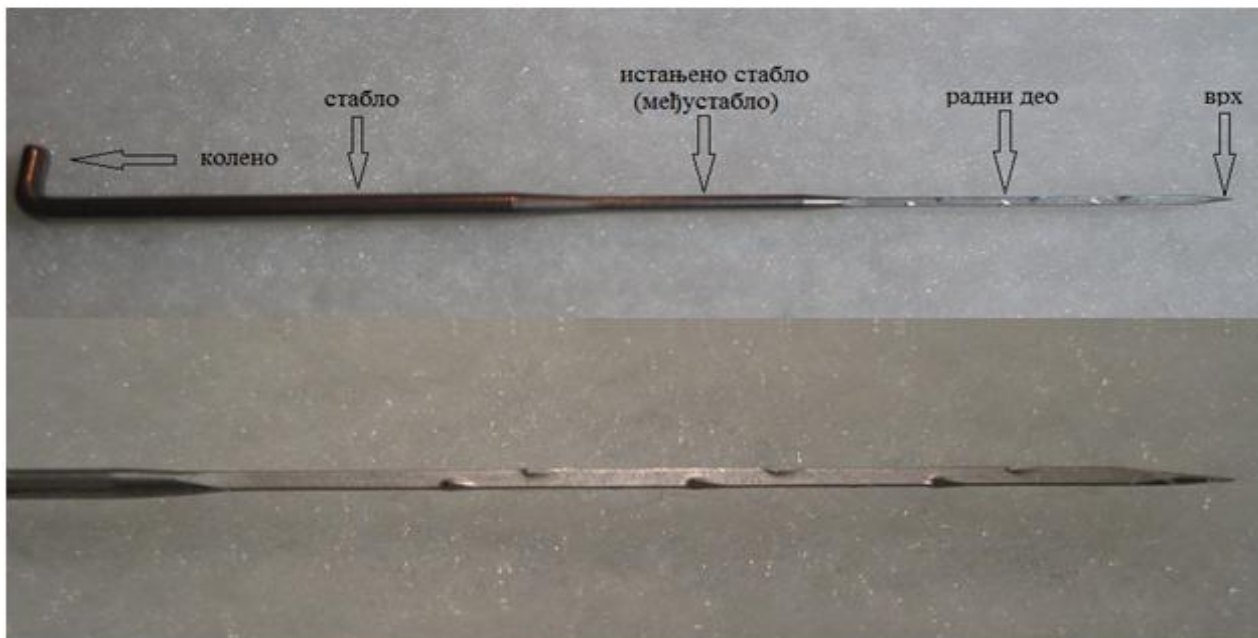
У пракси се користе два система иглања: једнострано и двострано, односно са једне

или обе стране пелца. Код обостраног иглања, игленнице су постављене једна насупрот другој при чему се пелц може иглати наизменично или истовремено [81].

Због интензивног деловања игала на влакна, да би се спречило њихово оштећење примењује се и постепено иглање, односно предиглање. На тај начин се заплитање влакна врши постепено, па је интензитет сила које делују на влакна као и могућност њиховог оштећења мања [81].

Игле су основни радни елементи на машинама за иглање и оне врше заплитање влакана. Постоји велики број различитих игала. Користе се игле са дугим стаблом (немају истањено стабло) и игле које имају истањено стабло. Оштрице игала могу имати различите облике попречног пресека: квадратни, троугаони, ромбоидни, округли итд., и различит број зубаца. Најчешће се користе игле са троугаоним обликом попречног пресека и са 9 зубаца.

Игле које су се користиле за израду испитиваних геотекстила односно учвршћивање пелца као и њихови основни делови су приказане на слици 24, осим приказаних игала постоје и виљушкасте игле и игле за филцање са равним стаблом као и различите финоће и размаци назубљења поменутих игала.



Слика 24. Игле са истањеним стаблом коришћене при изради испитиваних геотекстилних материјала



Слика 25 . Процес иглања (лево) и скица (десно) [86]

Основни параметри процеса иглања су [81]:

- Учестаност иглања (n) у $[\text{min}^{-1}]$ представља број пробадања у минути или број двоструких покрета игленице (доле-горе) у минути. Код највећег броја машина игленица се покреће ексцентрима па је учестаност иглања једнака броју обртаја главног вратила (вратила са ексцентрима);
- Период иглања (T) у $[\text{s}]$, представља време једног повратног покрета игленице (доле - горе) изражено у секундама;
- Пројекциона густина игала (p_g) у $[\text{cm}^{-1}]$, је укупни број игала иглене даске пројектован на јединицу радне ширине машине. Зависи од броја и распореда игала на игленој дасци, као и броја иглених дасака односно игленица на машини;
- Густина иглања (g_i) је број убода по cm^{-2} игланог нетканог текстила и одређује се према формули:

$$g_i = \frac{n \cdot p_g}{v_i} \cdot 10^{-2} [\text{cm}^{-2}] \quad (9)$$

где је: n - учестаност иглања $[\text{min}^{-1}]$,

p_g - пројекциона густина игала $[\text{cm}^{-1}]$,

v_i - излазна брзина нетканог текстила $[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$.

- Дубина иглања $[\text{mm}]$ је растојање између врха игле и горње површине доње плоче, када игле заузму крајњи доњи положај. Понекад се под овим термином подразумева растојање између горње равни стола и првог зуба игле када се она налази у крајњем доњем положају;
- Улазна брзина (v_u) представља брзину додавања пелца на улазу у зону иглања:

$$v_u = n \cdot s_1 \cdot 10^{-3} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (10)$$

где је: n - учестаност иглања [min^{-1}],

s_1 - код периодичног додавања, дужина додавања материјала за време једног циклуса иглања [mm]

– Излазна брзина (v_i) је брзина којом иглани неткани текстил излази из зоне иглања:

$$v_i = n \cdot s_2 \cdot 10^{-3} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (11)$$

где је: s_2 – код периодичног одвођења, дужина одвођења игланог нетканог текстила у једном циклусу иглања [mm],

– Истежање (c_i) је однос између излазне и улазне брзине изражен као коефицијент истежања или истежање у процентима (p_i):

$$c_i = \frac{v_i}{v_u}; \quad p_i = \frac{v_i - v_u}{v_u} \cdot 100 [\%] \quad (12)$$

– Продукција машине се обично изражава у [$\text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$], [$\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$] или [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$], односно [$\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$]. При томе треба разликовати теоретску и практичну продукцију, која је умањена за коефицијент искоришћења машине [81].

2.5.2 Угао слагања копрене у пелцу

С обзиром да се неткани геотекстилни материјали формирају у слојевима јасно је да су њихове карактеристике условљене својствима слојева (копрена).

На слици 26 је приказан угао слагања копрене у пелцу (формирање пелца са укрштеном оријентацијом влакана).

$$q_u = Tt_k (k\text{tex}) \cdot v_k (m \cdot \text{min}^{-1}), (g \cdot \text{min}^{-1}) \quad (13)$$

$$q_i = Tt_p (k\text{tex}) \cdot v_p (m \cdot \text{min}^{-1}), (g \cdot \text{min}^{-1}) \quad (14)$$

$$q_u = q_i$$

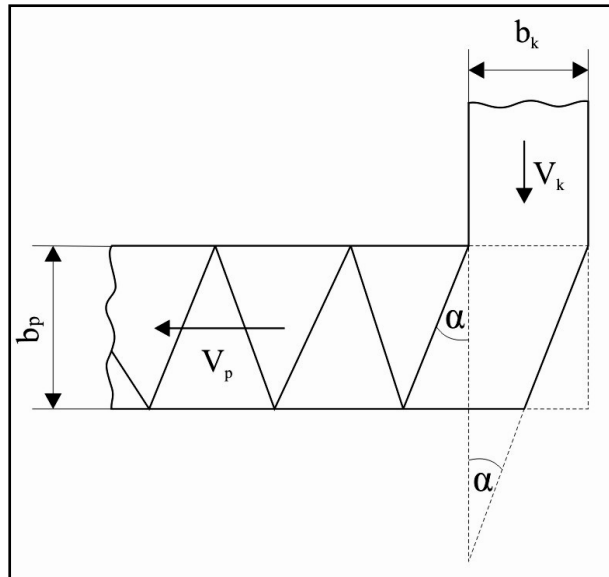
$$Tt_k \cdot v_k = Tt_p \cdot v_p \quad (15)$$

$$m_{pk} \cdot b_k \cdot v_k = m_{pp} \cdot b_p \cdot v_p \quad (16)$$

$$\frac{m_{pp}}{m_{pk}} = \frac{v_k \cdot b_k}{v_p \cdot b_p}; n_k = \frac{v_k \cdot b_k}{v_p \cdot b_p} \quad (17)$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{b_k}{b_p \cdot n_k \cdot \cos \alpha} \quad (18)$$

$$\text{za } \alpha \leq 5^\circ \Rightarrow \cos 5^\circ \approx 1 \Rightarrow \text{tg} \alpha = \frac{b_k}{b_p \cdot n_k} \quad (19)$$



Слика 26. Угао слагања копрене у пелцу

α - угао слагања копрене у пелцу

За број слагања копрене $n_k = 10 \div 30$ ширина копрене је $b_k = 1000 \div 2400$ mm.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b_k}{b_p \cdot n_k} = \frac{b_k}{b_p \cdot \frac{v_k \cdot b_k}{v_p \cdot b_p}} = \frac{v_p}{v_k} \quad (20)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b_k / t}{b_p \cdot n_k / t} = \frac{v_p}{v_k} \quad (21)$$

2.5.3 Утицај производних параметара на квалитет геотекстила

На параметре геотекстила осим карактеристика влакана (јачина, дужина, финоћа, сировински састав...) утичу битно и производни параметри. А. Rawal и др. [9] су истраживали утицај ефекта процесних параметара на геометријске карактеристике укључујући оријентацију влакана и распоред пора (отвора) у структури геотекстила.

Табела 6. Предвиђање оријентације влакана игланих геотекстила [9]

Параметар	Функција расподеле оријентације	R ²
n=700 min ⁻¹	5.56+0.27 cos θ-1.12 cos 2 θ-1.28 cos 3 θ-2.74 cos 4 θ +0.29 cos 5 θ-0.21 cos 6 θ+0.31 cos 7 θ-0.57 cos 8 θ -0.24 cos 9 θ+0.38 cos 10 θ-0.27 cos 11 θ+0.3 cos 12 θ -0.33 cos 13 θ+0.29 cos 14 θ	0.90
n=300 min ⁻¹	5.56-0.29 cos θ-0.81 cos 2 θ-1.25 cos 3 θ-2.45 cos 4 θ +0.46 cos 5 θ-1.22 cos 6 θ+0.20 cos 7 θ-0.25 cos 8 θ -0.12 cos 9 θ-0.125 cos 10 θ-0.029 cos 11 θ +0.51 cos 12 θ-0.005 cos 13 θ-0.23 cos 14 θ	0.90
h _i =12 mm	5.56-0.82 cos θ-0.52 cos 2 θ-0.5 cos 3 θ-2.04 cos 4 θ -0.279 cos 5 θ-0.91 cos 6 θ-0.24 cos 7 θ-0.11 cos 8 θ +0.22 cos 9 θ-0.81 cos 10 θ-0.46 cos 11 θ -0.31 cos 12 θ-0.62 cos 13 θ+0.29 cos 14 θ	0.90
h _i =7 mm	5.56-0.66 cos θ+0.211 cos 2 θ-0.88 cos 3 θ-1.99 cos 4 θ -0.35 cos 5 θ-0.72 cos 6 θ-0.53 cos 7 θ-0.62 cos 8 θ -0.092 cos 9 θ+0.22 cos 10 θ+0.082 cos 11 θ -0.11 cos 12 θ-0.06 cos 13 θ+0.48 cos 14 θ	0.79
h _i =9.5 mm	5.56-0.41 cos θ-0.09 cos 2 θ-0.98 cos 3 θ-2.02 cos 4 θ -0.89 cos 5 θ-0.82 cos 6 θ+0.22 cos 7 θ-1.05 cos 8 θ +0.49 cos 9 θ-0.32 cos 10 θ-0.037 cos 11 θ +0.5 cos 12 θ-0.03 cos 13 θ+0.41 cos 14 θ	0.87

n-учестаност иглања, h_i- дубина иглања

Једначине из табеле 6 могу се користити за предвиђање оријентације влакана у геотекстилу при различитим учестаностима иглања и различитим дубинама иглања, а при константној излазној брзини геотекстила од 0,6 m·min⁻¹ [9].

Установљено је да повећање дубине убода (пенетрације) доводи до повећања релативне учестаности оријентисаних влакана у правцу дужине геотекстила, као што показује слика 27 (а). Ово се објашњава дужом путањом кретања влакана услед веће дубине продора (пенетрације) игле кроз дубину материјала, при чему се поједина влакна ослобађају од кукица (назубљења) игала и самим тим не оријентишу у правцу кретања игле [9].

Међутим, пораст учестаности иглања смањује релативну учестаност оријентације влакана у правцу дужине геотекстила, као што показује слика 27 (б).

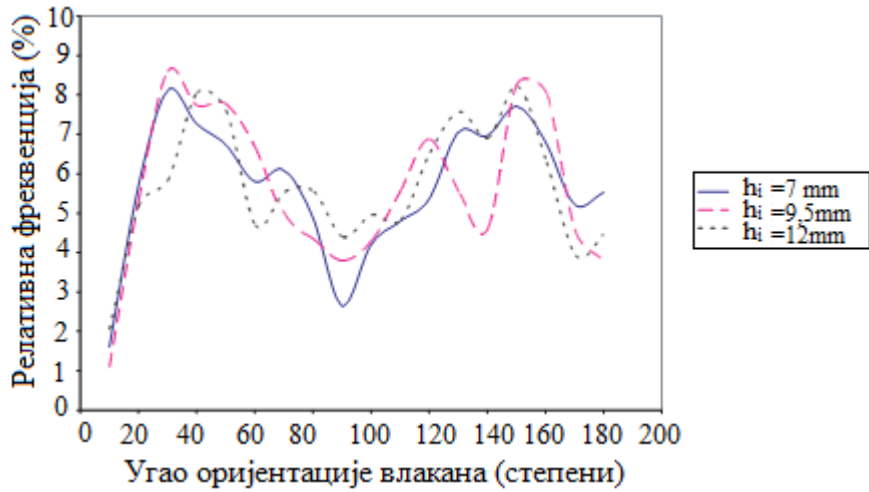
У табели 7 приказане су једначине емпиријских модела заједно са својим коефицијентима корелације. Коефицијенти корелација су добијени поређењем емпиријски моделованих података и одговарајућих измерених вредности. Резултати показују добру корелацију између стварних и израчунатих вредности [9].

Табела 7. Емпиријски модели геотекстилних карактеристика [9]

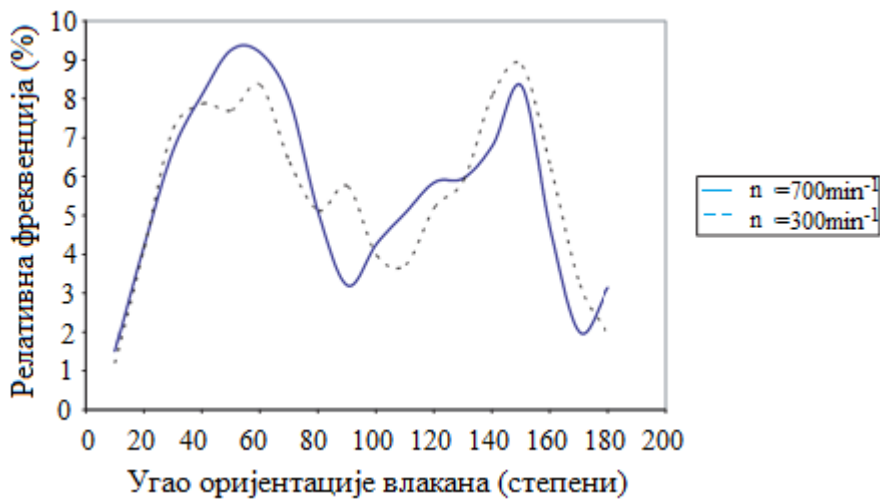
Карактеристике корелације	Емпиријски модели	Коефицијент	F-вредност	Значај геотекстила (%)
Густина	$306.91+49.41(V_u)-11.96(n)-10.2(h_i)$ $-2.06(V_u)(n)-3.06(V_u)(h_i)+0.905(n)(h_i)$ $+0.605(V_u)^2-5.145(n)^2+4.752(h_i)^2$	0.96	7.14	97.83
Дебљина	$3.257+0.421(V_u)-0.219(n)-0.314(h_i)$ $-0.0662(V_u)(n)-0.0613(V_u)(h_i)+0.0237(n)(h_i)$ $-0.013(V_u)^2-0.0148(n)^2-0.0042(h_i)^2$	0.99	29.69	99.92
Прекидна сила (у правцу машине)	$224.94+41.02(V_u)+31.99(n)+23.89(h_i)$ $+10.37(V_u)(n)+3.541(V_u)(h_i)-0.964(n)(h_i)$ $-4.44(V_u)^2-19.55(n)^2-14.11(h_i)^2$	0.98	11.89	99.3
Прекидна сила (попречно у однос на правац машине)	$367.34+74.94(V_u)+37.61(n)+39.44(h_i)$ $+16.08(V_u)(n)+5.23(V_u)(h_i)-3.095(n)(h_i)$ $-9.044(V_u)^2-34.08(n)^2-28.02(h_i)^2$	0.99	20.56	99.8
Пропустљивост	$34.95-8.362(V_u)-0.845(n)-1.456(h_i)$ $+1.066(V_u)(n)+1.491(V_u)(h_i)-1.241(n)(h_i)$ $+6.389(V_u)^2+11.5(n)^2+13.6(h_i)^2$	0.94	8.27	99.86
Трансмисивност (попречно)	$[0.436-0.375(V_u)-2.27(n)-1.87(h_i)$ $+1.84(V_u)(n)+1.57(V_u)(h_i)+2.9(n)(h_i)$ $+1.88(V_u)^2+2.1(n)^2+1.51(h_i)^2] \times 1E-06$	0.77	1.74	79.91

n -учестаност иглања, h_i - дубина иглања, v_u -улазна брзина

Пораст учестаности иглања или дубина продирања игле смањује величину пора геотекстила, као што показују слике 28 (а) и 28 (б). Ово се приписује оштећењу (дезинтеграцији) влакана при већој пенетрацији игле или учестаности иглања. Ово изазива у значајној мери смањење величина пора, односно снижава ефективност филтрације геотекстила. Димензије пора смањују се са 357 μm на 306 μm при промени дубине пенетрације (продирања) игле од 7 mm до 12 mm [9].



а)

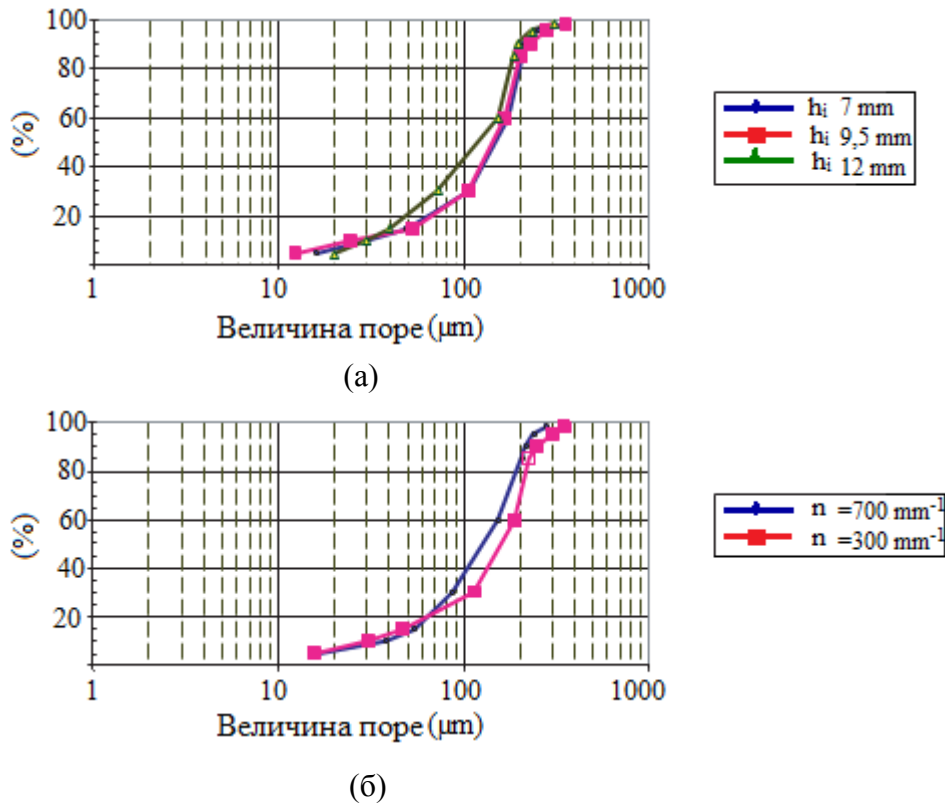


б)

Слика 27. Ефекат дубине иглања (h_i) (а) и учестаности иглања (n) (б) на оријентацију влакана [9]

Димензије пора се смањују са $353 \mu\text{m}$ на $281 \mu\text{m}$ повећањем учестаности иглања са 300 min^{-1} на 700 min^{-1} [9].

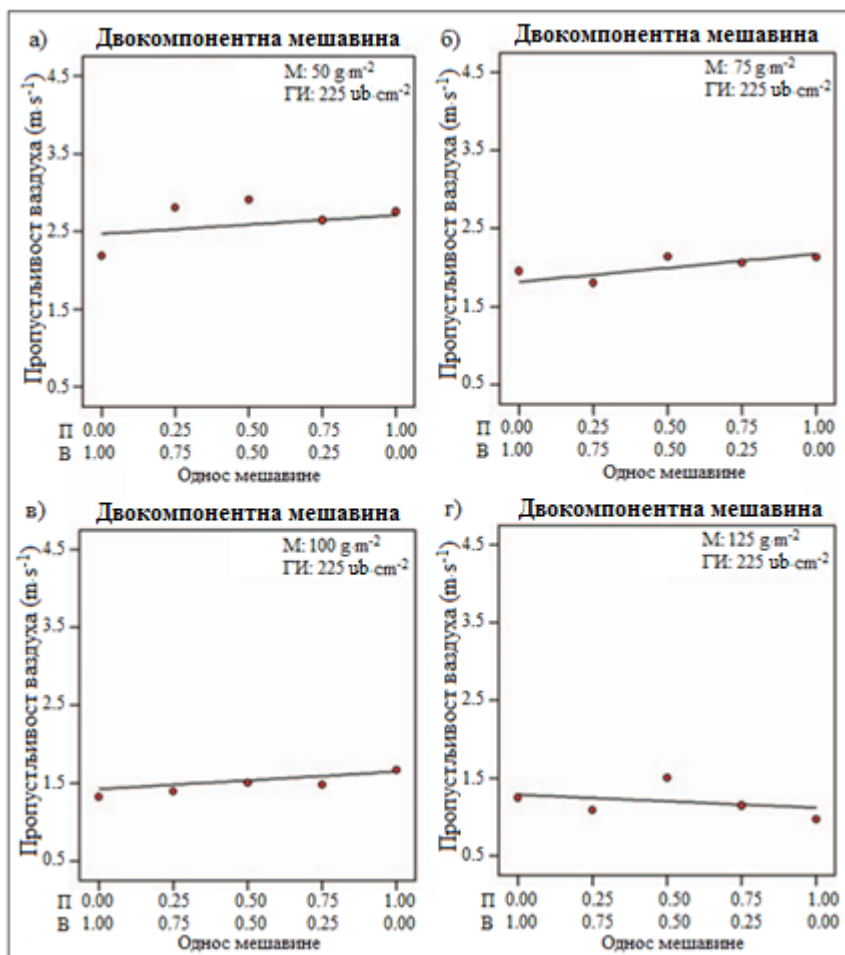
Досадашња истраживања у циљу предвиђања пропустљивости геотекстила нису дала добре резултате. Односно, обављање експерименталних испитивања је најбоље решење за одређивање хидрауличког понашања геотекстила у различитим ситуацијама [87].



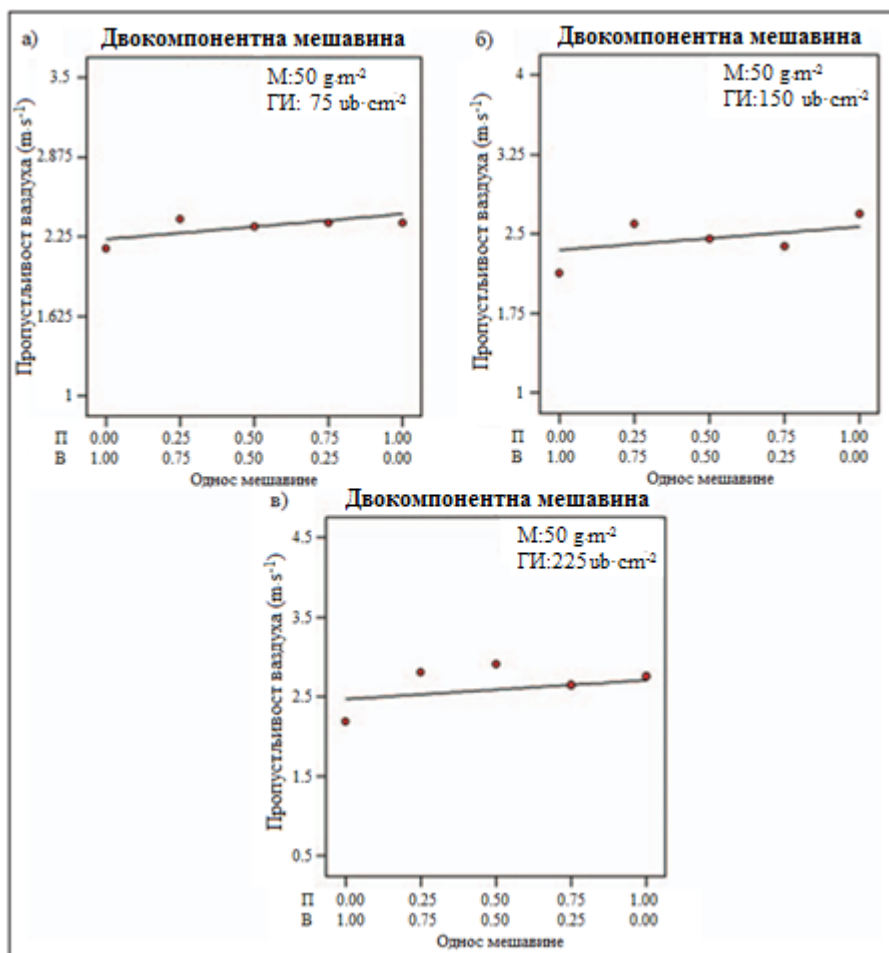
Слика 28. Ефекат (а) дубине продирања игле (h_i) и (б) учестаности иглања (n) на величине пора [9]

Saidi MA, Drean J.Y. и Adolphe D. [88] су испитивањем пропустљивости геотекстила мењањем интензитета иглања и његове површинске масе уз помоћ ласера Доплер техником мерења брзине протока течности, испитујући шест узорака геотекстила површинске масе од 200, 400 и 800 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ и густине иглања 300 и 500 cm^{-2} , доказали да геотекстил формиран са већим интензитетом иглања има мањи проток течности.

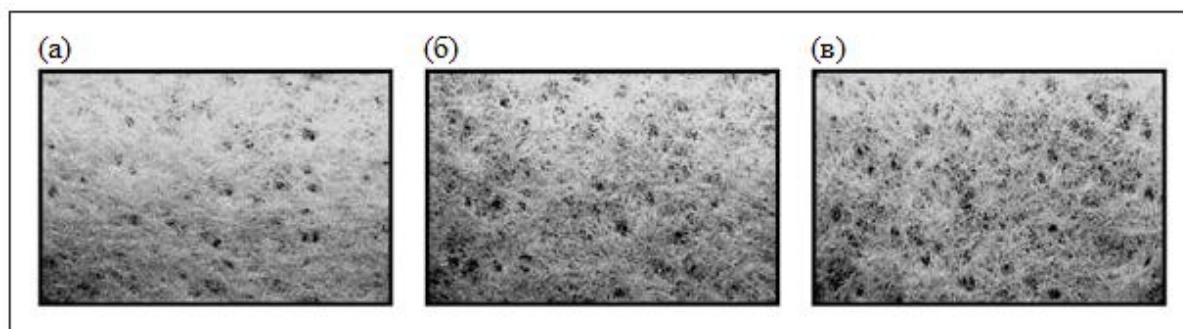
Синџић Е. и Кос Е. [89] су испитивањем нетканог текстила у мешавини од вискозе и полиестра (пет различитих односа мешавине, четири различите масе по јединици површине и три различита интензитета иглања) установили да геотекстил који у себи садржи већи проценат вискозе пропустљивији као и да пропустљивост ваздуха кроз материјал опада са повећањем површинске масе (сл. 29) и да повећањем густине иглања долази до повећања пропустљивости ваздуха (сл. 30).



Слика 29. Утицај површинске масе на пропусљивост ваздуха нетканог текстилног материјала игланог са густином иглања од 225 cm^{-2} и површинске масе за четири узорка: а) $50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ б) $75 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ в) $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ г) $125 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ [89]



Слика 30. Утицај различитих густина иглања на пропустљивост ваздуха: а) $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и 75 cm^{-2} б) $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и 150 cm^{-2} в) $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и 225 cm^{-2} [89]



Слика 31. Утицај густине иглања на изглед и структуру нетканог текстилног материјала од вискозе површинске масе од $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, са густином иглања: а) 75 cm^{-2} б) 150 cm^{-2} в) 225 cm^{-2} [89]

2.6 Карактеристике геотекстилних материјала и њихово испитивање

Испитивања механичких својстава геотекстила обухватају: одређивање прекидне силе и издужења, испитивање отпорности на статичко пробијање, динамичко пробијање, прекидну силу шавова и спојева, оштећења приликом уградње, постојаност на абразију, постојаност на трење, еластично пузање, заштитне карактеристике геомембрана и пузање под притиском. Испитивања хидрауличких својстава геотекстила обухватају: одређивање величина пора, пропустљивост воде кроз геотекстил у смеру површине геотекстилног материјала, постојаност према води и пропустљивост воде вертикално кроз површину геотекстила.

Данас је за испитивање геосинтетика на снази више 100 испитивачких метода. Поступци испитивања које уводе европски EN и ISO стандарди нису истоветни са поступцима испитивања које уводе амерички ASTM стандарди, и зато је потребна посебна обазривост приликом одабира производа.

Европски стандарди за геосинтетике су конципирани тако да разликују две врсте стандарда:

- стандарде који описују својства која морају да буду проверена за одређени циљ експлоатације и
- стандарде на основу којих се изводе истраживања.

Карактеристике које се захтевају за изградњу путева и других саобраћајних површина одређене су у стандарду SRPS EN 13249 (табела 8). За друге специфичне примене, на пример код градње железница, канала и резервоара итд. важе други стандарди који су наведени у садржају стандарда у референтној документацији. Својства геосинтетика која се испитују у лабораторији подељена су на више група својстава:

- физичка својства (као нпр. дебљина, дебљина при одређеном притиску, маса по јединици површине, оштећење абразијом и друга),
- хидрауличка својства (као нпр. капацитет отицања воде по површини, карактеристична величина отвора, отпорност на продирање воде, проток, водопропустивост под правим углом у односу на површину и др.),

- механичка својства (као нпр. прекидна сила, прекидна сила споја, отпорност на статичко пробијање (CBR), отпорност на пуцање, оштећење приликом постављања, пузање и др.),
- механичка својства у комбинацији са подлогом (отпорност на извлачење, угао трења у додиру са тлом...),
- отпорност на трошење,
- други специфични тестови, ако је то потребно.

Захтевана својства геосинтетика (на пример, површинска маса, прекидна сила, отпорност на статички или динамички пробој) за изабрану примену нису прописана. Ова својства треба да буду одређена у оквиру планирања [12].

У табели 8 према стандарду SRPS EN 13249 су приказана својства и стандарди по којим треба утврдити релевантне карактеристике геотекстила и геотекстилу сродних производа који се примењују приликом изградње путева и других саобраћајних површина (искључујући горњи строј железничких пруга и асфалтних слојева коловозне конструкције) и одговарајуће методе за одређивање тих карактеристика. Намена примене ових геотекстила и геотекстилу сродних производа јесте испуњење једне или више следећих функција: филтрирање, раздвајање и армирање.

Табела 8. Важна својства и својства геосинтетика које треба проверити приликом градње путева према захтевима стандарда SRPS EN 13249 [12]

Својство	Поступак испитивања	Функција			
		филтрација	одвајање	ојачавање	дренажа
Прекидна сила ^б Tensile strength	EN ISO 10319	H	H	H	H
Прекидно издужење Elongation at maximum load	EN ISO 10319	A	A	H	A
Јачина на затезање спојева Tensile strength of seams and joints	EN ISO 10321	S	S	S	S
Јачина на статичко пробијање (CBR) ^{а,б} Static puncture	EN ISO 12236	S	H	H	--
Отпорност на динамичко пробијање (cone drop test) Dynamic perforation resistance (cone drop test)	EN ISO 13433	H	A	H	--
Карактеристике трења Friction characteristics	EN ISO 12957	S	S	A	S
Развлачење приликом затезања Tensile creep	EN ISO 13431	--	--	S	A
Оштећење током инсталације Damage during instalation	ENV ISO 10722-1	A	A	A	A
Карактеристични отвор пора Characteristic opening size	EN ISO 12956	H	A	--	--
Водопропусност, нормално на површину Water permeability, normal to the plane	EN ISO 11058	H	A	A	--
Способност преношења воде Water flow capacity in the plane	EN ISO 12958	--	--	--	H
Трајност Durability		H	H	H	H
Отпорност на атмосферске утицаје Resistance to weathering	EN 12224	A	A	A	A
Отпорност на хемијско старење Resistance to chemical ageing	ENV ISO 12960 EN ISO13438 ENV 12447	S	S	S	S
Отпорност на микробиолошко распадање Resistance to microbiological degradation	EN 12225	S	S	S	S
<p>Легенда:</p> <p>H - захтевано за хармонизацију</p> <p>A/A - релевантно за сва подручја примене</p> <p>A/A - релевантно за сва специфична подручја примене</p> <p>-- - није релевантно за ово подручје примене</p> <p>а - треба узети у обзир да можда није могуће одредити параметре за неке врсте производа</p> <p>б - ако су механичка својства (затезна и прободна јачина) означена словом „H“ произвођач ће користити оба доказа.</p>					

2.6.1 Испитивање геотекстила

Испитивање геотекстила се одвија на три нивоа испитивања и то:

- испитивање индексних својстава укључује стандардне поступке испитивања производа за дефинисање њихових физичких, механичких и хидрауличних својстава,
- испитивање у оквиру контроле квалитета укључује брзе тестове за проверу усклађености и следљивости производа: на пример проверу дебљине, површинске масе итд.,
- испитивање за потребе одређивања својства оријентисаних на услове примене укључује лабораторијско испитивање геотекстила у контакту са земљиштем по стандардним поступцима у лабораторији са циљем да се одреде својства која није могуће дефинисати индексним својствима, на пример одређивање чврстоћа смицања контакта земља/геотекстил. У посебним случајевима изводе се и пилот испитивања на терену [12].

Једна од изузетно важних карактеристика геотекстилних материјала је његова прекидна сила и издужење јер у многим случајевима одражава можда и најзначајније својство геотекстила, као и примарну функцију способности армирања. Из односа напрезања и издужења може се одредити и такозвани модул крутости. Модул крутости може бити дефинисан као секантни модул, када је предочен нагибом правца што пролази кроз две одређене тачке криве напрезање – издужење, или као тангентни модул, предочен нагибом тангенте у некој тачки те криве у односу на осу издужења. Када је у питању тангентни модул, често је значајан такозвани почетни тангентни модул који се односи на тангенту у почетном, прилично равном делу криве [15].

Фактор сигурности геосинтетика $F_{(G)}$ је однос између производне и тестом одређене вредности геосинтетика и нумеричке вредности, одређене формулом за задату сврху коришћења:

$$F_{(G)} = \frac{\text{тестирано својство}}{\text{захтевано својство}} \quad (22)$$

Тестирано својство: својство, одређено у лабораторији или у тесту на терену које симулира одређену ситуацију.

Захтевано својство: нумеричка вредност, одређена пројектном калкулацијом [12].

2.6.1.1 Механичке карактеристике геотекстила

Механичка својства представљају комплекс својстава која одређују способност геотекстилних материјала да се супротставе деловању различитих спољашњих сила које могу да изазову различите видове деформација (смицање, сабијање, затезање - истезање, увијање, савијање итд.). Као резултат деловања тих сила долази до промена облика и димензија, односно спољашњег изгледа. Величина изазване деформације зависи од врсте, интензитета, начина и времена деловања силе, као и од периода релаксације материјала.

Познато је да осим промена облика и димензија долази и до поремећаја структуре геотекстилног материјала. У тренутку када примењена сила по интензитету превазиђе вредност интензитета прекидне силе, структура добија потпуну деструкцију.

Према класификацији Kukin-а, у зависности од карактера деформације (затезање, сабијање, смицање, савијање, увијање), сва механичка својства се могу поделити на различите типове циклуса оптерећење - растерећење - одмор материјала [90].

У начелу, постоје три класе механичких својстава:

- полуцикличне, добијене испитивањем материјала у току дејства оптерећења
- једноцикличне, добијене испитивањем материјала у току целог циклуса оптерећење-растерећење-одмор,
- вишецикличне, настају као резултат деловања целог циклуса више пута.

Да ли приликом испитивања материјала долази до његовог кидања, тј. до потпуног нарушавања структуре или не, полуцикличне и вишецикличне карактеристике се могу поделити на прекидне и непрекидне [90, 91].

Имајући у виду чињеницу да влакна представљају основну сировину за израду геотекстила, може се рећи да су у крајњој линији својства готових производа условљена својствима влакана.

Својства влакана зависе од својстава полимера (међуатомске и међумолекулске везе, међусобни распоред, оријентисаност макромолекула, садржај кристалних и аморфних подручја, маса и густина паковања молекула и сл.) и од својих геометријских карактеристика (облик попречног пресека, величина пречника, дужина, изглед површине).

2.6.1.2 Полуцикличне прекидне карактеристике

Полуцикличне прекидне карактеристике представљају показатељ степена отпора геотекстила према деловању спољашњих сила које теже да потпуно наруше структуру материјала и доведу до његовог кидања [90, 92]. Основни показатељи ове врсте карактеристика су:

- прекидна сила (апсолутна, релативна и специфична),
- прекидни напон,
- прекидно издужење (апсолутно и релативно),
- рад кидања.

Познавање понашања геотекстила приликом затезања до тренутка кидања, омогућава одређивање његове способности да се супростави дејству силе затезања.

Имајући у виду чињеницу да сила затезања може деловати у једном правцу (дужина односно ширина геотекстила), у оба правца истовремено или нормално на површину материјала, може се посебно разматрати једноосно, двоосно и просторно затезање.

2.6.1.3 Једноосно затезање (напрезање) геотекстила

Када се геотекстил изложи дејству аксијалне силе, она ће изазвати његово једноосно затезање. Том приликом се добијају вредности прекидне силе и прекидног издужења које се сматрају веома важним карактеристикама за категоризацију геотекстилних материјала са аспекта њихових основних механичких карактеристика.

Прекидна сила (F_p) је максимална сила коју геотекстил издржи приликом затезања до свог прекида. Приликом дефинисања прекидне силе основни проблем који се јавља је откривање механизма разарања геотекстила. Познато је неколико теорија које објашњавају разарање [90]:

- теорија критичног напрезања,
- статистичка теорија,
- кинетичка теорија,
- механичка теорија.

Теорија критичног напрезања узима у обзир несавршеност структуре текстилних материјала. Последица такве несавршености је појава извесног броја дефеката. Разарање геотекстила почиње управо на местима где су дефекти, у моменту када оптерећење

изазове пренапрегнутост која одговара теоријској прекидној сили. При томе се настали дефекти шире кроз материјал и изазивају његово даље разарање.

Статистичка теорија разматра разарање материјала као процес који се одвија у току неког времена. Разарање материјала не наступа истовремено по целој површини деловања, већ од критичног дефектног места. Материјал се постепено разара као резултат повећања дефеката.

Према кинетичкој теорији разарање материјала не настаје толико на рачун дејства механичких сила, колико на рачун топлотног кретања атома. Важну улогу при међуатомским дејствима има неравномерност топлотног кретања, односно енергетска флукуација. Одређени атоми при том добијају кинетичку енергију много пута већу од просечне. Са повећањем енергије расте и сила топлотног кретања у међуатомским везама.

Разарање материјала настаје као резултат флукуације топлотне енергије термичког распадања међуатомских веза. Са становишта кинетичке енергије главни фактори који утичу на прекидну силу материјала су апсолутна температура T , напон σ и време трајања напрезања t_p . Фундаментална карактеристика прекидне силе материјала је њена дуговечност:

$$t_p = \tau_0 \cdot e^{\frac{U_0 - \gamma \sigma}{R \cdot T}} \quad (23)$$

где су: σ - напон ($N \cdot m^{-2}$),

τ_0 - константа која не зависи од природе и структуре материјала већ представља време трајања једне топлотне осцилације атома ($10^{-12} \div 10^{-13}$ s),

U_0 - енергија активације разарања, односно енергија везе за сваки материјал (J),

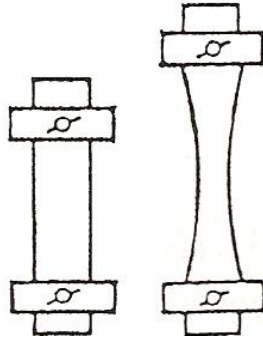
γ - коефицијент који зависи од структуре материјала и хомогености напрезања,

R - универзална гасна константа ($J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$),

T - апсолутна температура испитивања ($^{\circ}K$).

Механичка теорија објашњава прекидну силу материјала кроз одређивање услова кретања и појаву и простирање деформација (еластичне, вискоеластичне, пластичне) у материјалу.

Затезање у једном правцу доводи до смањења попречних димензија, односно изазива контракцију, која је највећа на средини узорка (слика 32).



Слика 32. Промена форме и димензија геотекстила при затезању

Својство контракције материјала се може квантитативно приказати коефицијентом попречног скупљања K_s , који представља количник релативног попречног скраћења узорка ε_{ps} (mm) и релативног издужења ε (mm):

$$K_s = \varepsilon_{ps} / \varepsilon \quad (24)$$

Зависност прекидне силе F и релативног издужења ε је функција ι -тог степена:

$$F = \beta \cdot \varepsilon^\iota \quad (25)$$

где су: β и ι - коефицијенти који зависе од врсте материјала и његове структуре.

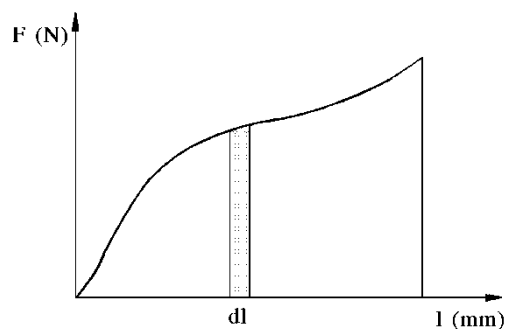
Поред поменутих показатеља еластичности текстилних материјала, јавља се и рад кидања као комплексна карактеристика која узима у обзир и прекидну силу и издужење.

Рад кидања одражава карактер промене силе сразмерно порасту деформације [93]. Ако на материјал делује сила затезања F_z која изазива њено издужење, односно прираштај дужине Δl_t , значи да је примењена сила извршила елементарни рад dA :

$$dA = F_z \cdot dl_t \quad (26)$$

$$A_k = \int_0^{l_k} F_z \cdot dl_t \quad (27)$$

Величина рада утрошеног до прекида геотекстила пропорционална је површини S_f , која се налази испод дијаграма сила - издужење (слика 33).



Слика 33. Одређивање рада кидања на основу дијаграма сила - издужење

Практични рад силе утрошен на прекид узорка A_k може се одредити по формули:

$$A_k = F \cdot l_k \cdot \eta \quad (28)$$

где су: l_k - дужина кидања узорка (m),

η - коефицијент попуњености дијаграма прекидна сила- издужење:

$$\eta = \frac{S_f}{S} \quad (29)$$

где су: S_f - фактичка површина која одговара раду (m^2),

S - површина која одговара правоугаонику (m^2).



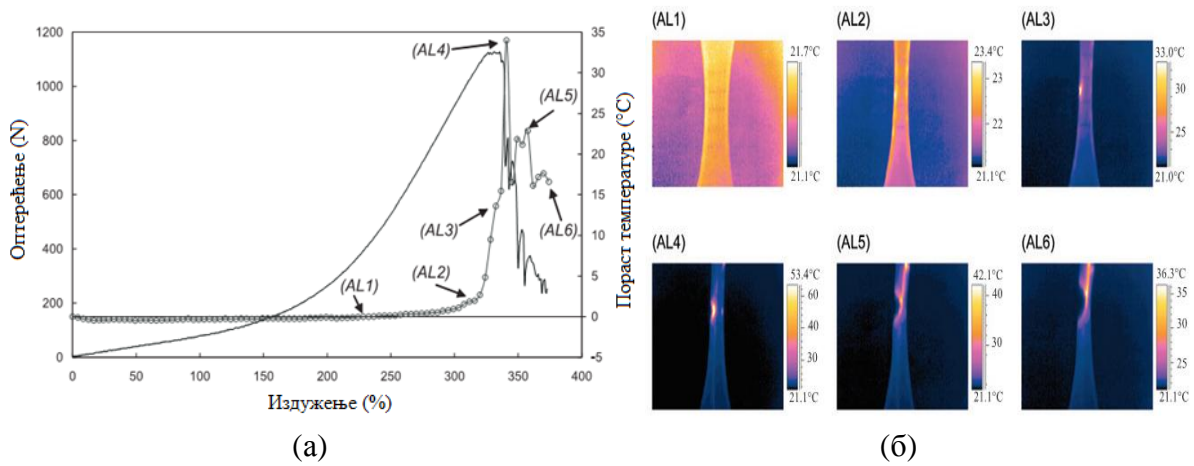
Слика 34. Испитивање прекидне силе и прекидног издужења према SRPS EN ISO 10319:2012

Gautier и др. [28] су спровели испитивања прекидне силе на геотекстилу како би установили које тачке на епрувети трпе највећу силу пре прекида, а између осталог истичу да је структура нетканог материјала веома комплексна као и да су неткани материјали анизотропни, порозни и садрже два слоја: чврсти слој (vlakна) и празни слој (поре).

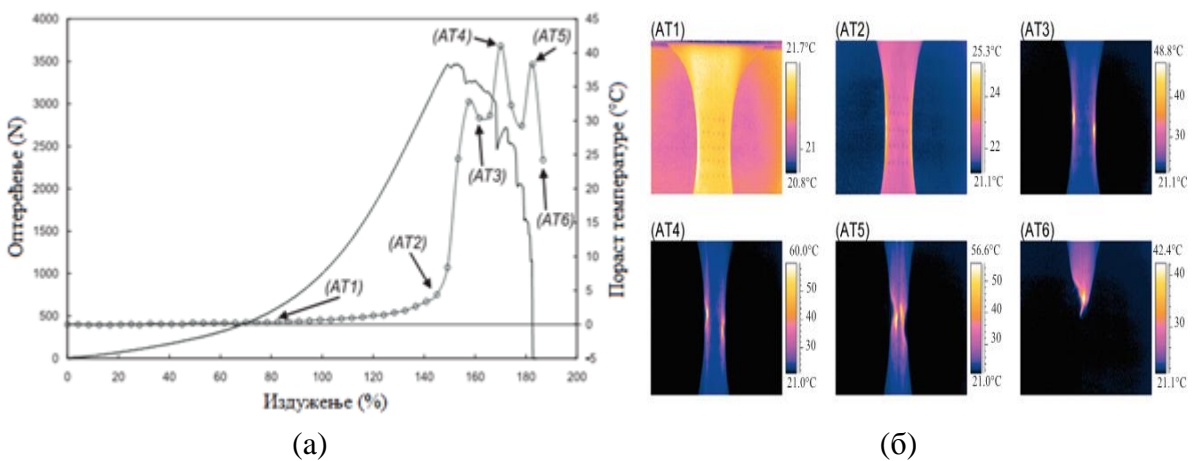
Неткана мрежа влакана се сматра квази-случајном мрежом, и док се сматра оваквом, ова комплексна структура и њене микроскопске карактеристике су увек више или мање зависиле од начина мршења (уплитања) влакана.

Пример места где долази до прекида приказан је на слици 35 (б). Термовизијском камером забележена су места где долази до прекида епрувете при испитивању прекидне

силе на динамометру. На слици 35 (а) приказане су тачке на дијаграму које се односе на оптерећење, температуру и стање узорка у правцу дужине, док су на слици 36 приказани подаци при испитивању прекидне силе у правцу ширине материјала [28].



Слика 35. Приказ оптерећења, температуре и издужења током испитивања прекидне силе на динамометру по дужини (а-дијаграм, б-снимак епрувете термовизијском камером) [28]



Слика 36. Приказ оптерећења, температуре и издужења током испитивања прекидне силе на динамометру по ширини (а-дијаграм, б-снимак епрувете термовизијском камером) [28]

У табели 9 су дати минимални захтеви за прекидну силу и истезање у попречном и уздужном смеру за геотекстиле за одвајање дефинисани стандардом SRPS EN ISO 10319:2012.

Табела 9. Минимални захтеви за прекидну силу и истезање у попречном и уздужном смеру за геотекстиле за одвајање, одређени поступком према SRPS EN ISO 10319:2012 [12]

Подлога	Минимална дебљина насипног слоја	Механичка својства материјала	Саобраћајно оптерећење < 500 MN > 500MN Врста насипног материјала					
			А	Б	Ц	А	Б	Ц
S0	0,5m	$T_{min} (kN \cdot m^{-1})$	12	14	16	14	16	18
		$(T_x \varepsilon)_{min} (kN \cdot m^{-1} \cdot \%)$	360	420	480	420	480	540
S1	0,4m	$T_{min} (kN \cdot m^{-1})$	10	12	14	12	14	16
		$(T_x \varepsilon)_{min} (kN \cdot m^{-1} \cdot \%)$	300	360	420	360	420	480
S2	0,3m	$T_{min} (kN \cdot m^{-1})$	6	8	10	8	10	12
		$(T_x \varepsilon)_{min} (kN \cdot m^{-1} \cdot \%)$	180	240	300	240	300	360

*Саобраћајно оптерећење MN значи целокупно саобраћајно оптерећење у време саобраћаја по подлози без везаног носећег слоја. Оптерећење < 500 MN одговара оптерећењу приближно 1800 тешких теретних возила (ев. са приколицом) са укупном масом 28 t (укупно оптерећење приближно 35.000 t) а оптерећење > 500 MN одговара оптерећењу приближно 1250 полуприклопних возила са укупном масом 40 t (укупно оптерећење приближно 37.500 t)

Према приручнику за пројектовање путева у Републици Србији из 2012. године [12] за прихваћене класе насипних материјала геосинтетик – геотекстил мора, осим вредности прекидне силе, припадајућег растезања и енергијске апсорпције који су дати у табели 9, да испуњавају критеријуме у погледу отпорности на статичко и/или динамичко пробијање. Отпорност на пробијање треба одредити поступком динамичког теста пробијања (cone drop test) према SRPS EN ISO 13433:2009.

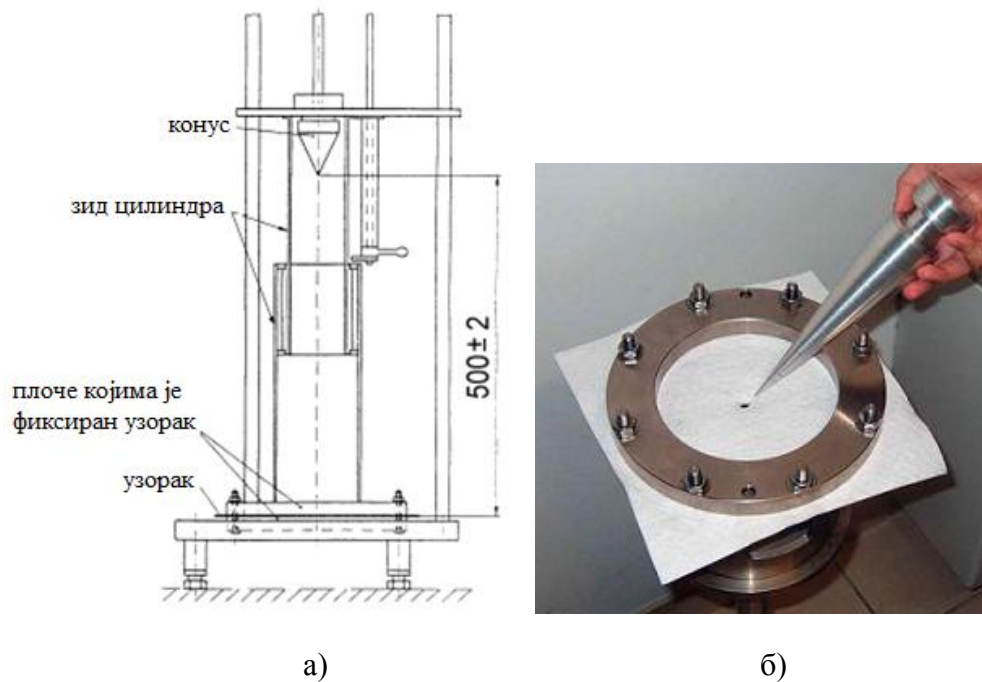
Пречник отвора O_d који у геотекстилу направи конус, сме да износи

- за насипни материјал А: $O_d < 35 \text{ mm}$,
- за насипни материјал Б: $O_d < 30 \text{ mm}$,
- за насипни материјал Ц: $O_d < 25 \text{ mm}$ [12].

Овај тест укључује мерења ефекта масе конуса који је пао на геотекстил. Овај тест омогућава компаративну класификацију различитих производа али нема квантификовано мерење њихове снаге [94].

Са овим тестом могуће је проценити механичку отпорност геотекстила на утицаје камених агрегата, током фазе насипања на лицу места. Стандард прописан за ову врсту испитивања дефинише да челичи конус масе 1000 g пада веритикално на узорак геотекстила са висине од 500 mm, фиксиран између два прстена са унутрашњим

пречником од 150 mm. На крају поступка се мери пречник рупе геотекстила употребом градуираног челичног конуса (слика 37)



Слика 37. Шематски приказ апарата за динамичко пробијање [95] (а) и изглед епрувете након пробијања (б) [96]

Што је мањи пречник рупе након пробијања то је већа отпорност геотекстила на оштећења. За одређивање отпорности на пробијање алтернативно се може употребити и статички тест пробијања са клипом (CBR) према SRPS EN ISO 12236:2012 [12].

Минимална сила, потребна за пробој, сме да износи:

- за насипни материјал А: $F_p > 1500 \text{ N}$
- за насипни материјал Б: $F_p > 2000 \text{ N}$
- за насипни материјал Ц: $F_p > 2500 \text{ N}$ [12].

Тест испитивања пробијањем (CBR) симулира притисак већих комада камена и агрегата који се утискују у геотекстил положен на меку под-базу. Ова метода је стандардизована широм света и утврђује отпорност на пробијање геотекстила продирањем челичног цилиндра пречника 50 mm кроз пречник узорка од 150 mm док се не забележи вредност силе продирања у Њутнима. Са познатим вредностима CBR теста може лакше да се предвиди понашање геотекстила на издржљивост под концентрисаним оптерећењем и његовим спорим пробијањем.

Одабир одговарајућег теста пробијања углавном зависи од структуре материјала који ће се користити при уградњи, затим је погодно одабрати одговарајући тест за утврђивање силе пробијања који ће симулирати понашање геотекстила при уградњи. Сваки тест има своју вредност за специфичну ситуацију. CBR тест пробијања даје индикацију способности и издржљивости геотекстила на споро пробијање. Омогућава избор једног геотекстила са довољно робусности да минимизира штету инсталације и осигура одговарајуће карактеристике потребне током радног века производа [95].

На вредности силе пробијања велики утицај имају и производни параметри као што су густина површине материјала и дебљина материјала [97].

У табели 10 су дати минимални захтеви хидрауличних особина које треба да испуњава геосинтетика за одвајање.

Табела 10. Минимални захтеви за хидрауличне особине геосинтетика за одвајање [12]

Материјал у подлози	Класификација USCS	Карактеристична величина пора O_{90} (mm) (по EN 12956)	Минимална пропусност $kG (m \cdot s^{-1})^*$ (према Е – DIN 60500 –4)
-песак	SW,SP	$0,05 < O_{90} < 0,5$	10^{-4}
- фини песак и песковито земљиште	ML, GM, SM, GM-ML, SM-ML,GM-GC,SM-SC	$0,05 < O_{90} < 0,2$	10^{-5}
- глина и глинасто земљиште	GC, SC,CL-ML,CL,GC-CH,SC-CH,CH	$0,05 < O_{90} < 0,5$	10^{-6}
- органско земљиште	OL, OH,PT	$0,05 < O_{90} < 0,5$	10^{-4}

* kG је минимални коефицијент пропусности при ефективном оптерећењу које проузрокује насипни материјал. Обично су вредности за производе наведене за нормална оптерећења $20 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ и $200 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$. При оптерећењу насипима висине до 2 m, по правилу треба узети у обзир вредност kG , одређену при нормалном оптерећењу $20 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$, а за већа оптерећења насипима вредности одређене при $200 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$.

2.6.2 Модели еластичности који описују понашање геотекстила при затезању

Постављање модела еластичности геотекстилних материјала има за циљ једноставније описивање зависности између напона, времена његовог дејства и настале деформације. Примена модела као одраза механичких својстава текстилних материјала има великог значаја при прогнозирању њиховог понашања у различитим условима експлоатације. У извесном броју радова може се уочити примена три модела: Maxwell-ов, Kelvin-Voigt-ов, и Frenkel-ов, с обзиром да се они могу лако прилагодити експерименталним подацима.

У моделима су еластична својства материјала условно приказана помоћу опруга, пластична својства - клиповима који се крећу у цилиндрима испуњеним вискозном течношћу, а вискоеластична су представљена комбинацијама предходна два елемента [90, 91, 98, 99].

Maxwell D. K. је поставио први модел механичких својстава. Његов модел (слика 38) је састављен од два редно везана елемента, односно опруге и клипа уроњеног у вискозну течност која се покорава Њутновом закону.



Слика 38. Maxwell-ов модел

На примеру овог модела може се математички изразити зависност напона и деформације при затезању. Укупна релативна деформација система, настала под дејством спољашње силе, састоји се из деформације (издужења) опруге и деформације (померања) клипа и то су: еластична ε_1 и вискозна ε_2 деформација, што је приказано једначином облика:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (30)$$

Диференцирањем по времену добија се:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\varepsilon_1}{dt} + \frac{d\varepsilon_2}{dt} \quad (31)$$

Затезање опруге под дејством напона σ ($\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$) може се изразити преко Хуковог закона:

$$\sigma = E_y \cdot \varepsilon_1 \quad (32)$$

где је: E_y - модул еластичности ($\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$),

односно:

$$\frac{d\varepsilon_1}{dt} = \frac{1}{E_y} \cdot \frac{d\sigma}{dt} \quad (33)$$

где је: $1/E_y$ - коефицијент еластичности опруге.

Померање клипа под дејством те исте силе ће се покоравати Њутновом закону трења у течностима (Њутнов закон вискозности):

$$\sigma = \eta_v \cdot \upsilon \quad (34)$$

где је:

$$\upsilon = \frac{d\varepsilon_2}{dt} \quad (35)$$

па је даље:

$$\sigma = \eta_v \cdot \frac{d\varepsilon_2}{dt} \quad (36)$$

$$\frac{\sigma}{\eta_v} = \frac{d\varepsilon_2}{dt} \quad (37)$$

где је: η_v - коефицијент динамичке вискозности ($\text{Pa}\cdot\text{s}$).

Заменом једначина (33) и (37) у једначину (31), добија се:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E_y} \cdot \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta_v} \quad (38)$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = E_y \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} - E_y \cdot \frac{\sigma}{\eta_v} \quad (39)$$

Ако се узме да је $\eta_v/E_y = \tau_r$, може се написати:

$$\frac{d\sigma}{dt} = E_y \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} - \frac{\sigma}{\tau_r} \quad (40)$$

Ова једначина даје карактеристику релаксационих својства вискозног тела које поседује извесну еластичност и из ње се може лако одредити релаксација напона у материјалу при константној деформацији.

Ако је $\varepsilon = \text{const.}$, $d\varepsilon/dt = 0$, онда се једначина (40) може написати у облику:

$$\frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\tau_r} = 0 \quad (41)$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = -\frac{\sigma}{\tau_r} \quad (42)$$

Када се лева и десна страна поделе са σ/τ_r , сређивањем се добија:

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = -\frac{1}{\tau_r} dt = -\frac{E_y}{\eta_v} dt \quad (43)$$

а интеграљењем:

$$\sigma = \sigma_{pn} \cdot e^{-t/\tau_r} \quad (44)$$

где су: σ_{pn} - почетни напон ($N \cdot m^{-2}$),

t - време (s),

τ_r - константа која одређује темпо релаксације напона у материјалу са временом,

односно време релаксације (по Махвелл-у: време у току кога напон опада е пута).

У случају да је $\sigma = \text{const.}$, једначина за релаксацију деформације биће:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_y} + \frac{\sigma}{\eta_v} t \quad (45)$$

У општем случају, једначина деформације за еластични модел има облик:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\eta_{vi}} \int e^{-\frac{t-\theta}{\tau_i}} \cdot \sigma \cdot \tau_i \cdot dt_i \quad (46)$$

При константној вредности напона:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_{y_1}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right) + \frac{\sigma}{E_{y_2}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right) + \frac{\sigma}{E_{y_3}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_3}}\right) \quad (47)$$

односно,

$$\varepsilon = d_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right) + d_2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}\right) + d_3 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_3}}\right) \quad (48)$$

после уклањања оптерећења биће:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot e^{-\frac{t}{\theta_1}} + \varepsilon_2 \cdot e^{-\frac{t}{\theta_2}} + \varepsilon_3 \cdot e^{-\frac{t}{\theta_3}} \quad (49)$$

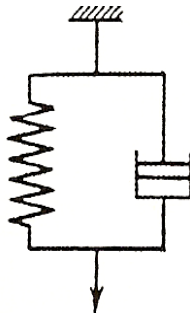
где су: $t_{r_1}, t_{r_2}, t_{r_3} (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ - средње време релаксације које одговара брзим, успореним и процесима кочења деформације, респективно,

d_1, d_2, d_3 - деформација са средњим временом релаксације $t_{r_1}, t_{r_2}, t_{r_3}$, респективно,

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - деформације које настају са средњим временом закашњења $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, респективно.

За објашњење вискоеластичних својстава текстилних материјала, користи се модел Kelvin-Voigt-a (слика 39). Овај модел се састоји из два паралелно повезана елемента: опруге као симбола за идеално еластично тело и клипа као Њутнове ознаке за вискозност средине. Захваљујући томе, он показује како је еластичност повезана са унутрашњим трењем (вискозношћу). Моделу Kelvin-Voigt-a одговара једначина [100]:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E_y + \eta_v \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (50)$$



Слика 39. Модел Kelvin-Voigt-a

Сматрајући да се обе компоненте деформације развијају подједнако, може се предпоставити:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 \quad (51)$$

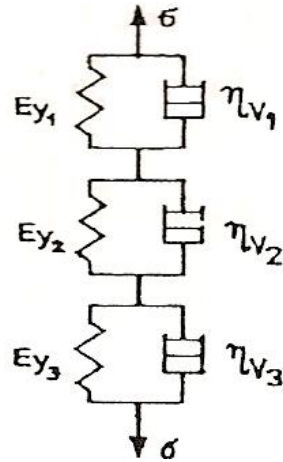
Тада се формула (50) може написати у облику:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E_y + \eta_v \cdot \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (52)$$

За деформацију при константном напону добија се:

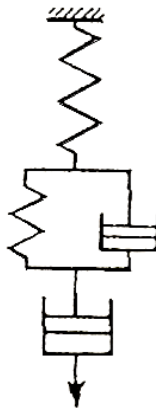
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_y} \cdot \left(1 - e^{-\frac{E_y t}{\eta_v}} \right) = \frac{\sigma}{E_y} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{t_{r2}}} \right) \quad (53)$$

Имајући у виду материјале који имају високу способност затезања, Koblyakov A.I. даје трокомпонентни модел Kelvin-Voigt-a (слика 40) у коме први елемент означава почетну фазу релаксације, други-спору, а трећи одговара процесима кочења деформације. Деформација која се показује овим моделом дата је једначином (49).



Слика 40. Трокомпонентни модел Kelvin-Voigt-a

За текстилне материјале који имају знатнију пластичну деформацију, примењује се Frenkel-ов модел или "модел А" [90,98]. Frenkel-ов модел се састоји из три дела и може се рећи да на неки начин представља комбинацију Maxwell-овог и Kelvin-Voigt-овог модела (сл. 41).



Слика 41. Frenkel-ов модел

У првом делу је опруга модула еластичности E_{y_1} , што одговара еластичној деформацији (Хуков модел). У другом делу су опруга модула E_{y_2} и клип зарођен у течност са коефицијентом вискозности η_{v_2} паралелно везани и представљају вискоеластичну деформацију као код модела Kelvin-Voigt-a. Трећи део модела је клип потопљен у течност коефицијента вискозности η_{v_3} што одговара пластичној деформацији (Њутнов модел).

У случају константног напона, једначина деформације која се приказује Frenkel-овим моделом има следећи облик:

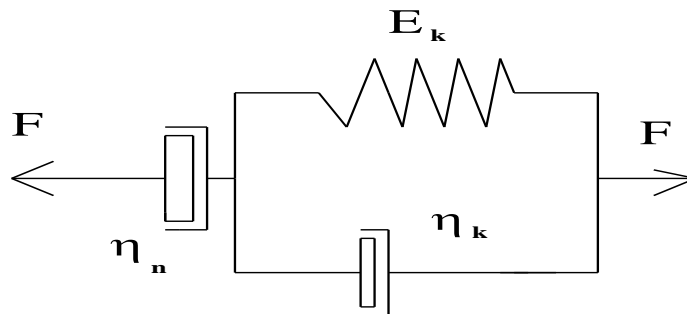
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_{y_1}} + \frac{\sigma}{E_{y_2}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_p}{\tau_2}} \right) + \frac{\sigma}{\eta_{v_3}} \cdot t_p \quad (54)$$

где су: t_p - време дејства оптерећења,

τ_2 - количник коефицијента вискозности η_{v_2} и модула опруге E_{y_2} .

За описивање понашања геотекстила до „границе еластичности“ изабран је модел Лесерича (Lethersich) који у принципу има вискоеластични карактер. Експериментални резултати приказани у наставку дисертације потврђују да се иглани геотекстили понашају вискоеластично од самог почетка истезања до „границе еластичности“, те је из тог разлога изабран овај модел.

Комбинацијом основних реолошких модела, постављен је реолошки модел - Лесеричево тело (сл. 42) [101].



Слика 42. Модел Лесерича

Тело Лесерича (L) представља редну везу Њутновог (N) и Келвиновог модела (K) [102]:

$$L = N - - - K \quad (55)$$

Брзина деформације Лесеричевог тела једнака је збиру брзина деформација Њутновог и Келвиновог тела:

$$\dot{\varepsilon}_L = \dot{\varepsilon}_N + \dot{\varepsilon}_K \quad (56)$$

где је: $\dot{\varepsilon}_N$ - брзина деформације Њутновог тела,

$\dot{\varepsilon}_K$ - брзина деформације Келвиновог тела.

Брзина деформације Њутновог тела једнака је:

$$\dot{\varepsilon}_N = \frac{\sigma}{\eta_N} \quad (57)$$

где је: η_N - коефицијент вискозности Њутновог тела.

Брзина деформације Келвиновог модела једнака је:

$$\dot{\varepsilon}_K = \frac{\sigma}{\eta_K} - \frac{E_K}{\eta_K} \cdot \varepsilon_K \quad (58)$$

где је:

E_K - модул еластичности Келвиновог модела,

η_K - коефицијент вискозности Келвиновог модела.

После одређених математичких операција добија се следећи израз за брзину деформације тела Лесерича:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\sigma}{\eta_N} + \frac{\sigma}{\eta_K} - \frac{E_K}{\eta_K} \cdot \exp\left(-\frac{E_K}{\eta_K} \cdot t\right) \cdot \left[\varepsilon_0 + \frac{1}{\eta_K} \cdot \int \sigma \cdot \exp\left(\frac{E_K}{\eta_K} \cdot t\right) dt \right] \quad (59)$$

где је: ε_0 - почетно релативно издужење

Диференцирањем по времену и сређивањем претходног израза добија се диференцијална једначина реолошког модела у следећем облику:

$$\ddot{\varepsilon} \cdot \eta_K + \dot{\varepsilon} \cdot E_K \cdot \eta_K = \dot{\sigma}(\eta_N + \eta_K) + \sigma \cdot E_K \quad (60)$$

где је:

$\dot{\varepsilon}, \ddot{\varepsilon}$ - први и други извод деформације по времену

$\sigma, \dot{\sigma}$ - напон и први извод напона по времену

Како је у овом случају $\dot{\varepsilon} = const$ и $\ddot{\varepsilon} = 0$, те се претходна једначина своди на једначину:

$$\dot{\varepsilon} \cdot E_K \cdot \eta_K = \dot{\sigma}(\eta_N + \eta_K) + \sigma \cdot E_K \quad (61)$$

Решење диференцијалне једначине (61) може да се потражи у облику:

$$\sigma = -C \cdot \exp\left(-\frac{E_K}{\eta_K + \eta_N} \cdot t\right) + \eta_N \cdot \dot{\sigma} \quad (62)$$

Интеграциона константа C одређује се из почетних услова, за $t = 0, \sigma = 0$. Зависност напон – време после одређивања интеграционе константе има облик:

$$\sigma = \eta_N \cdot \dot{\varepsilon} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_r}\right) \right] \quad (63)$$

где је : $\tau_r = (\eta_N + \eta_K) / E_K$ време релаксације. Зависност напон – издужење има облик:

$$\sigma = \eta_N \cdot \dot{\varepsilon} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{l_0}{100 \cdot v \cdot \tau_r} \cdot \varepsilon\right) \right] \quad (64)$$

где је :

l_0 - почетна дужина узорка

v - брзина теста

ε - релативно издужење

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

У експерименталном делу рада анализирани су параметри квалитета геотекстилних материјала произведених од регуларних и рециклираних полиестарских и полипропиленских влакна, површинских маса од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Поред испитивања геотекстила наведене су и карактеристике влакана од којих су произведени геотекстили. Такође у овом делу рада наведене су методе испитивања геотекстилних материјала, техничко-технолошки параметри производње геотекстилних материјала и техничке карактеристике произведених геотекстила. Испитивања која су вршена на геотекстилима су: испитивање површинске масе, испитивање дебљине геотекстила, испитивање прекидне силе геотекстила, испитивање прекидног издужења геотекстила и испитивање силе пробијања (CBR). Такође у експерименталном делу представљене су вредности максималне силе при затезању геотекстила, силе на граници еластичних деформација геотекстила, резултати мерења издужења при максималној сили затезања геотекстила, резултати издужења на граници еластичних деформација, вредности рада до максималне силе при затезању геотекстила и вредности рада до границе еластичности геотекстила. У овом делу рада анализирани су и повезаности дебљине и механичких карактеристика геотекстила, анализирана је повезаност силе на граници еластичности и максималне силе при затезању геотекстила, као и повезаност рада до границе еластичности и рада до максималне силе при затезању геотекстила. Такође, приказана је метода за предвиђање понашања геотекстила у зони еластичних деформација.

3.1 Методе контроле квалитета геотекстилних материјала

За израду геотекстилних материјала коришћена су регуларна полиестарска влакна (ПЕС А), рециклирана полиестарска влакна (ПЕС Б) и полипропиленска влакна (ПП).

-За испитивање коришћених влакана (ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакна) коришћени су следећи стандарди:

SRPS ISO 1130:2003-Текстилна влакна - Неке методе узимања узорка за испитивање

ISO 6989:1981 (метода А)-Влакна - Одређивање средње дужине текстилних влакана

SRPS F.S2.212:1963-Испитивање текстила - Одређивање титра текстилних влакана

SRPS ISO 5079:2002-Текстилна влакна - Одређивање прекидне силе и прекидног издужења појединачних влакана

SRPS EN ISO 1833-24:2010- Полиестар - Одређивање сировинског састава за полиестарска влакна

SRPS EN ISO 1833-16:2006-Полипропилен - Одређивање сировинског састава за полипропиленска влакна

-За испитивање произведених геотекстилних материјала (ПЕС А, ПЕС Б и ПП геотекстил) коришћени су следећи стандарди:

SRPS EN ISO 9862:2012-Геосинтетика - Узимање узорка и припремање епрувета за испитивање

SRPS EN ISO 9864:2005-Геосинтетика - Метода за одређивање масе по јединици површине геотекстила и геотекстилу сличних производа

SRPS EN ISO 9863-1:2010-Геосинтетика - Одређивање дебљине при унапред утврђеним притисцима

SRPS EN ISO 10319:2012-Геотекстил - Испитивање затезањем методом широког лабораторијског узорка

SRPS EN ISO 12236:2012-Геосинтетика - Статичко испитивање пробоја (CBR испитивање)

Кратки описи наведених метода:

3.1.1 Узимање узорка за испитивање влакана

Из сваке бале за узимање узорка узимају се четири узорка, сваки од око 10 g, и то два са различитих места спољне зоне бале и два са различитих места унутрашње зоне бале. Сва четири узорка се чувају одвојено. Од сваког узорка се узме прамен који је масе око 100 mg и подели на четири дела, сваки масе око 25 mg. Посебно се одложи 16 добијених праменова који су узети из исте бале. Са сваким од ових праменова комбинује се један од 16 праменова припремљених на исти начин из сваке од осталих бала из којих су узети узорци. На овај начин припреми се шеснаест подузорака, од којих сваки укључује око 25 mg влакана од сваке бале из које су узети узорци. Припреми се крајњи репрезентативни узорак из ових шеснаест подузорака, поново их дуплирајући и делећи на пола како следи.

Поставе се и први и други прамен заједно и добро измешају поновним извлачењем и дуплирањем. Подели се добијени прамен на два једнака прамена: један се задржи, а други одбаци. Комбинују се и мешају на исти начин и остали парови праменова (3 и 4, 5 и 6, 7 и 8 итд.), сваки пут задржавајући само половину измешаних праменова. Затим се комбинују и помешају два прамена добијена од 1 и 2, 3 и 4; подели се измешани прамен и

задржи његова половина. Настави се ово мешање парова и њихово дељење на пола, све док не остане један прамен који представља репрезентативни узорак. Води се рачуна да се узимање узорака уради врло пажљиво да не би дошло до извлачења или прекида било ког влакна. При дељењу у намери да се одбаци једна половина, битно је да се подели снопић у средини и да се одвоје делови са стране; не треба их извлачити из њихових крајева [103].

3.1.2 Одређивање средње дужине текстилних влакана

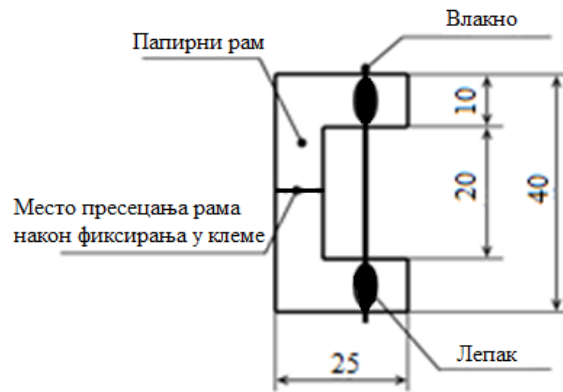
Испитивање дужине влакана се мери тако што се пинцетом узимају појединачна влакна и стављају на стаклену плочу лако премазану парифинским уљем, пажљиво исправе дуж градуисане скале и измери дужина. Поступак се понови са свим влакнима одређеним за испитивање. Измерена је дужина по 500 влакана за сваки узорак и одређене су средње вредности дужине влакана [104].

3.1.3 Одређивање финоће влакана

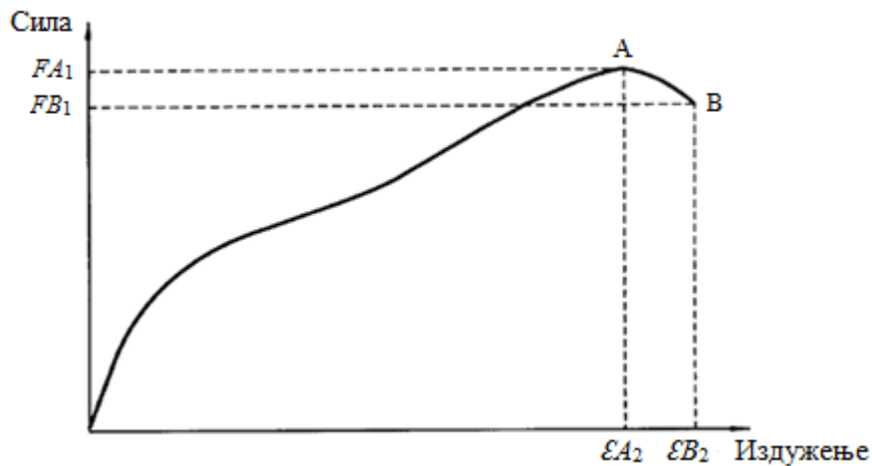
Принцип одређивања финоће влакана гравиметријском методом се своди на одређивање дужинске масе, односно, одређивање масе познате дужине влакана. На уређај за сечење влакана се постави плочица са одабраним, сортираним и кондиционираним влакнима и реже се на одређену дужину. Влакна у снопу требају бити након сечења истих дужина, измерено је по десет снопова за сваки узорак (50 влакана по снопу), даје се средња вредност титра десет снопова, који су пре и после сечења припремљени и кондиционирани према стандарду F.S2.212 [105].

3.1.4 Одређивање прекидне силе и прекидног издужења влакана

Испитивање прекидне силе и издужења влакана је вршено на динамометру SDL Atlas-Tinius Olsen H10KT са ознаком софтвера QMat Pro V 4.50. према стандарду SRPS ISO 5079:2002 [106] који дефинише растојање између клема 20 mm а брзина је подешена на $20 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ са предоптерећењем од $1 \text{ cN} \cdot \text{tex}^{-1}$. Влакна се пре испитивања ради спречавања оштећења фиксирају за папирни рам (сл. 43) који се поставља у клеме и пресеца на обележеном месту, након чега се започиње испитивање прекидне силе и издужења. Испитано је по 40 влакана за сваку од три врсте влакана.



Слика 43. Пример припреме епрувете за испитивање влакана



Слика 44. Типична сила/издужење крива (ISO 5079:2002) [106]

Где је:

F_{A1} - Максимална сила примењена на узорак до његовог прекида

F_{B1} - Крајња сила непосредно пре прекида узорка

\mathcal{E}_{A2} - Издужење тест узорка произведено прекидним силом

\mathcal{E}_{B2} - Издужење тест узорка до прекида узорка

3.1.5 Узимање узорака и припремање епрувета за испитивање

Узорковање је вршено тако што се од једне ролне сече 2 m у дужину пуне ширине, при том се прва два одмотавања са краја ролне не узимају већ одбацују. Узорци пре испитивања су кондиционирани по стандарду SRPS ISO 554:1993 а испитивања су обављена у лабораторијским условима [107].

3.1.6 Одређивање масе по јединици површине

Узорци за испитивање површинске масе се исецају кружним секачем површине 100 cm^2 . Најмање десет епрувета се исеку од материјала који је пре тога кондициониран најмање 24 часа под лабораторијским условима према стандарду SRPS ISO 554:1993 [108]. Површинска маса је мерена на аналитичкој ваги произвођача Mettler ознаке Н311 (сл. 45).



Слика 45. Аналитичка вага Mettler Н311 [109]

3.1.7 Одређивање дебљине при унапред утврђеним притисцима

Дебљина геотекстила је мерена са примењеним оптерећењем од 2кРа. Узима се десет епрувета претходно кондиционираног узорка и даје се средња вредност добијених резултата. Када се постави примењено оптерећење на епрувету сачека се након оптерећења узорка 30 секунди и бележи добијена вредност дебљине узорка [110].



Слика 46. Мерење дебљине геотекстила према SRPS EN ISO 9863-1:2010 [111]

3.1.8 Испитивање затезањем методом широког лабораторијског узорка

Епрувете за испитивање прекидне силе се исецају минимум 100 mm од ивице по 5 узорака (епрувета) у правцу дужине и 5 у правцу ширине. Димензије узорака су 200 mm ± 1mm по ширини и 200 mm по дужини како би узорак могао несметано да се постави у клеме које су на растојању од 100 mm ± 3 mm и брзина кидалице је подешена на 20 mm·min⁻¹ [112]. Испитивање прекидне силе и издужења при највећем оптерећењу мерено је при предоптерећењу од 0,02 kN.

Испитивање прекидне силе и издужења вршено је на динамометру произвођача Mesdan (сл. 47), тип динамометра је „Tensolab strength tester 2510“, ознака софтвера је "Tensolab 2.2.261".



Слика 47. Динамометар произвођача Mesdan - испитивање прекидне силе геотекстила према SRPS EN ISO 10319:2012 [113]

Прекидна сила F :

$$F = F_p \times C \quad (65)$$

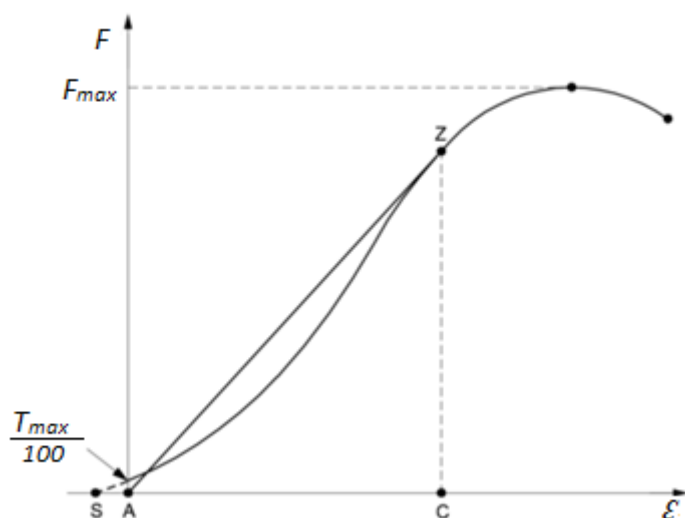
се изражава једначином за неткане текстиле и сличне производе:

$$C = \frac{1}{B} \quad (66)$$

где је:

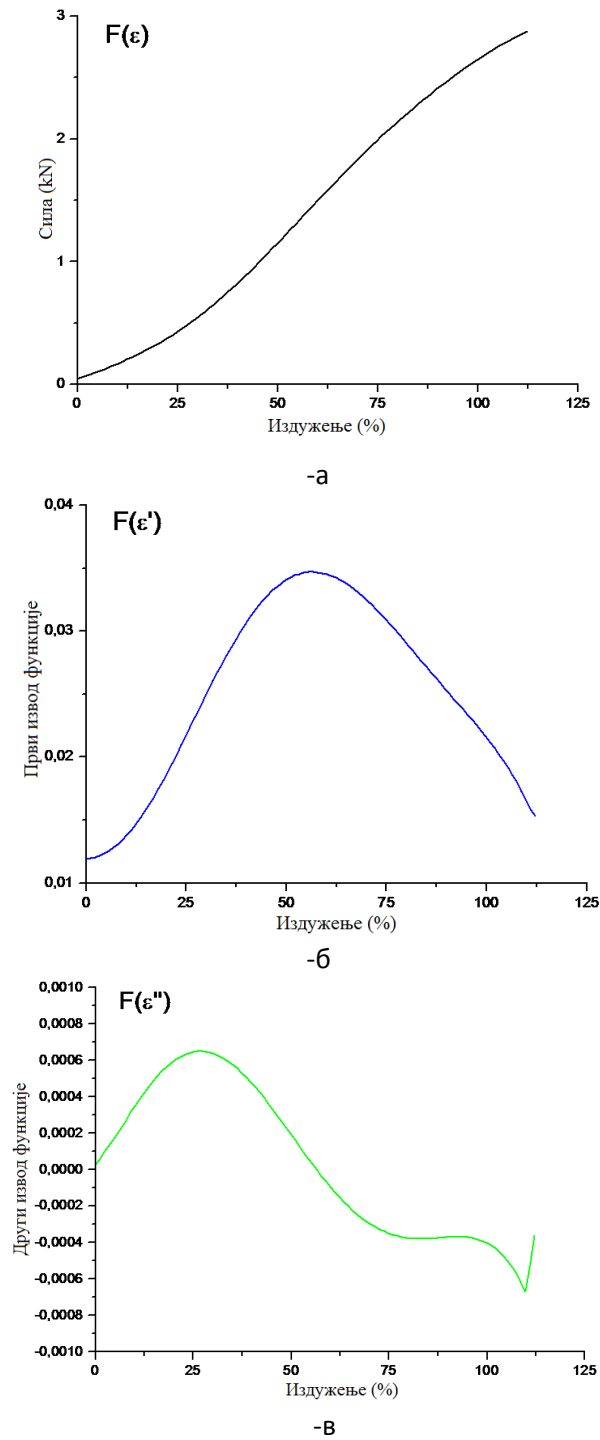
F_p - забележена сила у тренутку прекида епрувете [kN]

B - номинална ширина узорка [m]



Слика 48. Типично оптерећење по јединици ширине/деформације криве (SRPS EN ISO 10319:2012) [112]

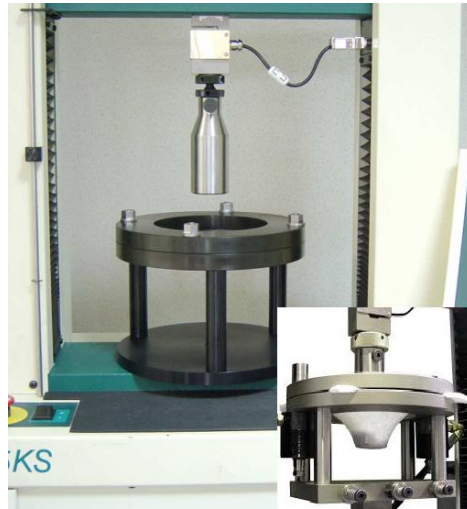
Границе еластичности геотекстилних материјала одређене су на основу графика зависности сила-издужење. $[F(\epsilon)]$ као и на основу $F'(\epsilon)$ и $F''(\epsilon)$. Слика 49 представља функцију сила-издужење (сл. 49 -а), као и њен први извод (сл. 49 -б) и други извод (сл. 49 -в). Максимум првог извода (сл. 49 -б) указује на границу дозвољеног оптерећења. До ове тачке, геотекстилни материјал показује већу отпорност силама истезања ($F(\epsilon)$ функција расте). Када функција првог извода достигне максимум, у тој тачки други извод је једнак 0 (сл. 49-в). Затим наступа бржа деформација геотекстила све до деструкције материјала (функција $F'(\epsilon)$ опада).



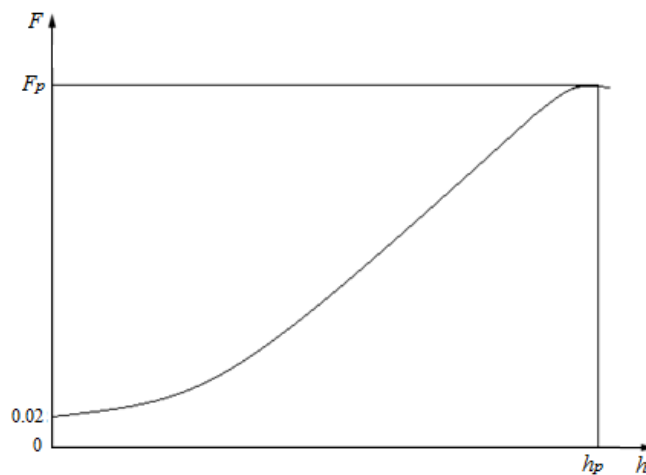
Слика 49. График зависност сила-издужење функције $F(\epsilon)$, први $F'(\epsilon)$ и други $F''(\epsilon)$ извод функције

3.1.9 Испитивање статичког пробијања (CBR)

Коришћен је челични клип пречника $50 \pm 0,5 \text{ mm}$ (сл. 50). Испитивање је вршено на пет репрезентативних узорака. Након кондиционирања узорака и њихове припреме фиксира се узорак у челични прстен, подеси се оптерећење на 20 N и започне испитивање уз константно спуштање клипа од $50 \pm 5 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ док не прође вертикално кроз узорак када се забележи сила која је потребна да се пробије испитивани узорак. Узима се средња вредност пет испитиваних узорака [114].



Слика 50. Статичко пробијање-CBR према SRPS EN ISO 12236:2012 [113]



Слика 51. Пример типичне криве - клип-сила наспрам клип-померање (SRPS EN ISO 12236:2012) [114]

Где је:

h - померање, у mm

F - сила на клипу, у kN

F_p - сила пробијања, у kN

h_p - померање пробијања, у mm

3.2 Техничке карактеристике влакана коришћених за производњу геотекстилних материјала

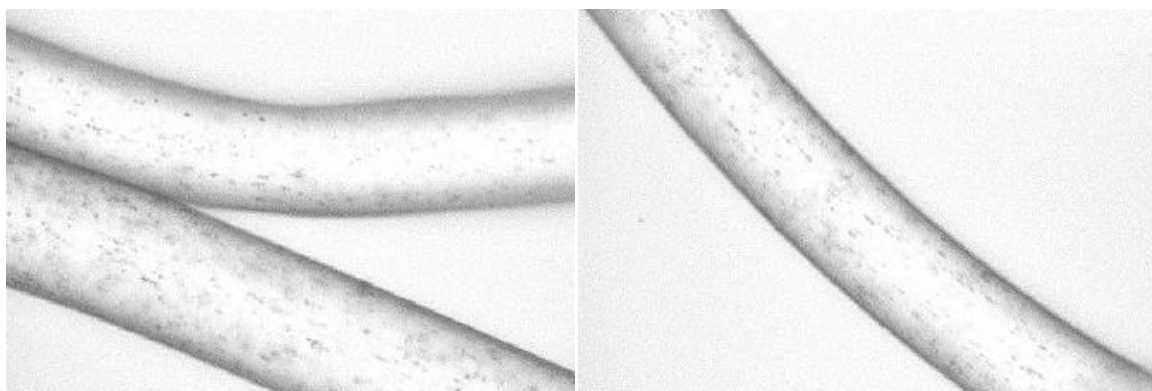
Основне карактеристике анализираних влакана приказане су у табели 11.

Табела 11. Карактеристике ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана коришћених за израду геотекстила

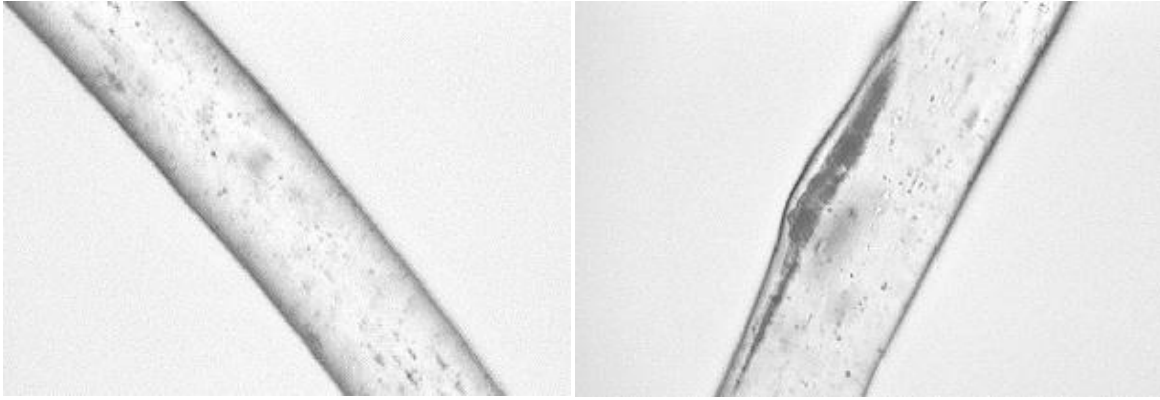
Тип влакана	Просечна дужина влакана, [mm]	Финоћа влакана, [dtex]	Релативна прекидна сила влакана, [cN·tex ⁻¹]	CV [%]	Прекидно издужење влакана, ε [%]	CV [%]	Тачка топљења влакана [°C]
ПЕС А	62,0	6	44,3	8,9	32,7	22,0	245,34
ПЕС Б	83,1	6	37,7	19,4	63,5	24,7	242,11
ПП	86,4	6	48,2	23,3	68,7	25,2	152,85

Табеле са приказаним резултатима мерења прекидне силе, прекидног издужења, коефицијента варијације прекидне силе и издужења за ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана као и хистограми са Гаусовом расподелом су дати у прилогу дисертације.

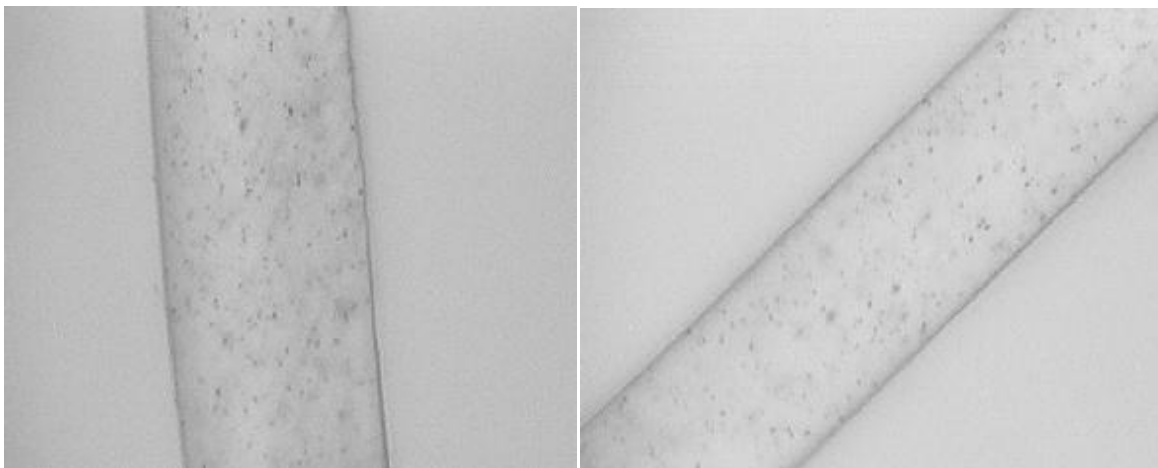
-Микроскопски приказ коришћених влакана за израду испитиваних геотекстилних материјала је представљен на сликама 52, 53 и 54.



Слика 52. Микроскопски приказ ПЕС А влакна при увећању од 1000 пута



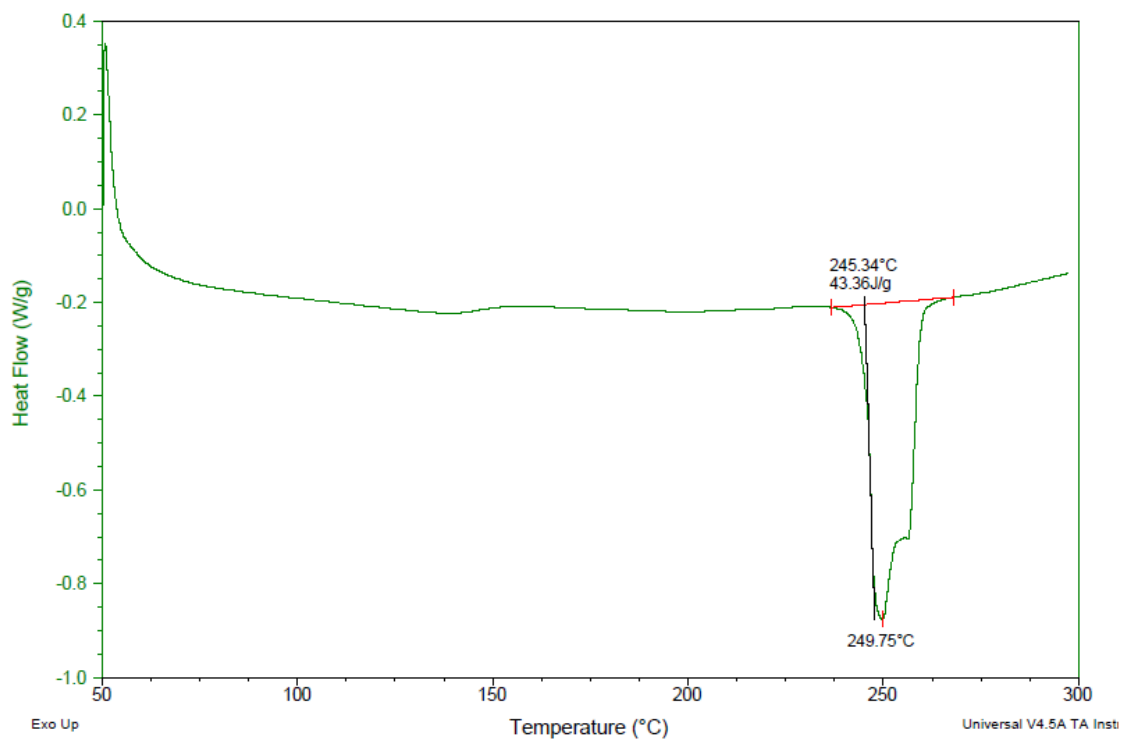
Слика 53. Микроскопски приказ ПЕС Б влакана при увећању од 1000 пута



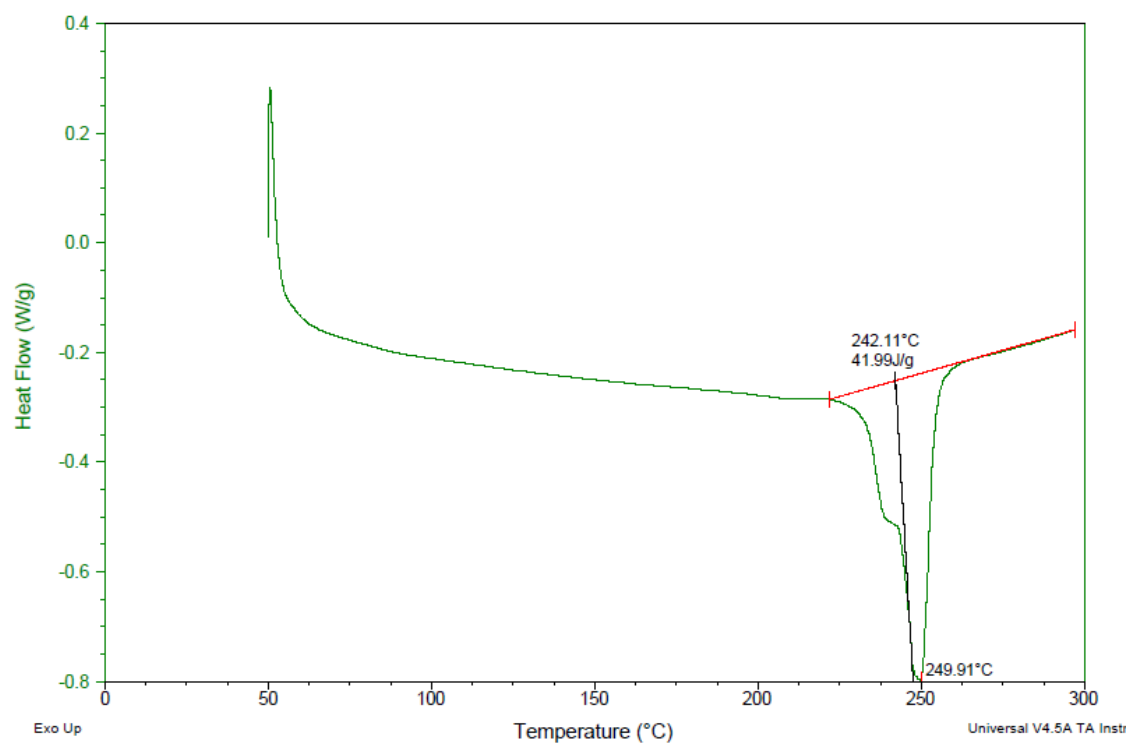
Слика 54. Микроскопски приказ ПП влакана при увећању од 1000 пута

Посматрањем слика микроскопских прегледа влакана уочава се да је на појединим ПЕС Б влакнима (сл. 53) видљиво присуство страних примеса као и напрелина и оштећења. Ова чињеница се између осталог одражава и на механичке карактеристике и квалитет ПЕС Б влакана, као и на квалитет геотекстила.

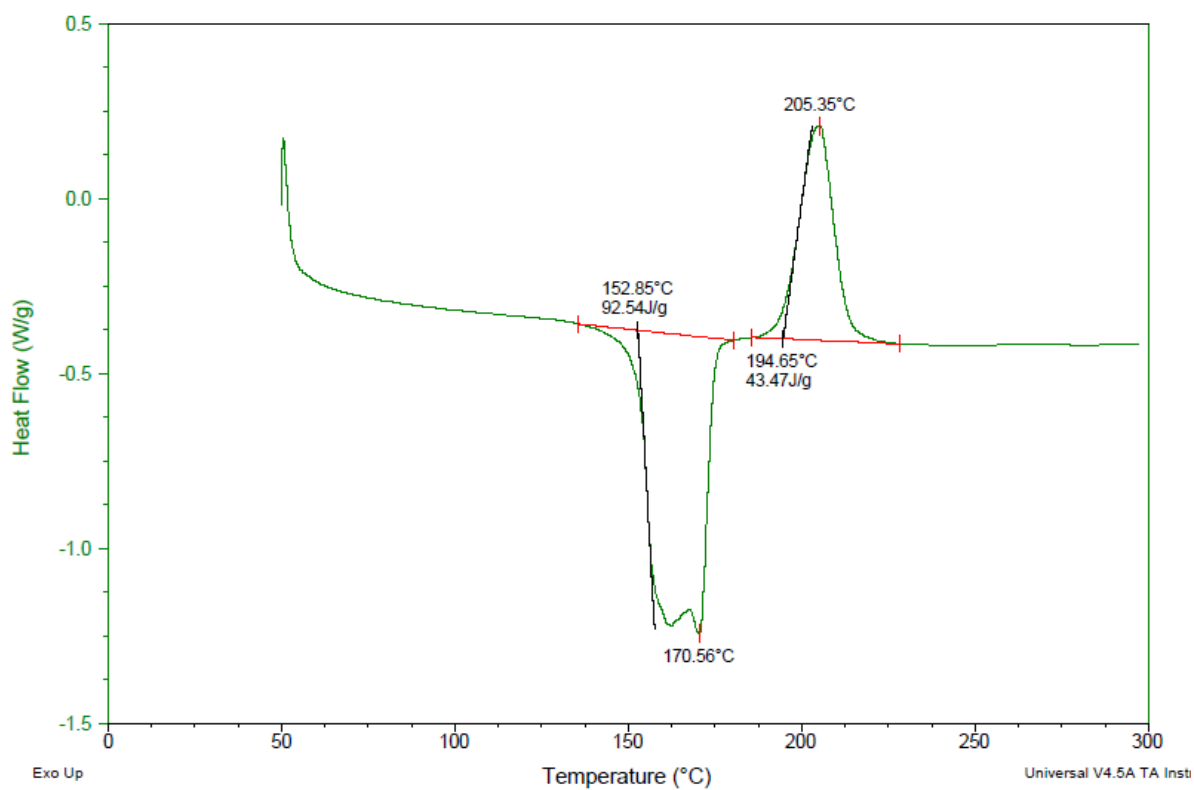
Тачке топљења влакана су испитиване по Рамп методи у опсегу од 50 °C до 300 °C коришћењем DF (Differential Scanning Calorimeter) Q20 V24.11 Build 124, при брзини загревања од 10 °C·min⁻¹ са константним протоком азота од 50 ml·min⁻¹. За снимање узорака коришћени су Tzero Hermetic Pans и Tzero Hermetic Lids. Сlike 55, 56 и 57 приказују тачке топљења ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана.



Слика 55. Тачка топљења ПЕС А влакана



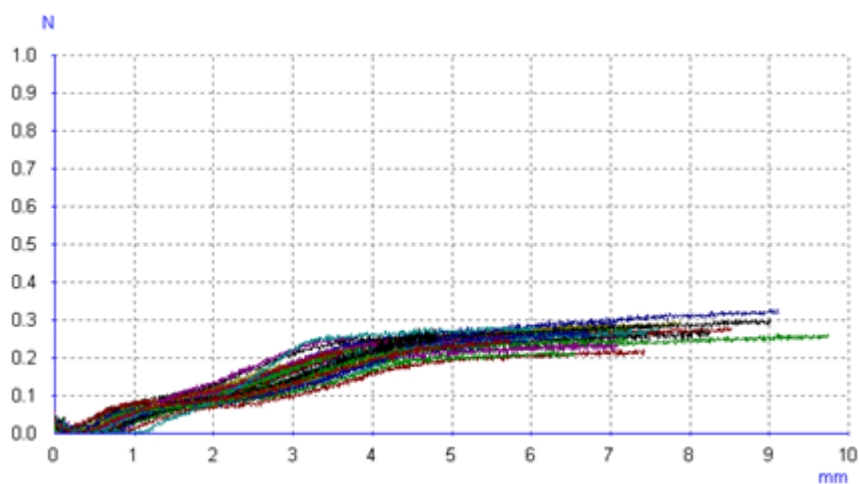
Слика 56. Тачка топљења ПЕС Б влакана



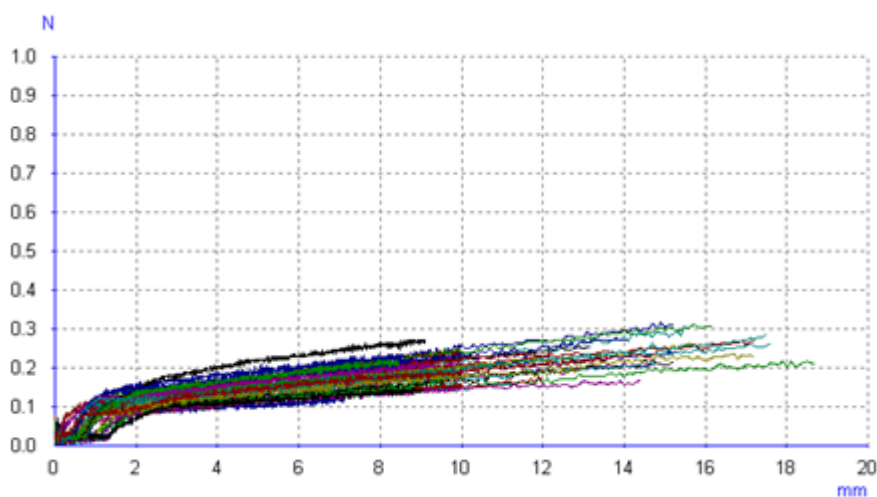
Слика 57. Тачка топљења ПП влакана

Прегледом слика 55, 56 и 57 може се закључити да ПЕС А влакна имају највећу тачку топљења од 245,34 °С, док нешто нижу тачку бележе влакна од рециклираног полиестра од 242,11 °С и најнижу тачку од 152,85 °С имају влакна израђена од полипропилена. На уређају Video Analyser 2000 је установљено да ПЕС влакна имају кружни попречни пресек док ПП влакна имају полигонални попречни пресек.

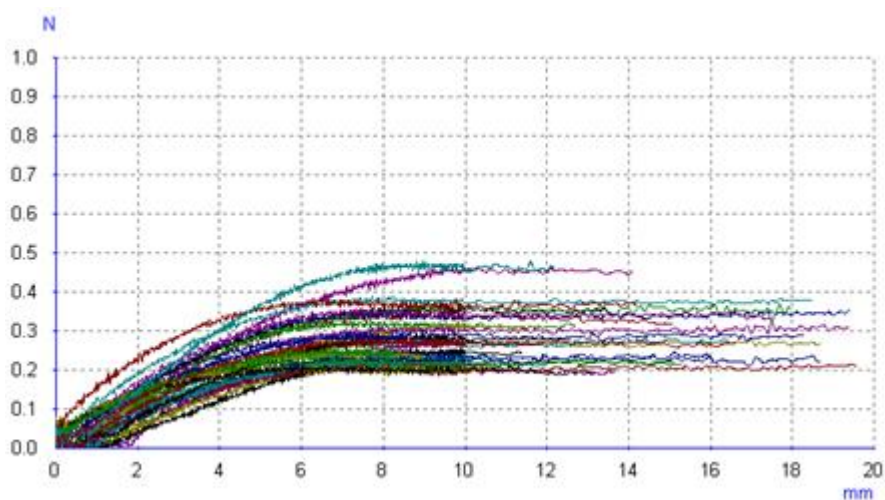
На сликама 58, 59 и 60 су приказани графици прекидних сила и издужења ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана.



Слика 58. Прекидна сила и издужење ПЕС А влакана



Слика 59. Прекидна сила и издужење ПЕС Б влакана



Слика 60. Прекидна сила и издужење ПП влакана

Прегледом извршених испитивања ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана (табеле 19, 20 и 21 са резултатима испитивања су приказане у прилогу дисертације) може се закључити да

ПЕС А влакна у погледу релативне прекидне силе имају у просеку за 17,5 % веће вредности у односу на ПЕС Б влакна док ПЕС Б влакана имају за 94,2 % веће издужење од ПЕС А влакана. Влакна израђена од полипропилена имају за 8,8 % веће вредности релативних прекидних сила у односу на ПЕС А влакна и за 27,85 % веће вредности од ПЕС Б влакана.

Прегледом вредности прекидног издужења, ПП влакна имају 110,1 % веће издужење од ПЕС А влакана и за 8,19 % веће издужење од ПЕС Б влакана. Посматрајући коефицијент варијације резултата прекидних сила најравномернија су ПЕС А влакна (CV 8,89 %) док ПП влакна имају највећи коефицијент варијације и он износи 23,3 % .

3.3 Техничко-технолошки параметри производње геотекстилних материјала

Иглање геотекстилних материјала је вршено на машини за иглање произвођача DİLO са производним параметрима приказаним у табели 12.

Табела 12. Параметри иглања

Геотекстил	Типови игала		Дубина иглања [mm]	Густина иглања [cm ⁻²]	Угао слагања копрене у пелцу [°]	Излазна брзина [m·min ⁻¹]
	Улазне даске	Излазне даске				
150 ПЕС А	15x18x36x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	15.5	91.4	4.6	2.4
150 ПЕС Б	15x18x36x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	15.5	91.4	4.6	2.4
150 ПП	15x18x36x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	15.5	91.4	4.6	2.4
200 ПЕС А	15x18x36x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	16.0	109.7	3.8	2.0
200 ПЕС Б	15x18x36x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	16.0	109.7	3.8	2.0
200 ПП	15x18x36x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	16.0	109.7	3.8	2.0
250 ПЕС А	15x18x36x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	16.5	115.5	3.6	1.9
250 ПЕС Б	15x18x36x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	16.5	115.5	3.6	1.9
250 ПП	15x18x36x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	16.5	115.5	3.6	1.9
300 ПЕС А	15x18x32x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	17.0	120.4	3.3	1.75
300 ПЕС Б	15x18x32x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	17.0	120.4	3.3	1.75
300 ПП	15x18x32x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	17.0	120.4	3.3	1.75
500 ПЕС А	15x18x32x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	17.5	169.7	1.9	1.0
500 ПЕС Б	15x18x32x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	17.5	169.7	1.9	1.0
500 ПП	15x18x32x3R333 G1002	15x18x36x3R333 G1002	17.5	169.7	1.9	1.0

Сви анализирани узорци настали су техником иглања пелца. Геотекстил је формиран механичким мршењем влакана пелца који се састоји од више слојева копрене у зависности од потребне површинске масе.

Пелц се формира слагањем копрене помоћу уређаја за попречно слагање копрене у пелцу. Попречни положај влакана се остварује тако што се копрена скинута са влачаре полаже на транспортер који се креће под правим углом у односу на смер кретања пелца.

За производњу геотекстилних материјала истих површинских маса примењени су исти производни параметри. Тиме су створени услови да се јасно уочи утицај примењених влакана на квалитет геотекстила.

3.4 Техничке карактеристике геотекстила

У табели 13 приказане су декларисане карактеристике геотекстилних материјала

Табела 13. Карактеристике геотекстилних материјала [115]

Ознака геотекстилног материјала	Врста влакна за израду	Дебљина при $p=2\text{kPa}$ [mm]	Ширина [cm]	Површинска маса [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]
Геотекстил Т-150 А	ПЕС А	1,5-1,9	200	150
Геотекстил Т-200 А	ПЕС А	1,6-2,25	200	200
Геотекстил Т-250 А	ПЕС А	2-2,7	200	250
Геотекстил Т-300 А	ПЕС А	2,4-3,2	200	300
Геотекстил Т-500 А	ПЕС А	2,8-3,6	200	500
Геотекстил Т-150 Б	ПЕС Б	1,4-1,8	200	150
Геотекстил Т-200 Б	ПЕС Б	1,6-2,1	200	200
Геотекстил Т-250 Б	ПЕС Б	2-2,5	200	250
Геотекстил Т-300 Б	ПЕС Б	2,2-2,8	200	300
Геотекстил Т-500 Б	ПЕС Б	2,2-2,9	200	500
Геотекстил Т-150 ПП	ПП	1,7-2,3	200	150
Геотекстил Т-200 ПП	ПП	1,9-2,4	200	200
Геотекстил Т-250 ПП	ПП	1,9-2,5	200	250
Геотекстил Т-300 ПП	ПП	2,2-3,0	200	300
Геотекстил Т-500 ПП	ПП	3,1-3,9	200	500

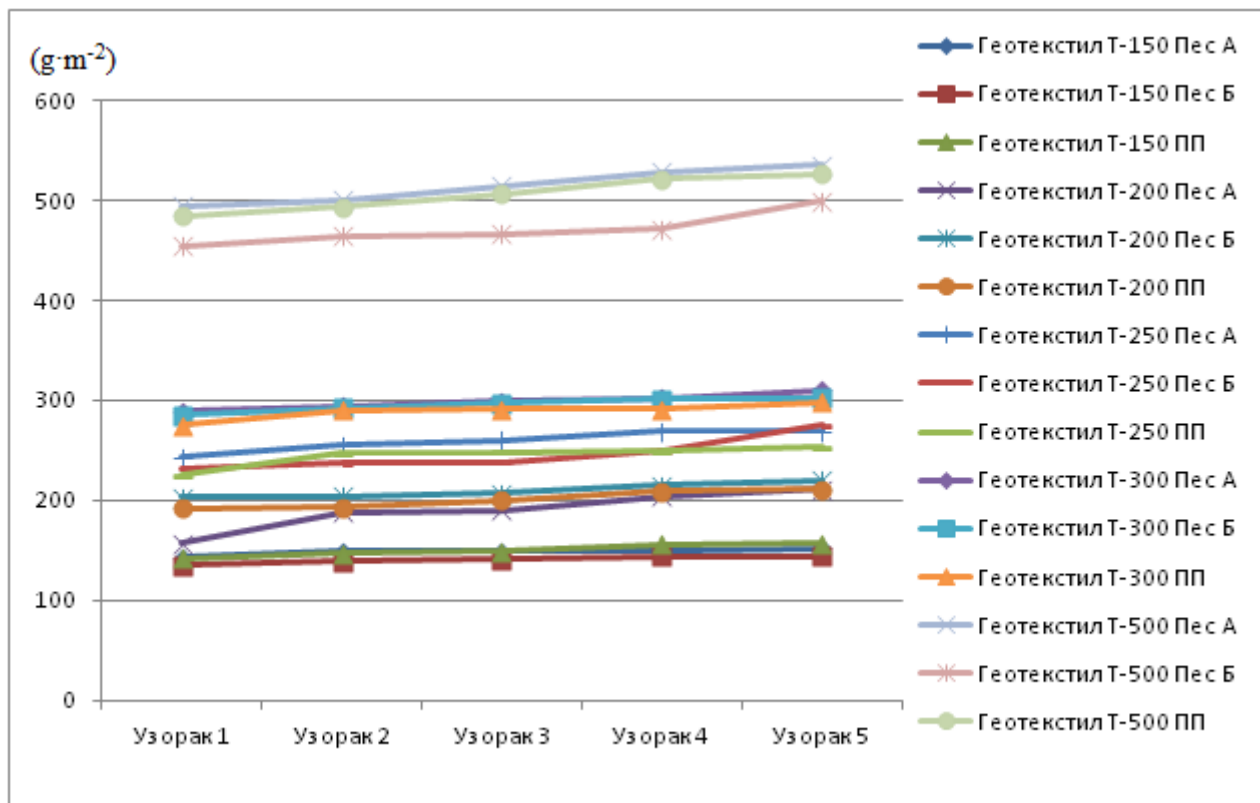
У табели 14 приказане су техничке карактеристике и граничне (препоручене) вредности геотектилних материјала произведених од регуларних (ПЕС А), рециклираних полиестарских (ПЕС Б) и полипропиленских (ПП) влакана, површинских маса од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Табела 14. Техничке карактеристике геотекстила од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана [115]

Назив	Површинска маса [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]	Сировински састав	Дужина [m]	Површинска маса [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$]	Прекидна сила [kN]		Издужење при максималном оптерећењу [%]	
					дужина	ширина	дужина	ширина
Геотекстил Т-150А	150±10%	ПЕС влакно	50+0,4	135-175	0,4 до 0,6	0,9 до 1,2	70 - 125	60-100
Геотекстил Т-150Б	150±10%	ПЕС рецикл.	50+0,4	135-175	0,15 до 0,28	0,35 до 0,55	43-148	45-127
Геотекстил Т-150ПП	150±10%	ПП влакно	50+0,4	135-175	0,55 до 0,82	2,1 до 2,7	93-200	73-120
Геотекстил Т-200А	200±10%	ПЕС влакно	50+0,4	180-220	0,75 до 1,0	1,3 до 1,9	70-125	60-100
Геотекстил Т-200Б	200±10%	ПЕС рецикл.	50+0,4	180-220	0,7 до 1,0	1,2 до 1,6	76-117	60-92
Геотекстил Т-200ПП	200±10%	ПП влакно	50+0,4	180-220	1,1 до 1,5	3,0 до 3,8	60-140	70-120
Геотекстил Т-250А	250±10%	ПЕС влакно	50+0,4	225-275	1,4 до 1,8	1,8 до 2,4	50-80	60-95
Геотекстил Т-250Б	250±10%	ПЕС рецикл.	50+0,4	225-275	0,7 до 1,0	1,1 до 1,7	80-101	75-90
Геотекстил Т-250ПП	250±10%	ПП влакно	50+0,4	225-275	1,4 до 1,9	3,8 до 4,8	80-140	60-100
Геотекстил Т-300А	300±10%	ПЕС влакно	50+0,4	270-330	1,2 до 2,2	1,8 до 3,0	70-145	55-100
Геотекстил Т-300Б	300±10%	ПЕС рецикл.	50+0,4	270-330	1,0 до 2,0	1,0 до 2,0	50-108	50-90
Геотекстил Т-300ПП	300±10%	ПП влакно	50+0,4	270-330	2,1 до 2,6	4,5 до 5,2	80-160	60-116
Геотекстил Т-500А	500±10%	ПЕС влакно	50+0,4	450-550	3,2 до 3,7	3,5 до 4,5	55-80	60-80
Геотекстил Т-500Б	500±10%	ПЕС рецикл.	50+0,4	450-550	2,1 до 2,7	3,1 до 4,0	50-100	50-100
Геотекстил Т- 500ПП	500±10%	ПП влакно	50+0,4	450-550	4,6 до 5,5	7,1 до 8,7	86-140	65-125

3.5 Резултати мерења површинске масе геотекстилних материјала

На слици 61 приказане су измерене вредности површинских маса геотекстилних материјала.

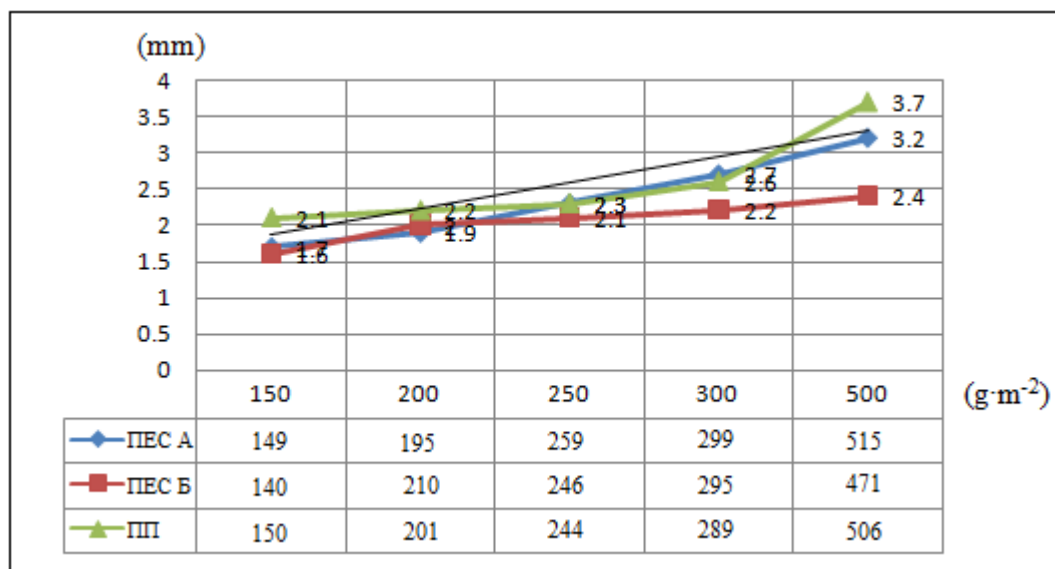


Слика 61. Резултати мерења површинских маса геотекстилних узорака

Прегледом слике 61 на којој су приказане измерене вредности површинских маса уочавају се извесна одступања резултата по типу геотекстила коме припадају. Одступања која су приметна код резултата наведених у табели 14 и на слици 61 се крећу у распону од $\pm 10\%$ у односу на декларисану вредност што је дозвољена толеранција, односно, наведено одступање не утиче битно на параметре геотекстилних материјала.

3.6 Резултати мерења дебљине геотекстила

На слици 62 приказан је график дебљине геотекстилних материјала различитих сировинских састава и површинских маса.



Слика 62. График дебљине геотекстилних материјала

На слици 62 приказан је упоредни преглед испитивања дебљине при притиску од 2 kPa за геотекстиле од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана, површинских маса од 150 g·m⁻², 200 g·m⁻², 250 g·m⁻², 300 g·m⁻² и 500 g·m⁻². Може се констатовати да највећу дебљину у групи геотекстила површинске масе од 150 g·m⁻² има геотекстил од полипропиленских влакана. Такође је евидентно да код геотекстила поменуте површинске масе најмању дебљину има геотекстил од рециклираних полиестарских влакана, али при том има и за 10 g·m⁻² мању просечну површинску масу од полипропиленског геотекстила. Ако се упореди геотекстил од рециклираних полиестарских влакана са геотекстилом од регуларних полиестарских влакана, евидентно је да иако има за 9 g·m⁻² мању површинску масу, просечне дебљине су им приближне. Код геотекстила који улази у опсег од 200 g·m⁻² предњачи геотекстил од полипропилена иако у овом случају има нижу просечну вредност површинске масе од рециклираног полиестра за 9 g·m⁻². Геотекстил од 250 g·m⁻² од полипропилена има исту дебљину као геотекстил од регуларних полиестарских влакана упркос томе што је просечна површинска маса ПЕС А геотекстила већа за 15 g·m⁻² у односу на геотекстил од ПП влакана.

Код геотекстила од $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ највеће просечне вредности дебљине има геотекстил од регуларних ПЕС влакана док нешто мање вредности за $0,1 \text{ mm}$ има ПП геотекстил иако има за $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ниже вредности просечне површинске масе, док геотекстил од рециклираног полиестра има најниже измерене средње вредности дебљине упркос томе што му је просечна површинска маса већа у односу на полипропиленски геотекстил за $6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

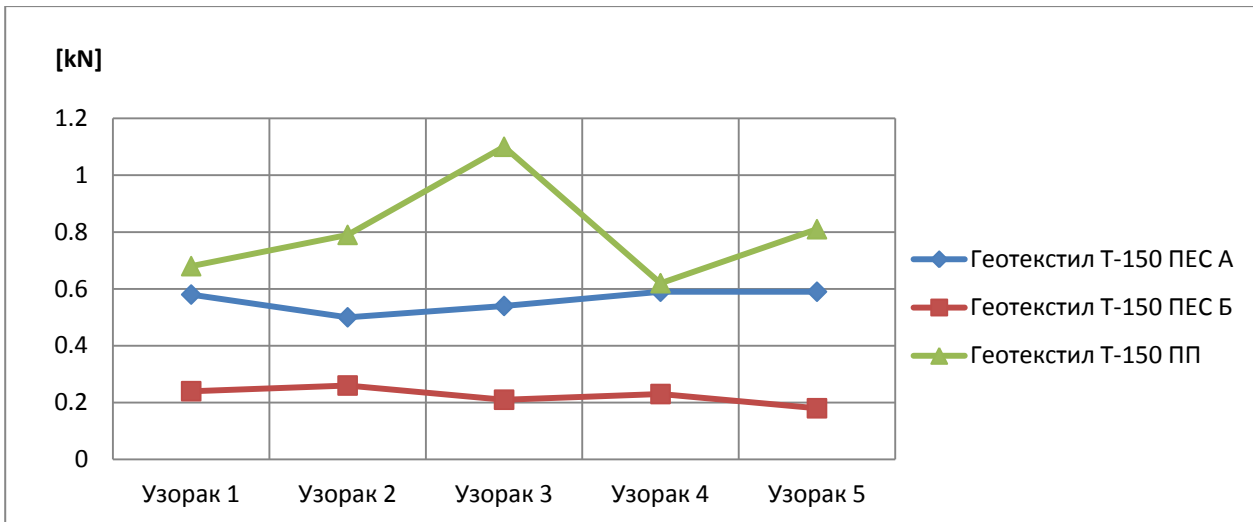
Највеће вредности дебљине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ измерена је код материјала од полипропиленских влакана а најниже код геотекстила од рециклираних полиестарских влакана, што је у овом случају очекивано због већих средњих вредности површинских маса геотекстила од полипропиленских влакана, која у овом случају износи $35 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Геотекстил од регуларних полиестарских влакана има већу просечну површинску масу за $9 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ у односу на ПП геотекстил али мање вредности просечне дебљине за $0,5 \text{ mm}$. Посматрањем свих испитиваних геотекстила од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ до $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ може се закључити да са порастом површинске масе долази и до пораста дебљине геотекстила и на сваких $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ дебљина геотекстила се увећава за око $0,2 \text{ mm}$.

3.7 Резултати мерења сила при затезању геотекстила

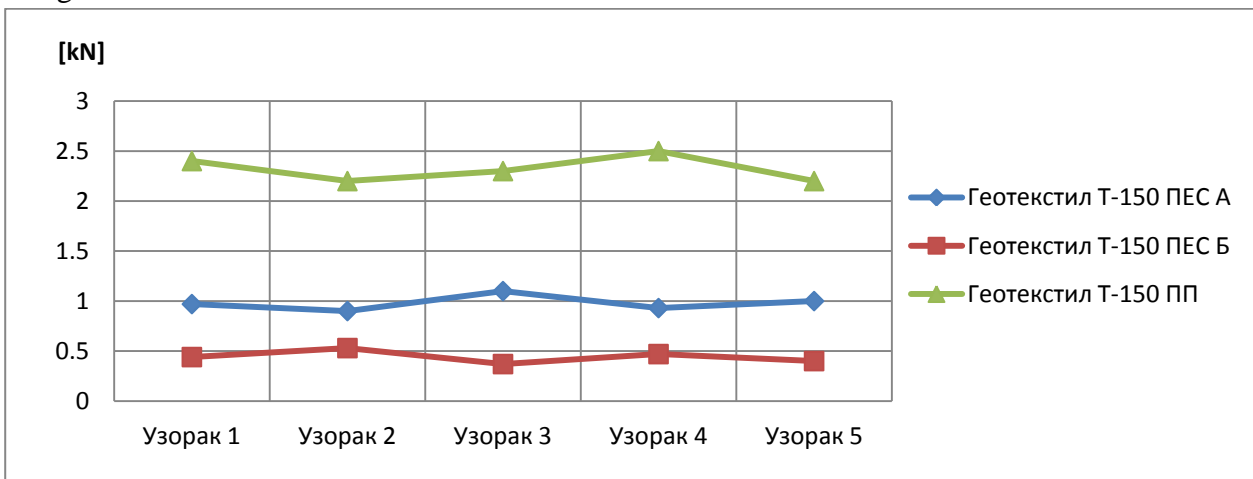
Веома важан параметар који одређује јачину геотекстила је његова прекидна сила. У овом делу рада приказане су вредности прекидне силе геотекстила за све три врсте испитиваних геотекстила (ПЕС А, ПЕС Б и ПП) и за свих пет површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. На основу добијених вредности може се створити увид колико оптерећење могу да поднесу геотекстили наведених површинских маса и сировинских састава. Такође у овом делу експерименталног рада приказани су резултати мерења максималне силе при затезању геотекстила и одређене су силе на граници еластичности што може да предочи максимална оптерећења која геотекстил може поднети при употреби у конструкцији након којих долази до његове трајне деформације.

3.7.1 Резултати мерења прекидне силе

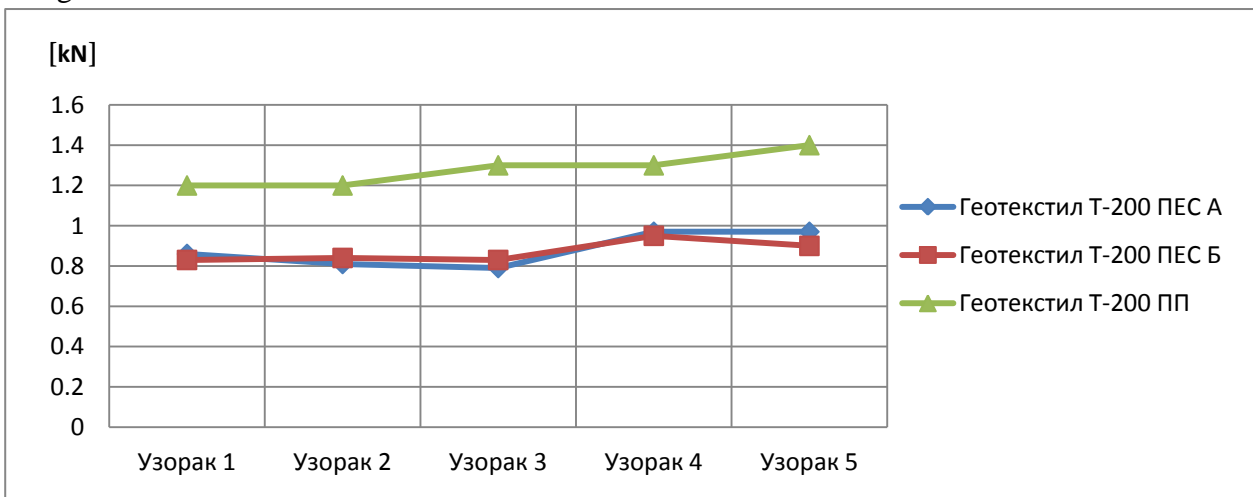
На сликама од 63 до 72 приказани су резултати мерења прекидних сила анализираних геотекстилних материјала.



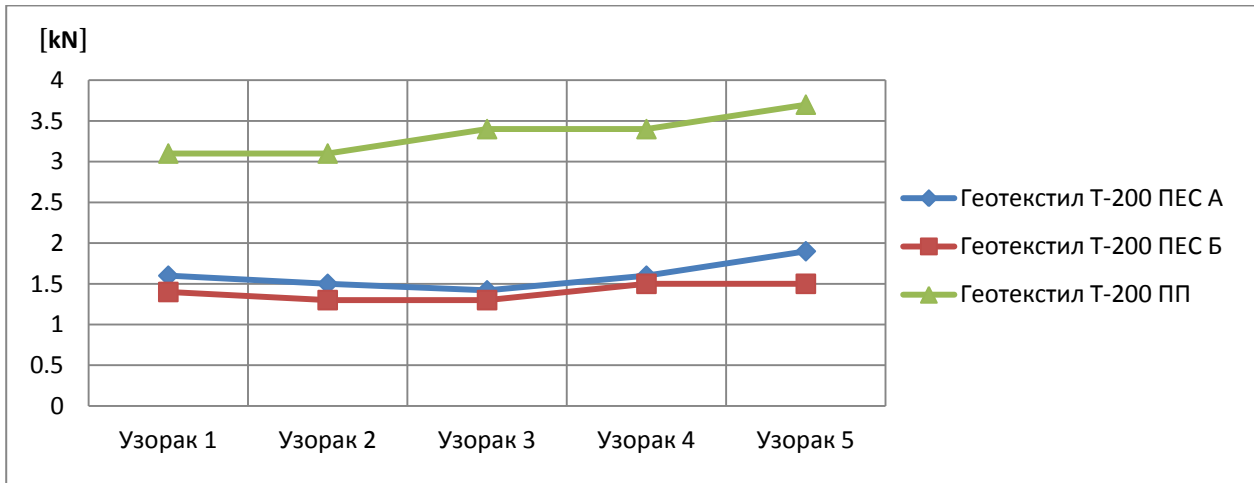
Слика 63. Упоредни преглед прекидне силе по дужини за геотекстиле површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



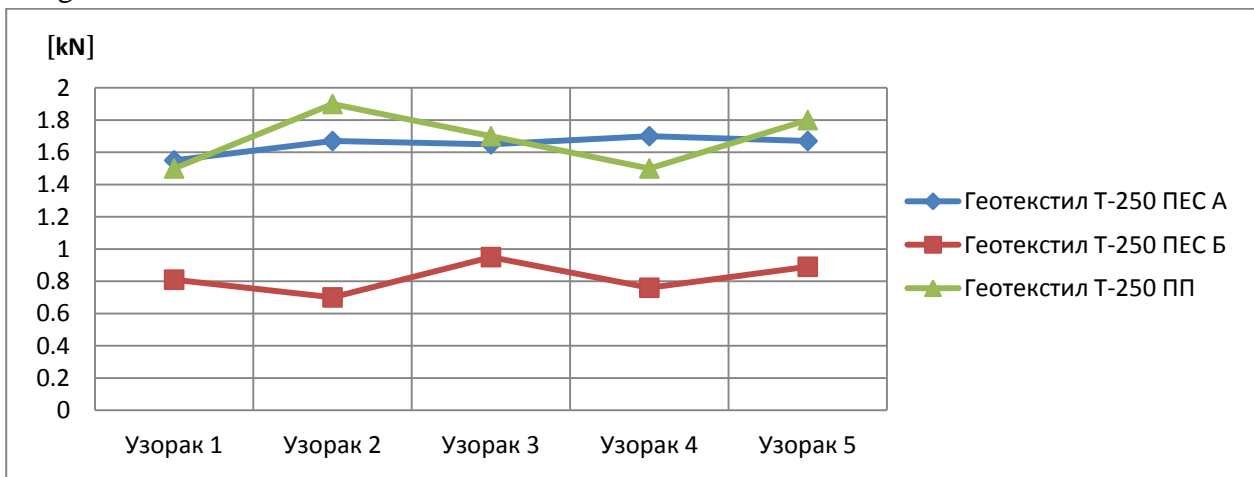
Слика 64. Упоредни преглед прекидне силе по ширини за геотекстиле површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



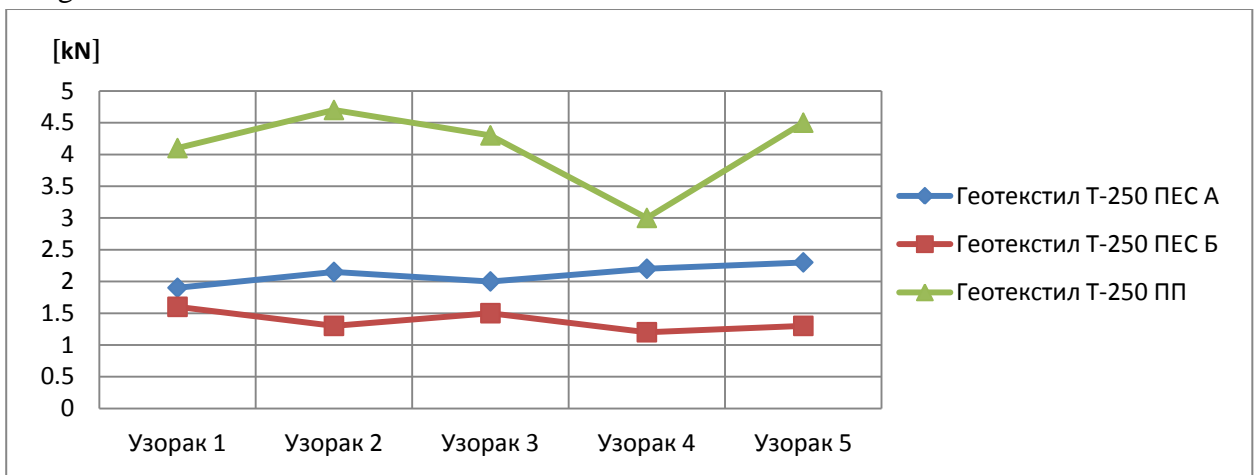
Слика 65. Упоредни преглед прекидне силе по дужини за геотекстиле површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



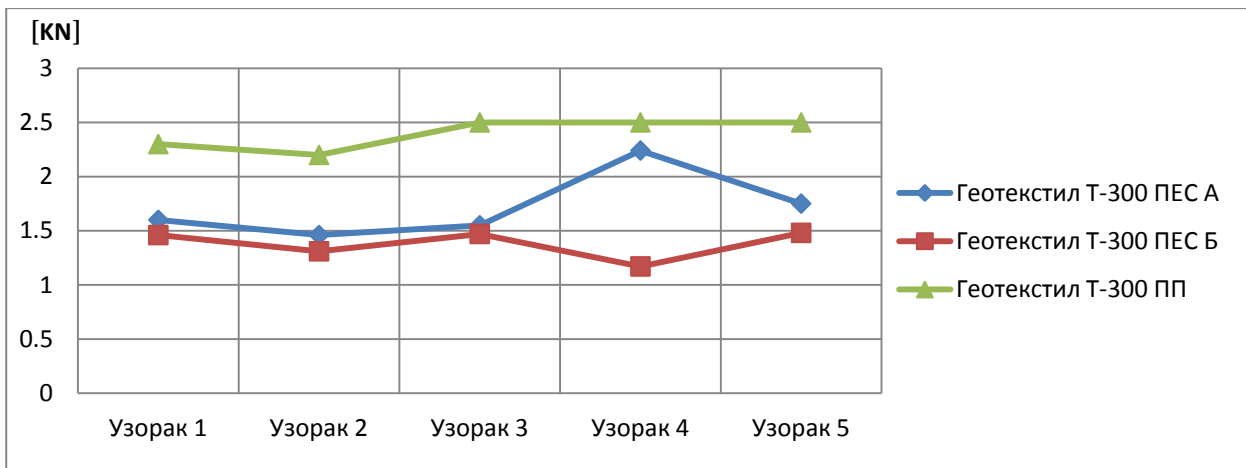
Слика 66. Упоредни преглед прекидне силе по ширини за геотекстиле површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



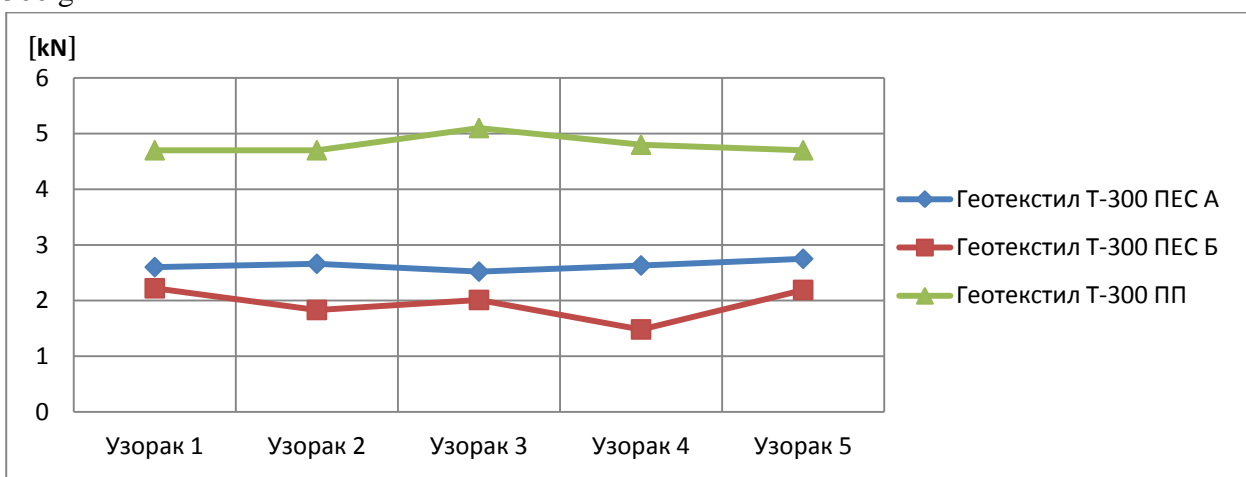
Слика 67. Упоредни преглед прекидне силе по дужини за геотекстиле површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



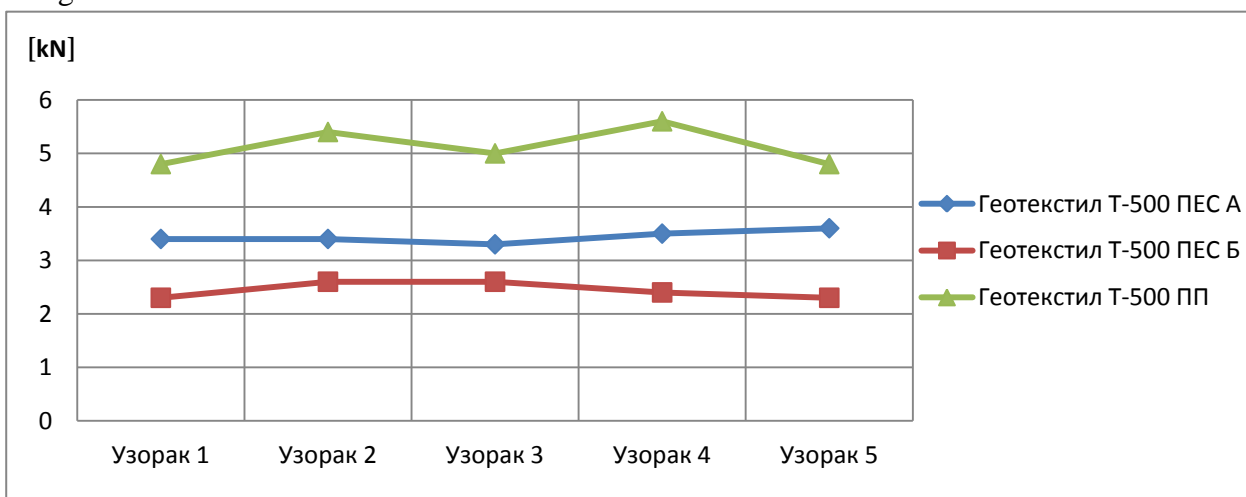
Слика 68. Упоредни преглед прекидне силе по ширини за геотекстиле површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



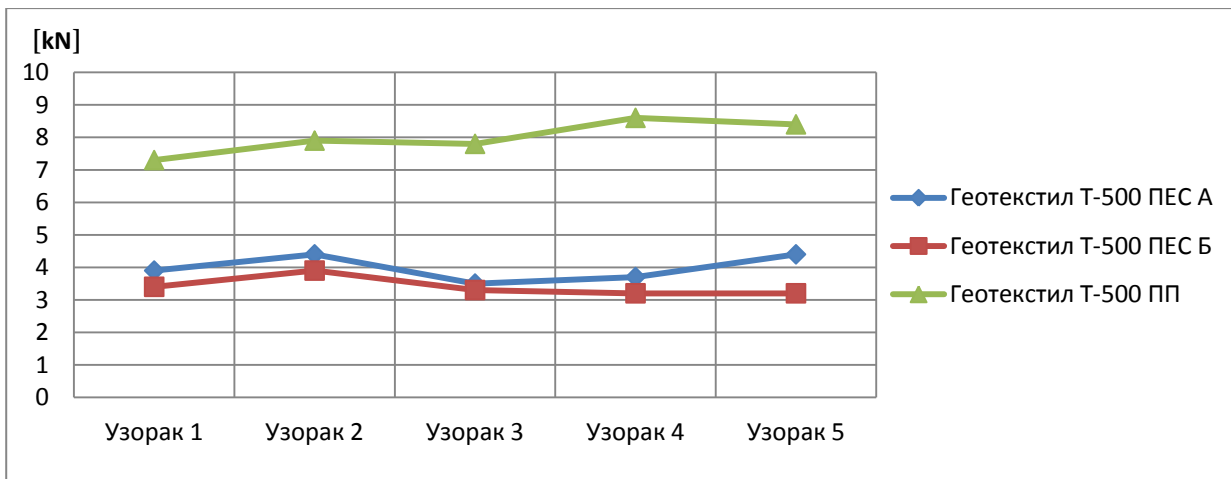
Слика 69. Упоредни преглед прекидне силе по дужини за геотекстиле површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 70. Упоредни преглед прекидне силе по ширини за геотекстиле површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

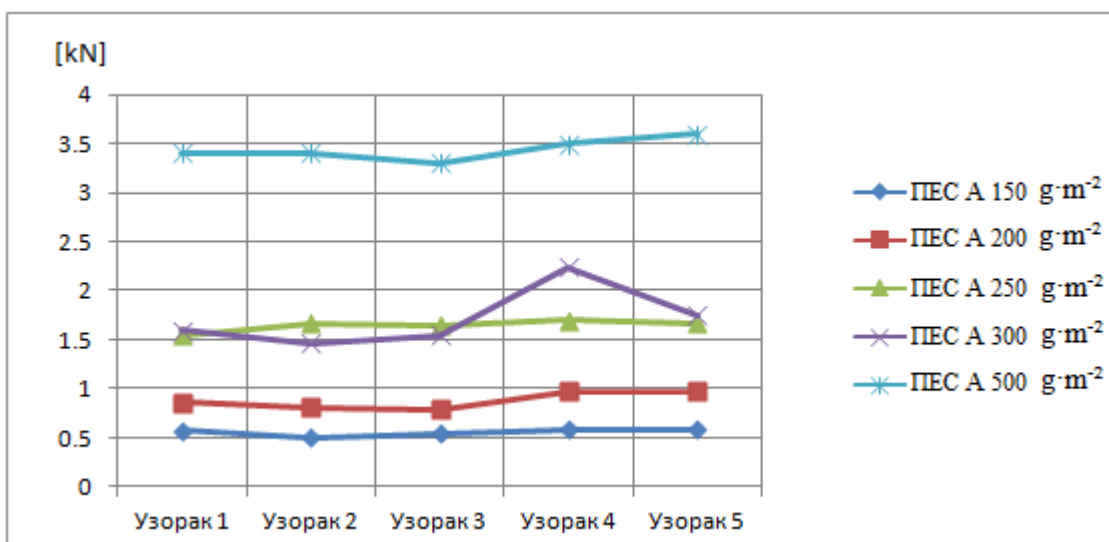


Слика 71. Упоредни преглед прекидне силе по дужини за геотекстиле површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

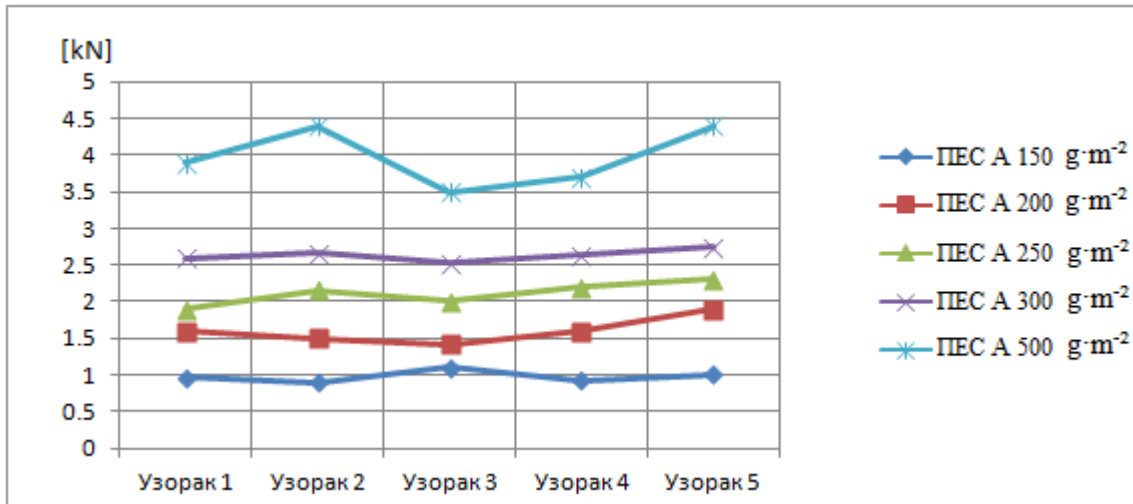


Слика 72. Упоредни преглед прекидне силе по ширини за геотекстиле површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

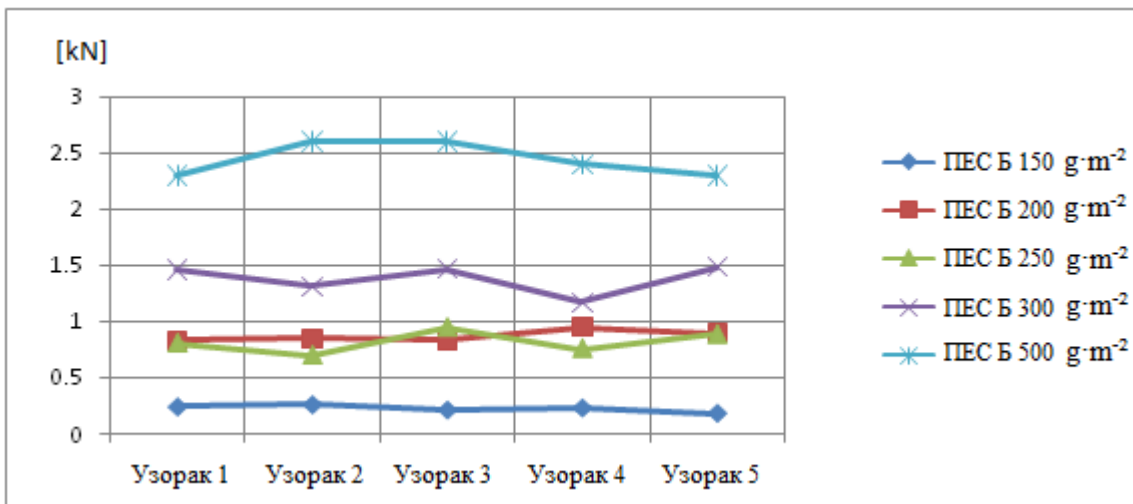
На сликама 73 до 78 приказани су упоредни прегледи прекидних сила геотекстила истих сировинских састава али различитих површинских маса.



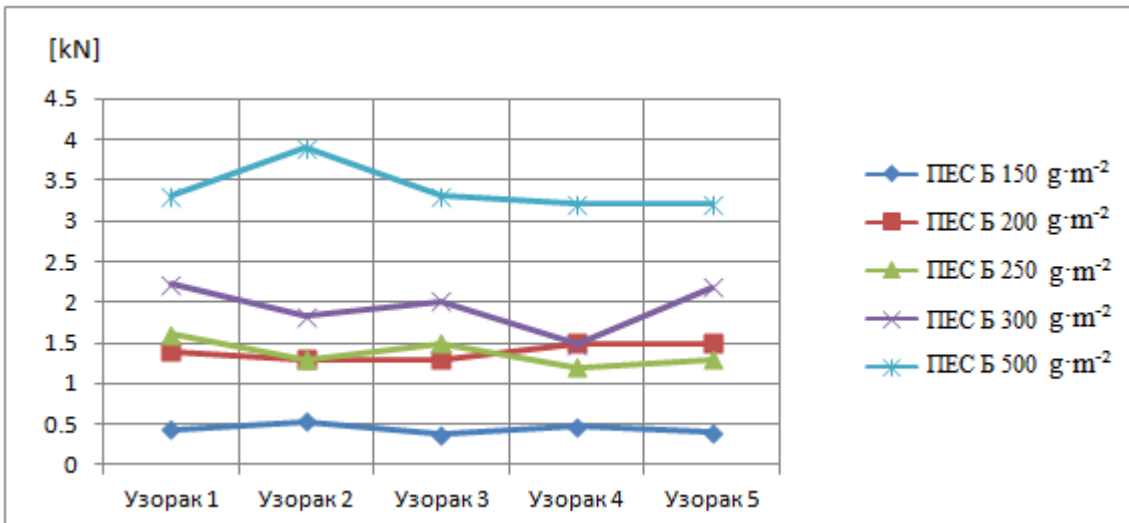
Слика 73. Преглед прекидних сила у правцу дужине геотекстила од ПЕС А влакана



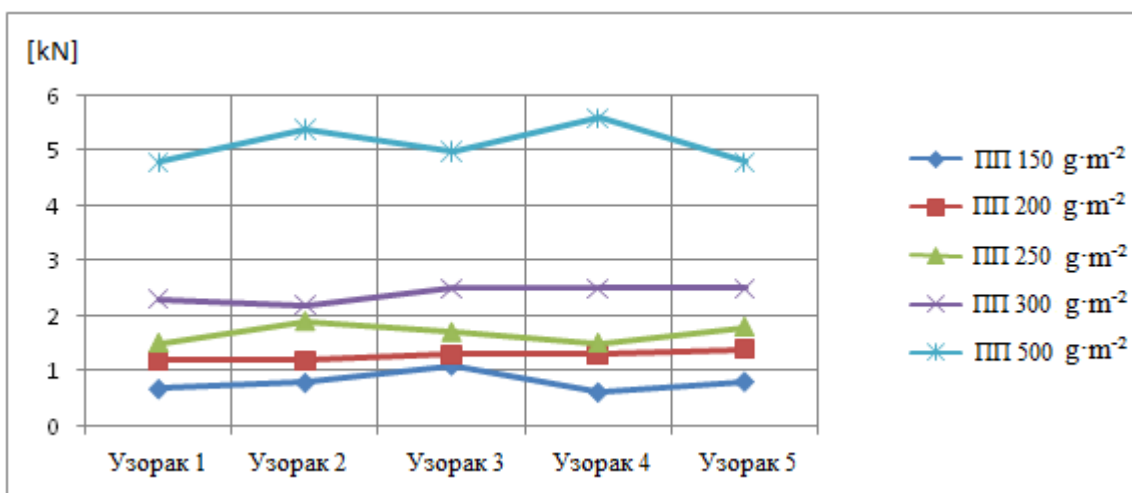
Слика 74. Преглед прекидних сила у правцу ширине геотекстила од ПЕС А влакана



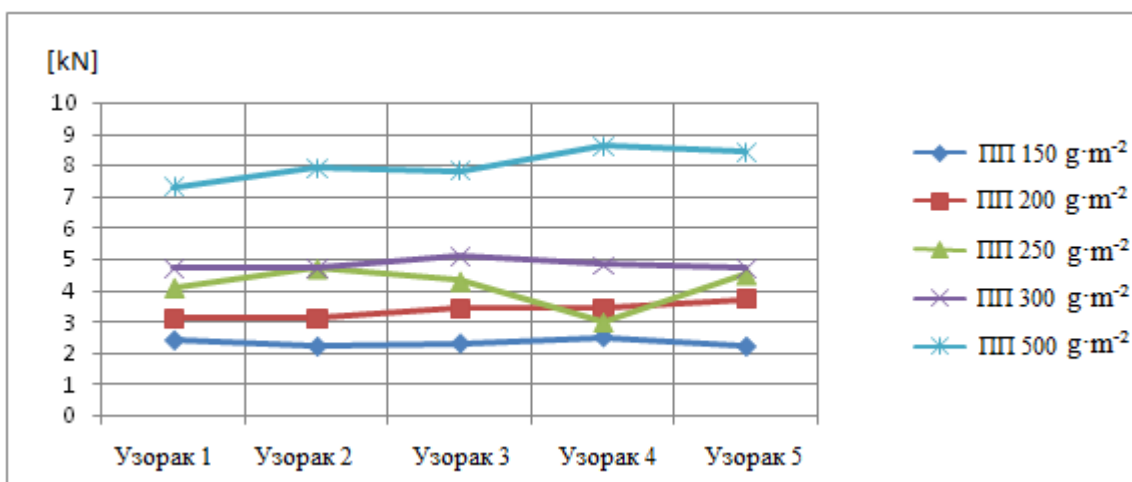
Слика 75. Преглед прекидних сила у правцу дужине геотекстила од ПЕС Б влакана



Слика 76. Преглед прекидних сила у правцу ширине геотекстила од ПЕС Б влакана



Слика 77. Преглед прекидних сила у правцу дужине геотекстила од ПП влакана

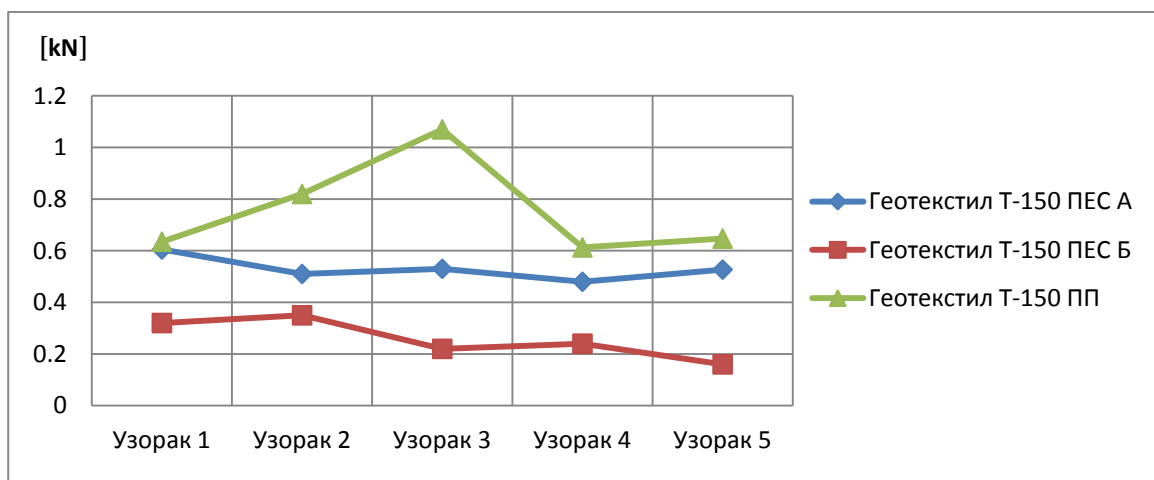


Слика 78. Преглед прекидних сила у правцу ширине геотекстила од ПП влакана

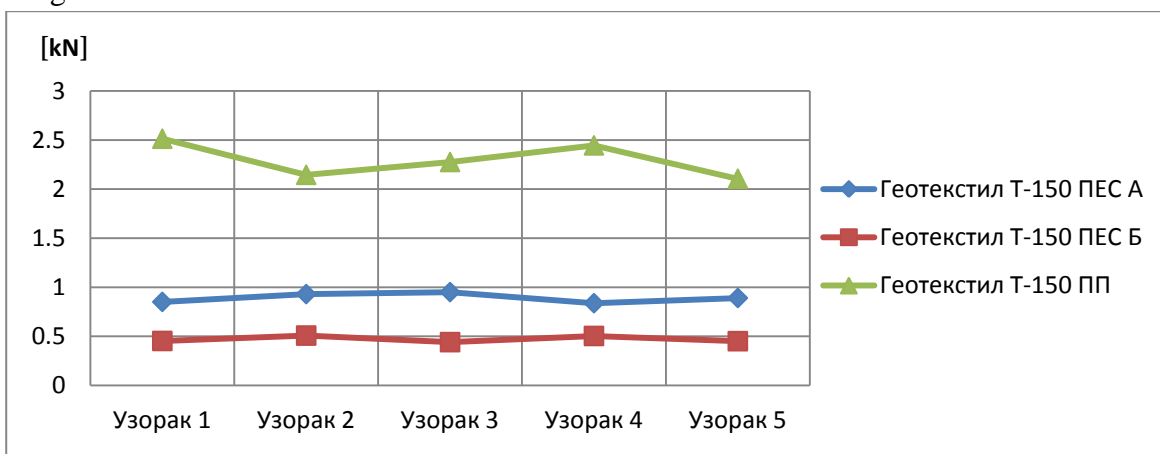
На основу резултата приказаних у табели 22 датој у прилогу дисертације и прегледа прекидних сила геотекстилних материјала, који су приказани на сликама од 63 до 72, евидентна је разлика између узорак геотекстила од 150 g·m⁻², 200 g·m⁻², 250 g·m⁻², 300 g·m⁻² и 500 g·m⁻² израђених од регуларних влакана ПЕС А, узорак геотекстила израђених од рециклираних влакана ПЕС Б и узорак ПП. Може се констатовати да је геотекстил израђен од полипропиленских влакана показао веће вредности прекидних сила у односу на геотекстил израђен од ПЕС А и ПЕС Б влакана. ПЕС Б геотекстил је показао најниже вредности код анализе прекидних сила. Прегледом међусобних упоредних мерења прекидних сила за свих пет површинских маса (слике од 73 до 78) може се констатовати да са порастом површинске масе геотекстила долази и до пораста прекидне силе, такође се може констатовати да разлика у површинској маси у оквиру дозвољених одступања од 10 % не утиче на пораст прекидне силе и прекидног издужења.

3.7.2 Резултати мерења максималне силе при затезању геотекстила

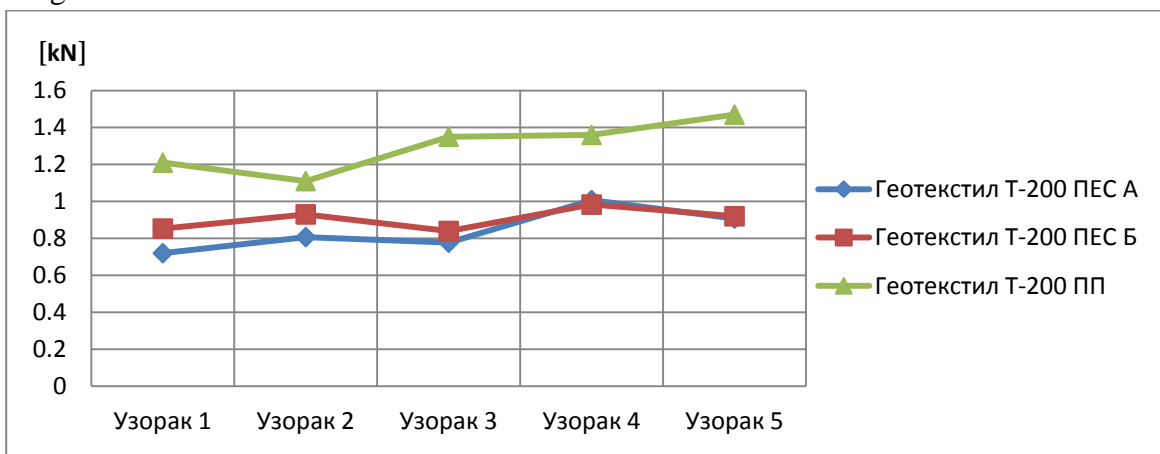
На сликама од 79 до 88 приказани су графици максималних интензитета сила при кидању геотекстила.



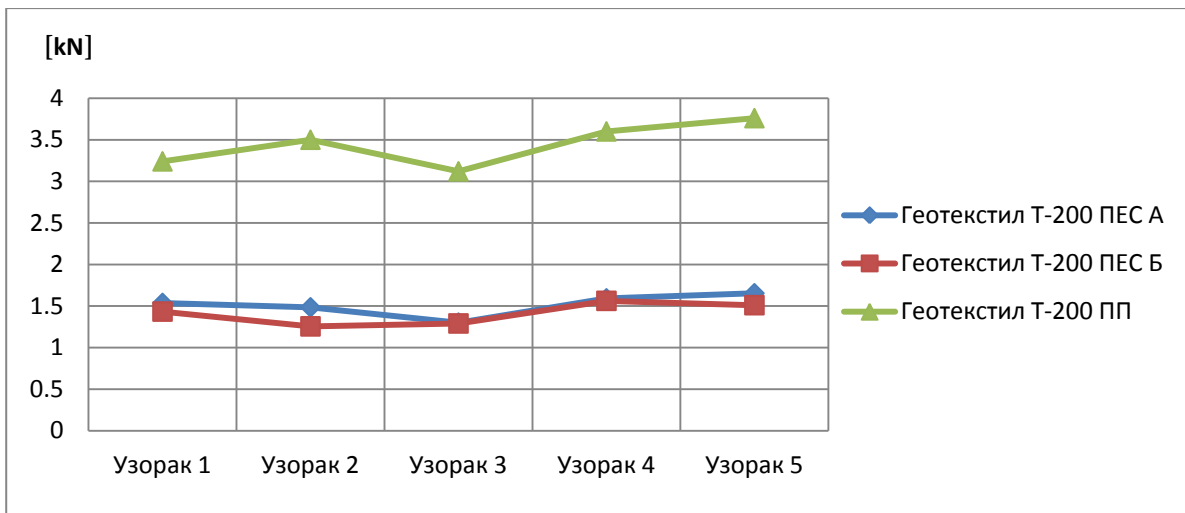
Слика 79. Преглед максималних сила у правцу дужине геотекстила површинских маса $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



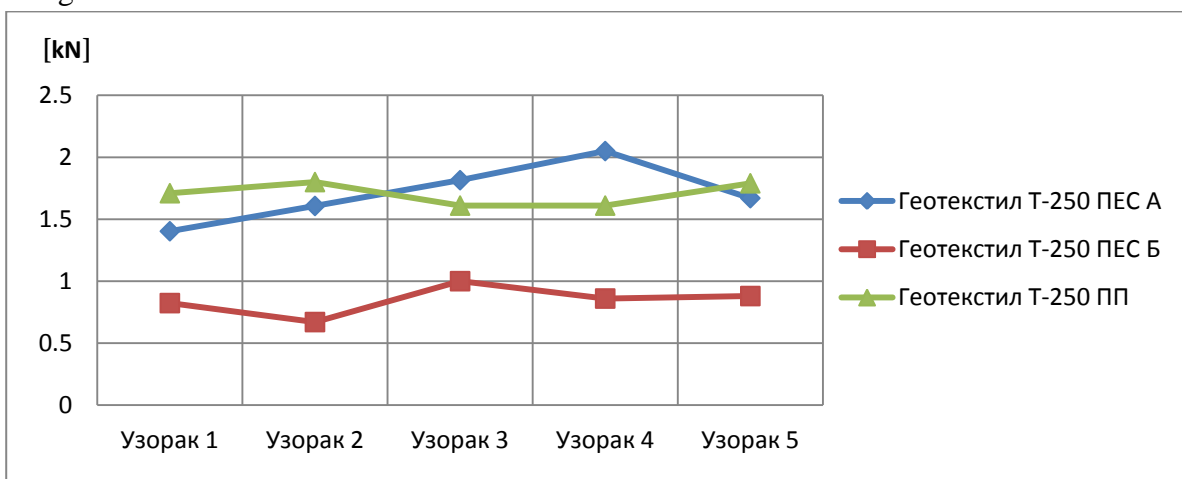
Слика 80. Преглед максималних сила у правцу ширине геотекстила површинских маса $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



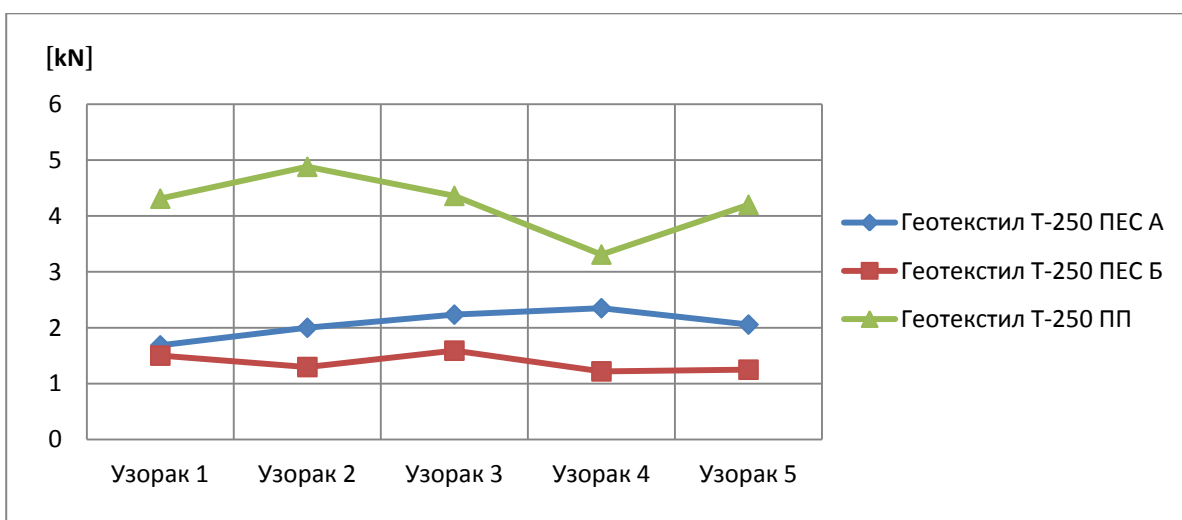
Слика 81. Преглед максималних сила у правцу дужине геотекстила површинских маса $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



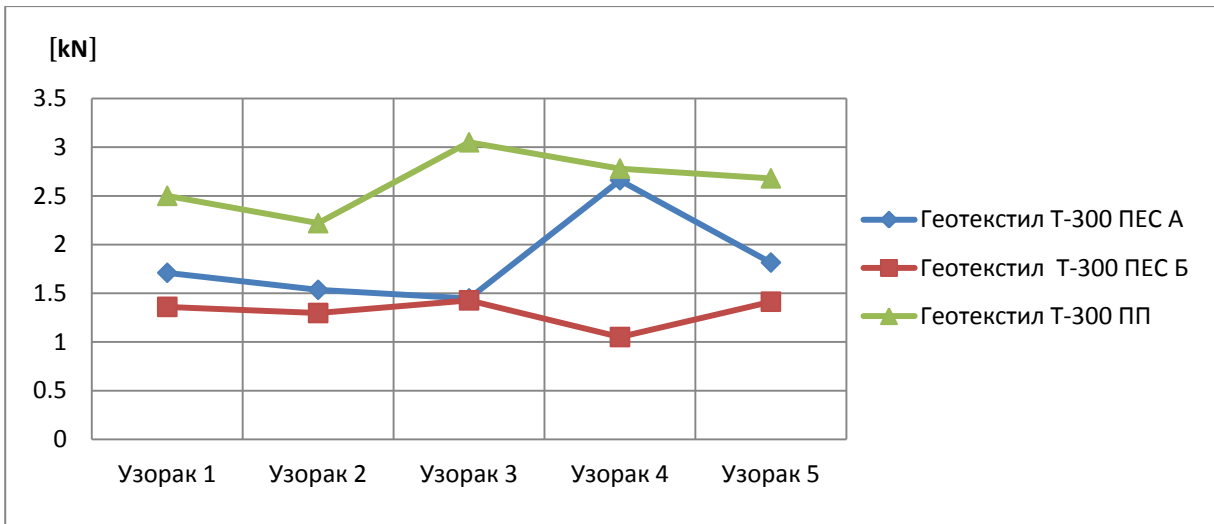
Слика 82. Преглед максималних сила у правцу ширине геотекстила површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



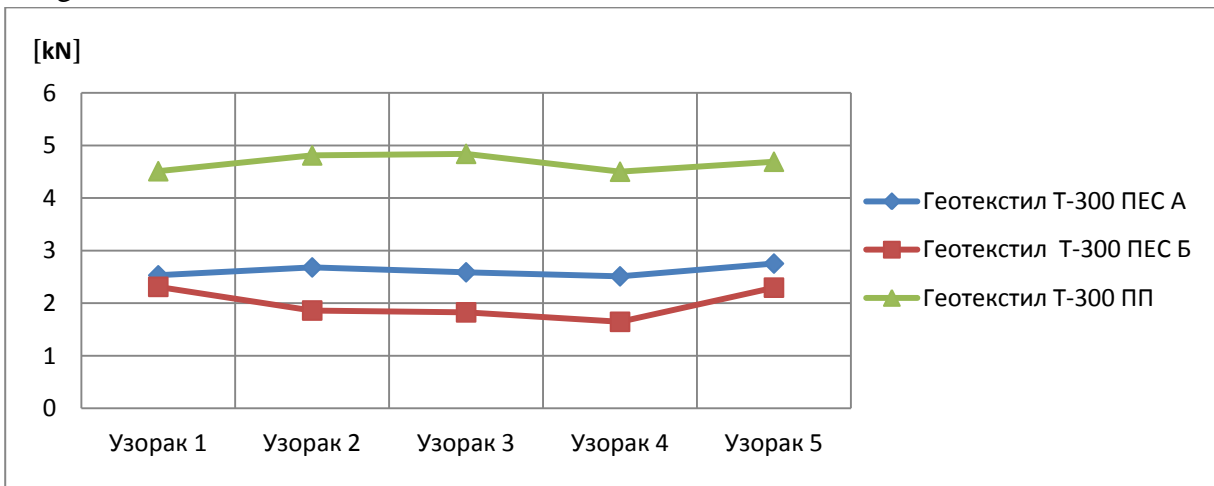
Слика 83. Преглед максималних сила у правцу дужине геотекстила површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



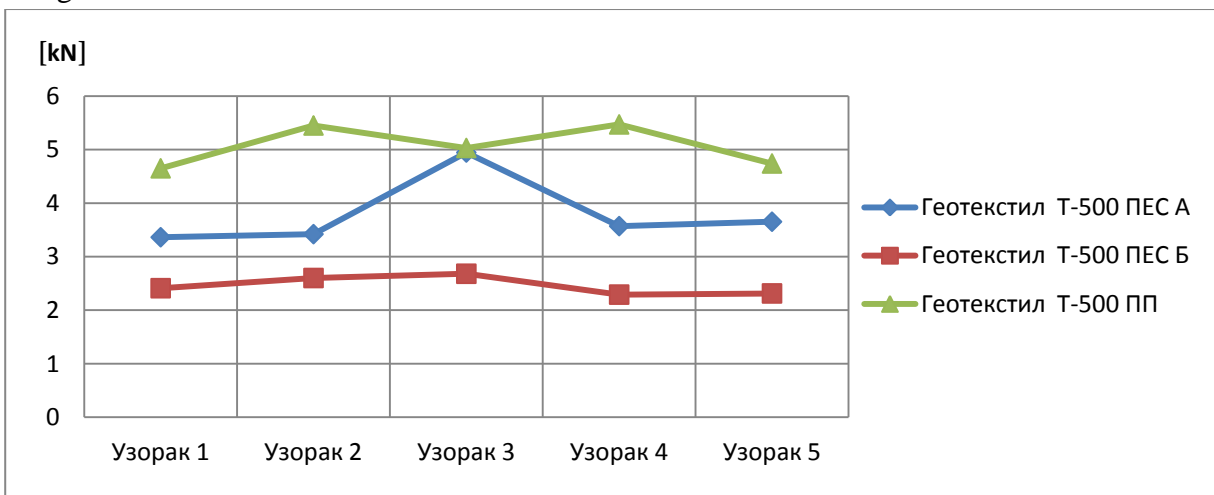
Слика 84. Преглед максималних сила у правцу ширине геотекстила површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



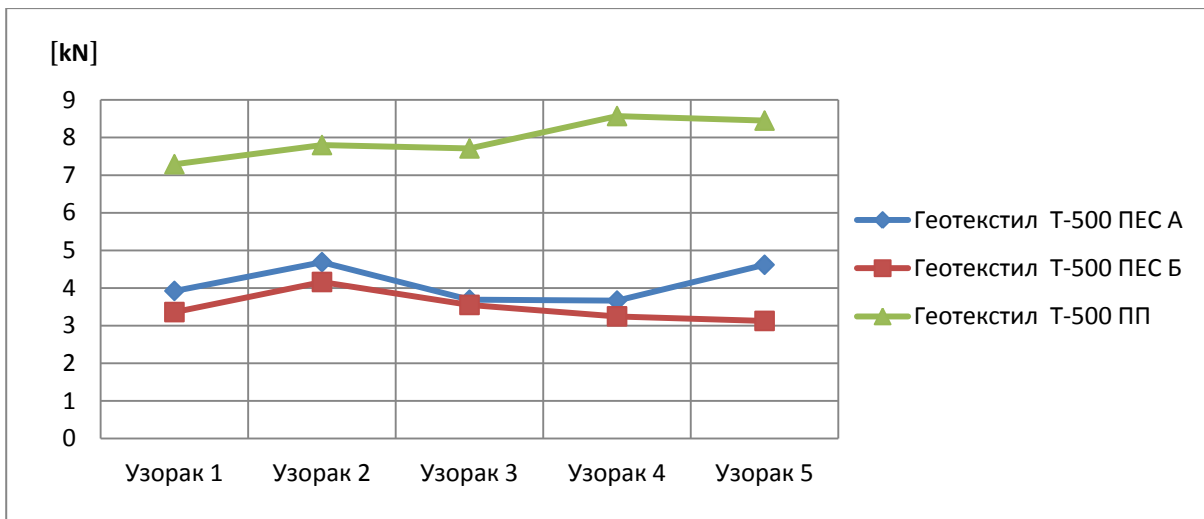
Слика 85. Преглед максималних сила у правцу дужине геотекстила површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 86. Преглед максималних сила у правцу ширине геотекстила површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 87. Преглед максималних сила у правцу дужине геотекстила површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 88. Преглед максималних сила у правцу ширине геотекстила површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Упоредним прегледом максималне силе у правцу дужине и ширине за геотекстиле површинске масе од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ закључује се да највеће вредности показује геотекстил од ПП влакана нарочито код узорка 3 по дужини (сл. 79). Разлика између узорка ПЕС А, ПЕС Б, и ПП је још евидентнија по ширини где узорак од полипропилена драстично одступа, односно има веће вредности за преко 100 % од ПЕС А геотекстила (сл. 80). У оба случаја максималне вредности геотекстила од ПЕС Б влакана су нижа у односу на ПЕС А и ПП геотекстил.

Геотекстил од $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ по дужини и ширини од ПП влакана показује веће вредности од ПЕС А и ПЕС Б геотекстила, разлика је евидентнија по ширини док у оба случаја ПЕС А и ПЕС Б имају приближне вредности (сл. 81 и 82).

Код узорка геотекстила од $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ по дужини (сл. 83) геотекстил од ПП влакана код првог, другог и петог узорка има нешто боље вредности од ПЕС А геотекстила али разлика у добијеним вредностима није знатнија. По ширини се узорак ПП издваја и има највећу максималну силу (сл. 84), док узорак ПЕС Б у оба случаја показује најниже вредности.

Упоредним прегледом максималне силе по дужини и ширини за геотекстил од $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ евидентно је да узорци геотекстила израђеног од ПП влакана и у овом случају имају највеће вредности али је та разлика значајнија по ширини геотекстила (сл. 85 и 86).

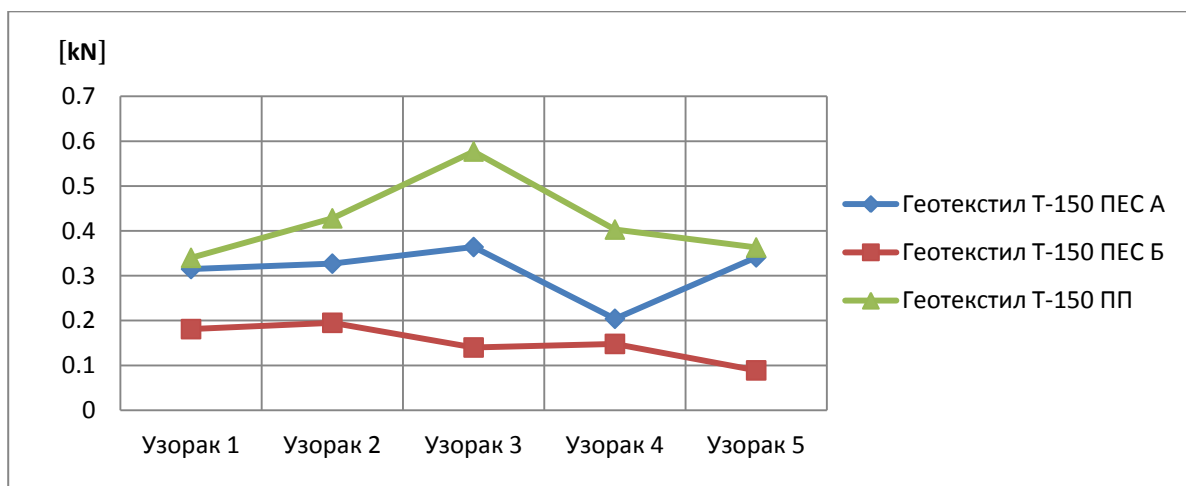
Код геотекстила од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ највеће вредности максималне силе показује геотекстил ПП и по дужини и по ширини с тим што је разлика значајнија по ширини у односу на ПЕС А и ПЕС Б геотекстил (сл. 88). Узорци геотекстила од ПЕС А и ПЕС Б

влакана по ширини имају сличне вредности али су оне код ПЕС А геотекстила нешто веће, док по дужини (сл. 87), разлика је израженија, наручито код узорка 3.

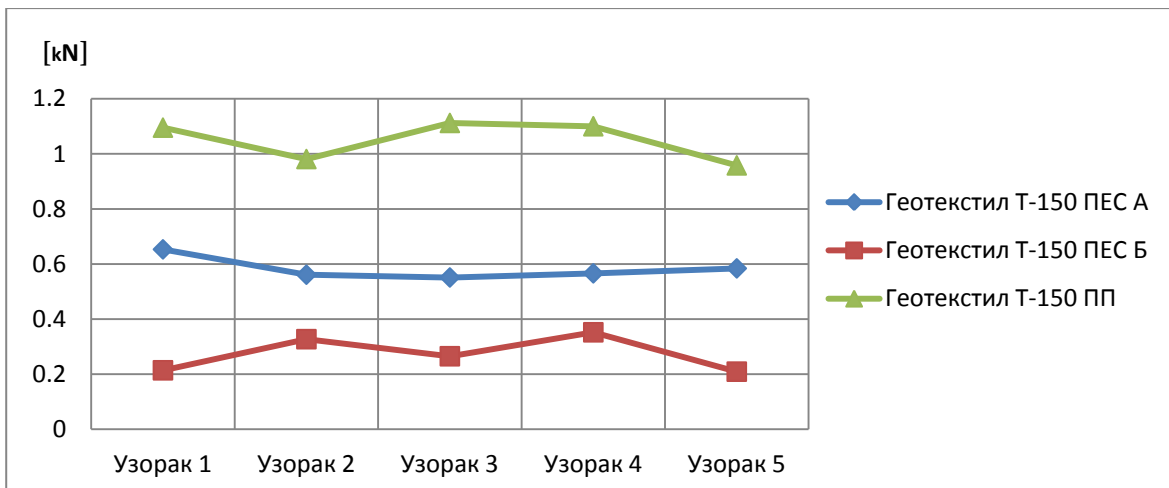
Заједничко за све слике код испитивања максималне силе је да је максимална сила већа по ширини него по дужини у неким случајевима и за више од 100 % и да се геотекстил од полипропилена знатно издваја по јачини од геотекстила израђеног од регуларних и рециклираних полиестарских влакана. Резултати уједно показују да неткани геотекстилни материјали од регуларних ПЕС влакана имају боље прекидне карактеристика од геотекстила формираних од рециклираних ПЕС влакана израђених при истим производно-технолошким условима. Ова разлика указује да квалитет влакана у највећој мери дефинише квалитет геотекстилног материјала.

3.7.3 Резултати одређивања силе на граници еластичних деформација геотекстила

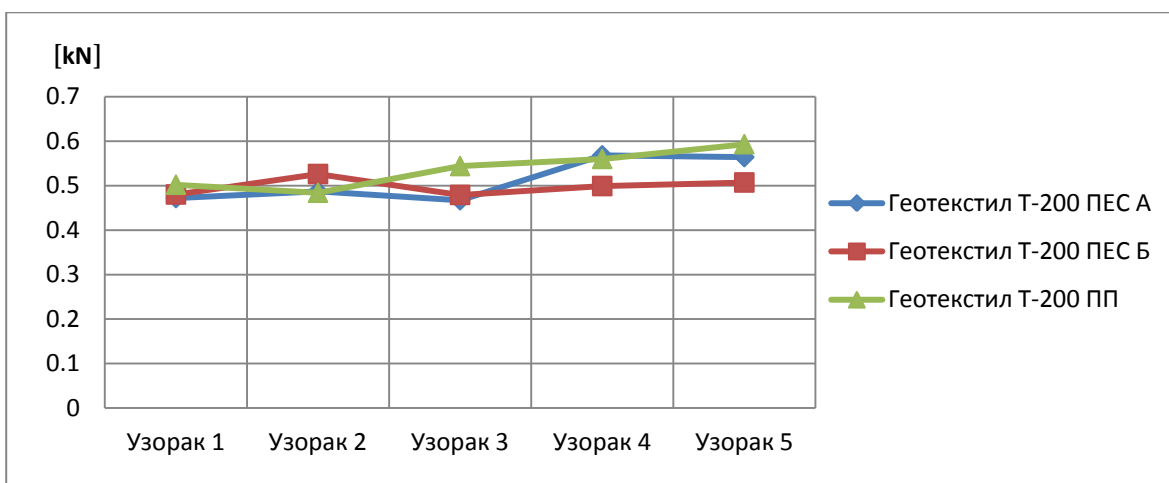
На сликама од 89 до 98 приказани су резултати анализе сила на граници еластичности за геотекстилне материјале од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана.



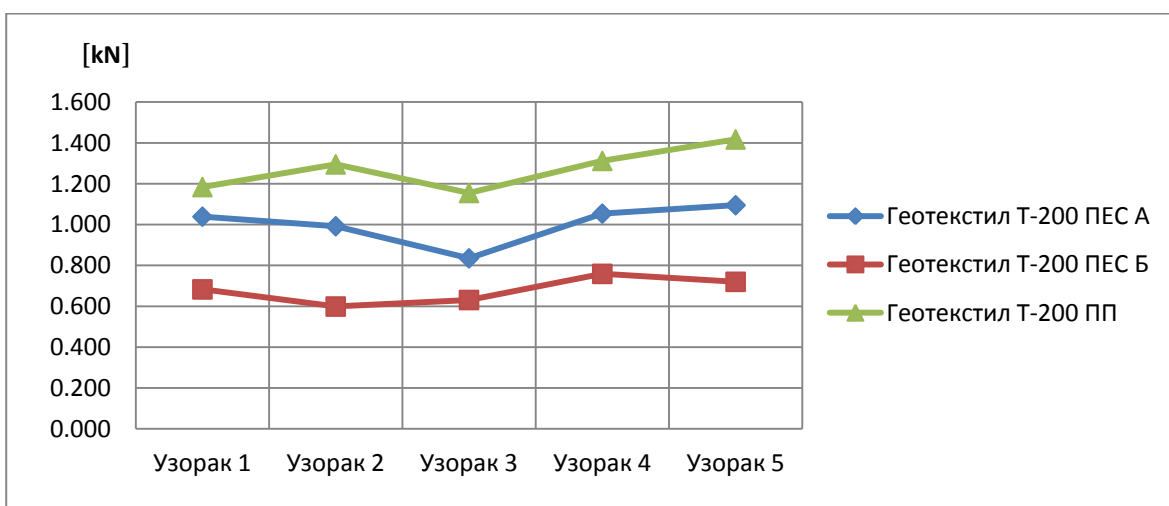
Слика 89. Преглед силе на граници еластичности у правцу дужине за геотекстиле површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



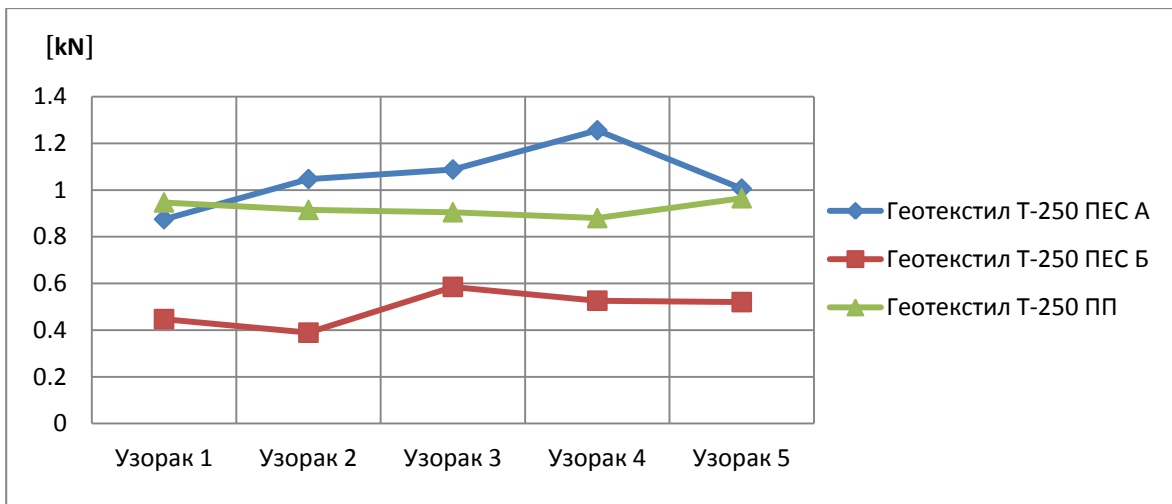
Слика 90. Преглед силе на граници еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



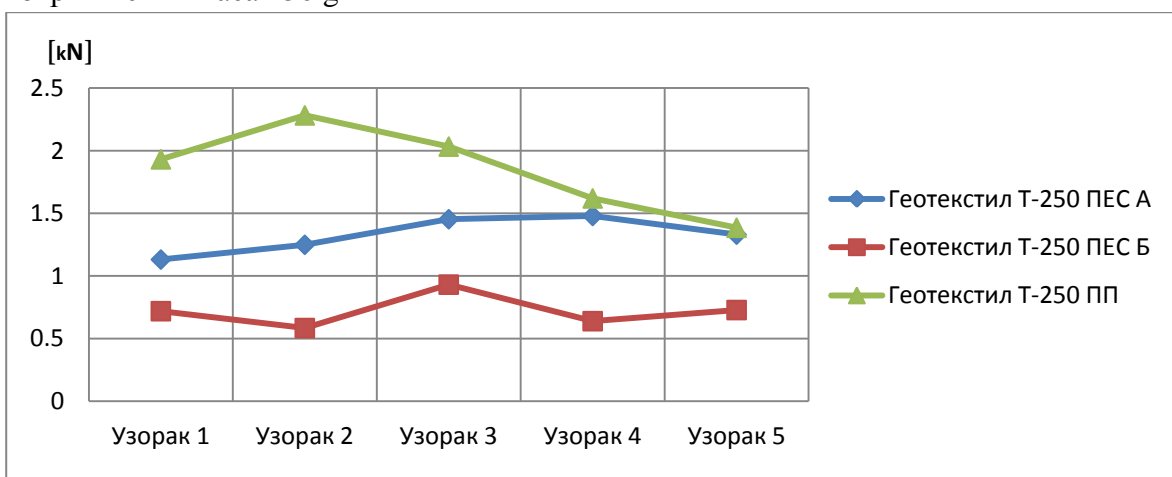
Слика 91. Преглед силе на граници еластичности у правцу дужине за геотекстиле површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



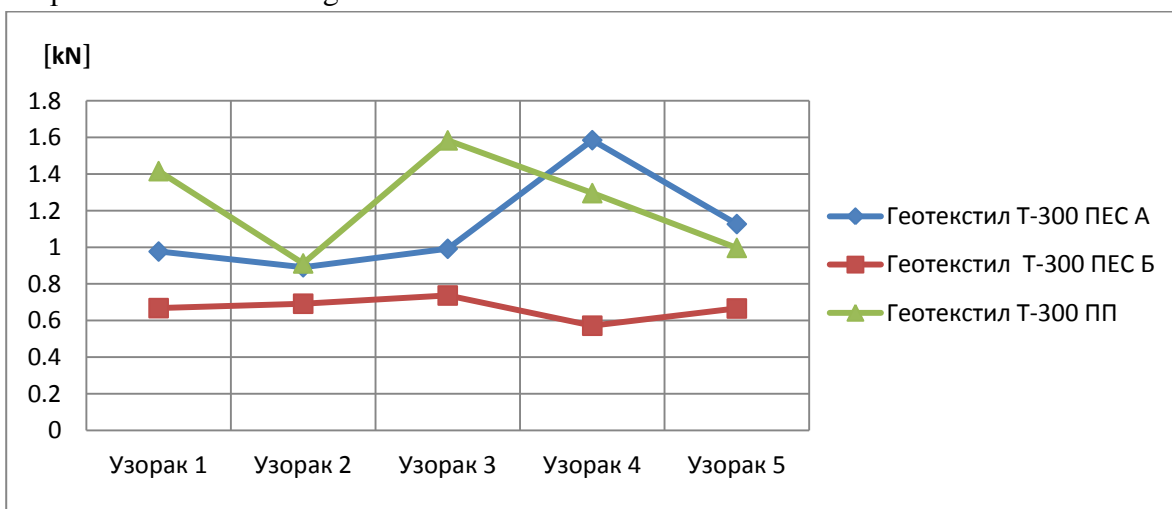
Слика 92. Преглед силе на граници еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



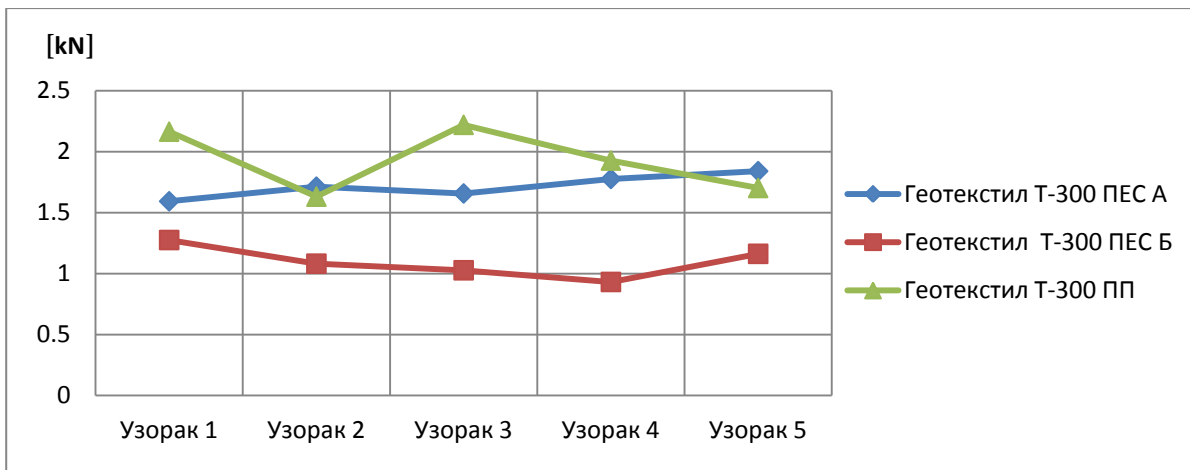
Слика 93. Преглед силе на граници еластичности у правцу дужине за геотекстиле површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



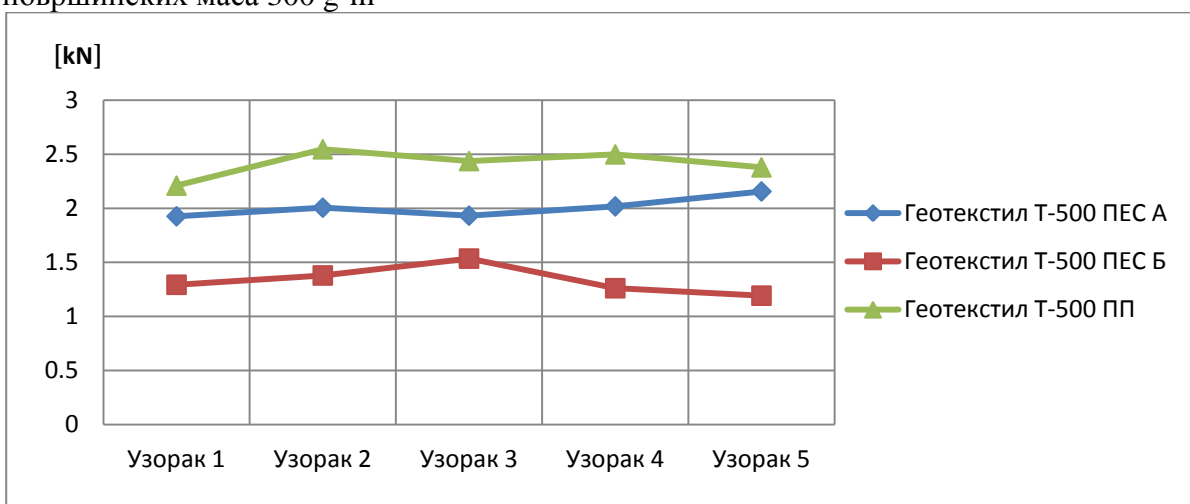
Слика 94. Преглед силе на граници еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



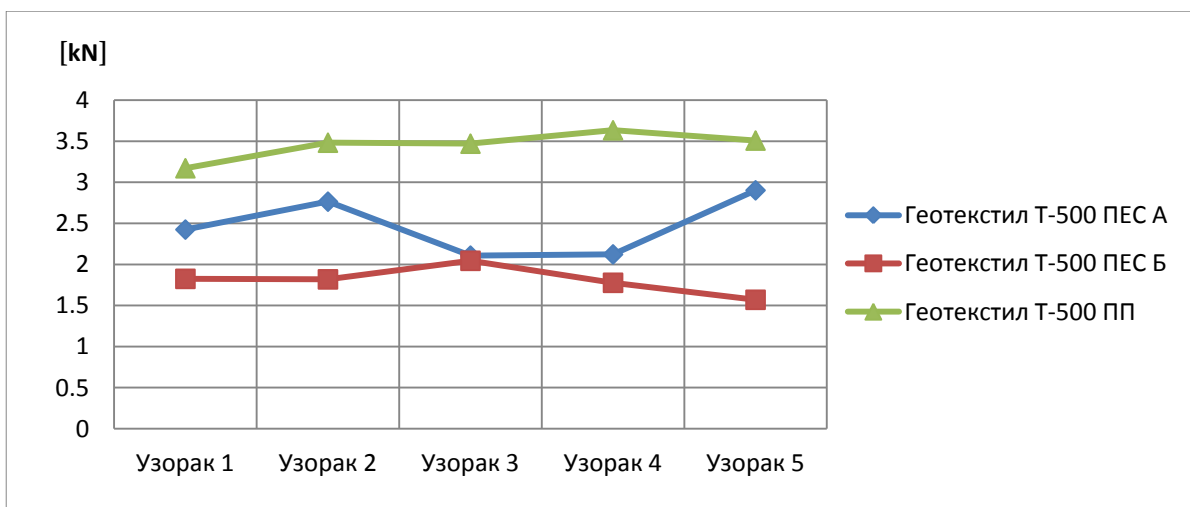
Слика 95. Преглед силе на граници еластичности у правцу дужине за геотекстиле површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 96. Преглед силе на граници еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 97. Преглед силе на граници еластичности у правцу дужине за геотекстиле површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 98. Преглед силе на граници еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Прегледом слика 89 и 90 где су графички приказане вредности сила на граници еластичности по ширини и дужини може се констатовати да геотекстил површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ произведен од полипропиленских влакана има најбоље резултате у оба правца.

Код геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ по дужини (сл. 91) евидентно је да су вредности силе на граници еластичности за све узорке сличне и оне се крећу од 0,45 до 0,6 kN док је код узорака исте површинске масе по ширини разлика евидентнија (сл. 92) и у овом случају узорци од полипропиленских влакана показују највеће вредности силе на граници еластичности.

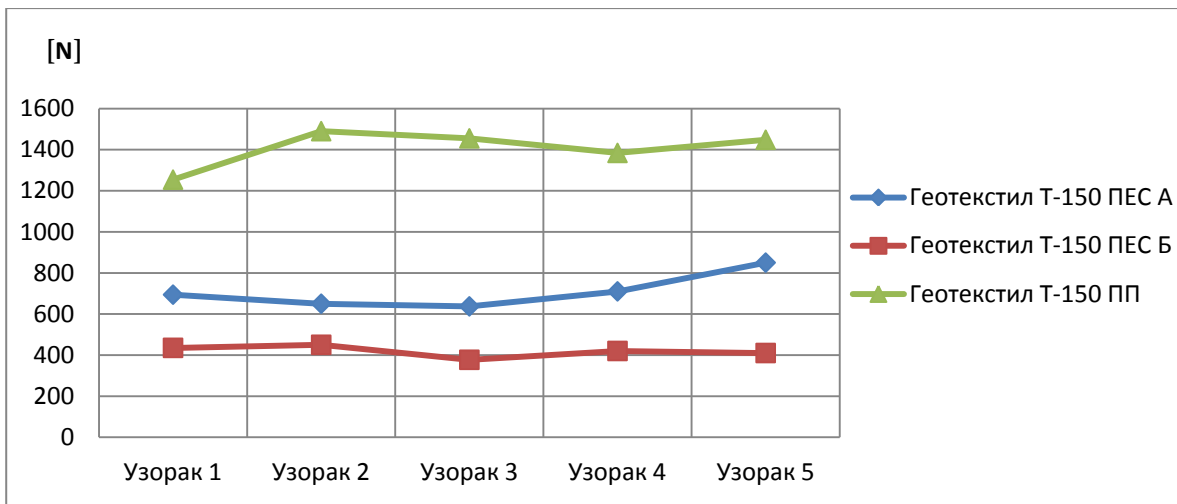
Упоредним прегледом силе на граници еластичности за геотекстиле од $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ по дужини највеће вредности показује геотекстил од ПЕС А влакана а по ширини геотекстил од ПП влакана. У оба случаја геотекстил од ПЕС Б влакана показује најмање вредности (сл. 93 и 94).

На основу приказаних резултата (сл. 95 и 96) установљено је да геотекстил површинске масе од $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ од ПП влакана има највеће вредности силе на граници еластичности у оба анализирана правца али та разлика није знатнија у односу на ПЕС А геотекстиле.

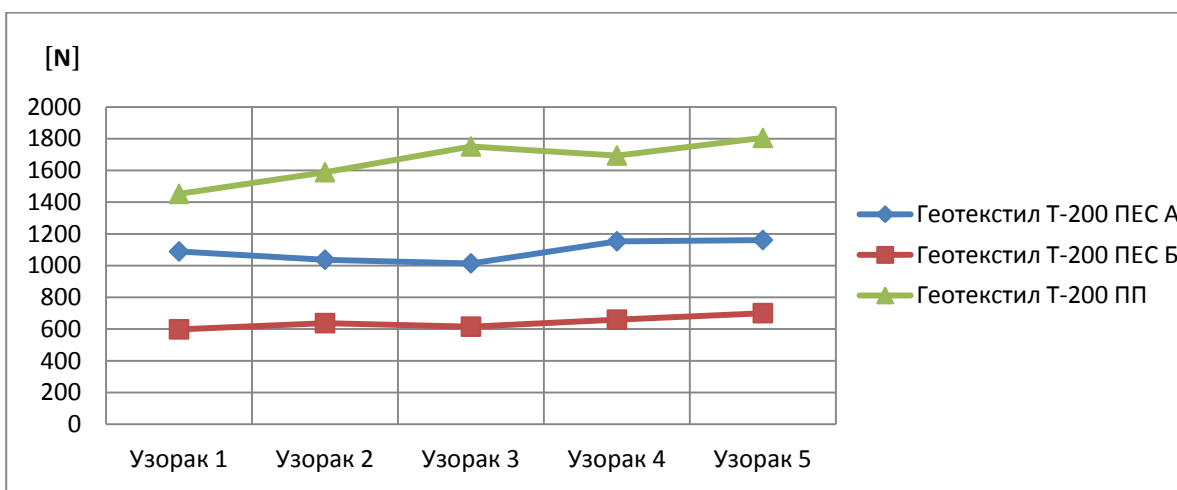
Прегледом силе на граници еластичности за узорке површинске масе од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ евидентна је равномернија разлика између ПЕС А, ПЕС Б и ПП геотекстила по дужини и ширини где највеће вредности бележи геотекстил од полипропиленских влакана а најниже геотекстил од рециклираних полиестарских влакана (сл. 97 и 98).

3.8 Резултати мерења силе пробијања геотекстила

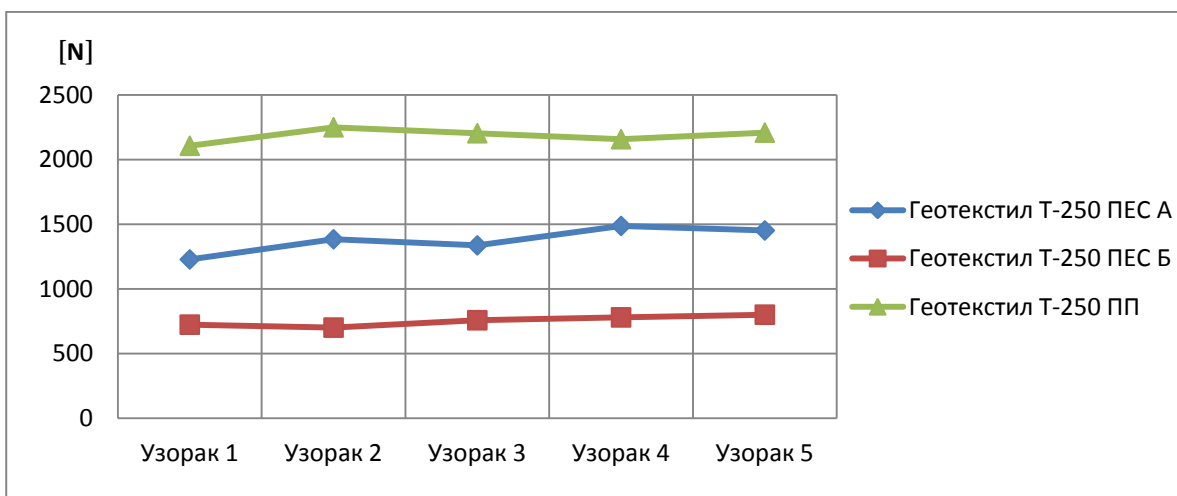
На сликама од 99 до 103 приказани су резултати мерења сила пробијања анализираних геотекстилних материјала



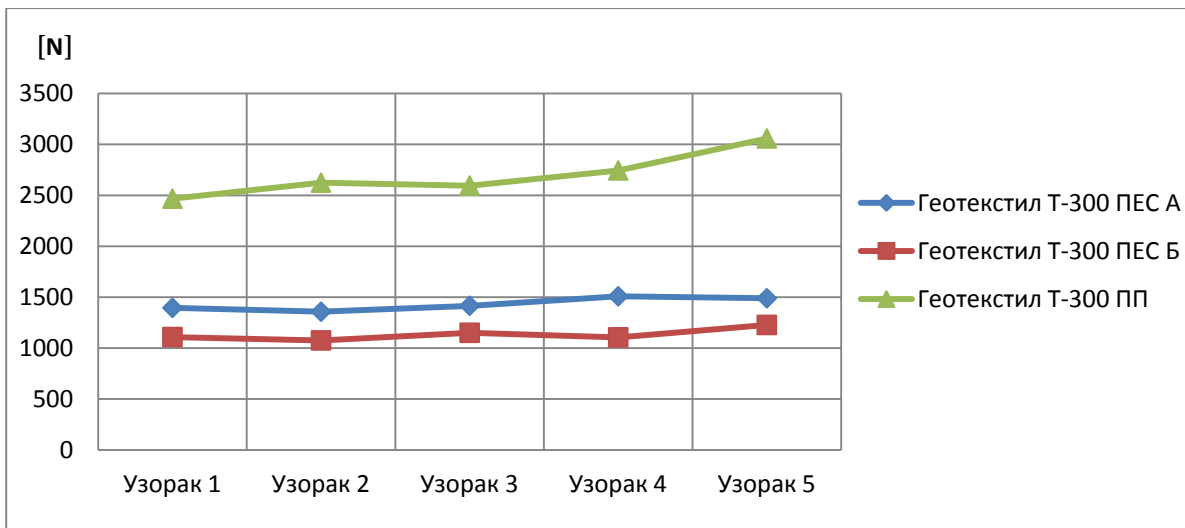
Слика 99 . Упоредни преглед силе пробијања за геотекстиле површинске масе $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



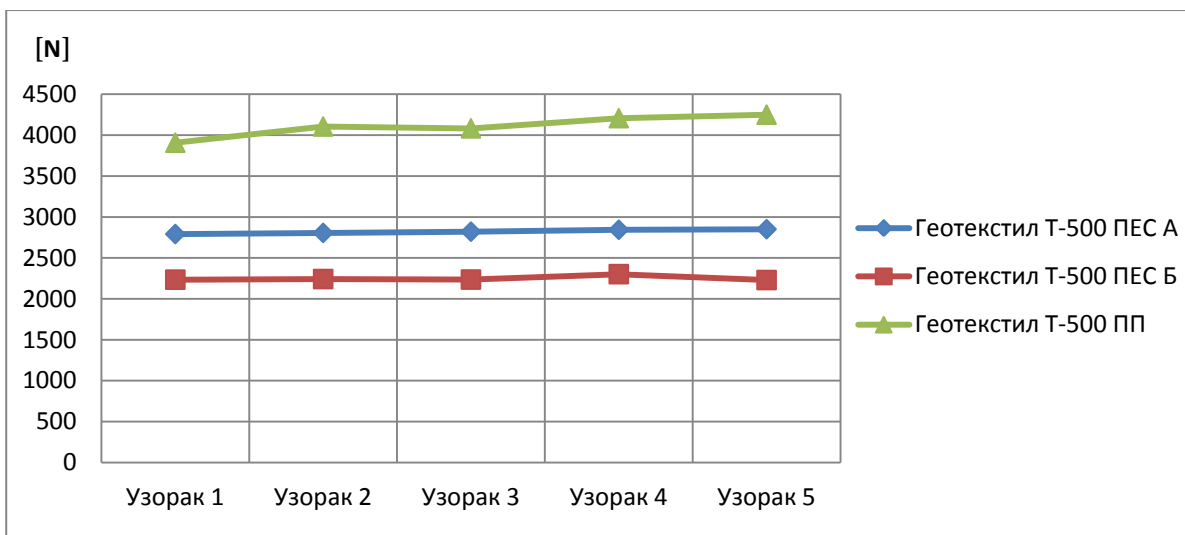
Слика 100. Упоредни преглед силе пробијања за геотекстиле површинске масе $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



Слика 101. Упоредни преглед силе пробијања за геотекстиле површинске масе $250 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

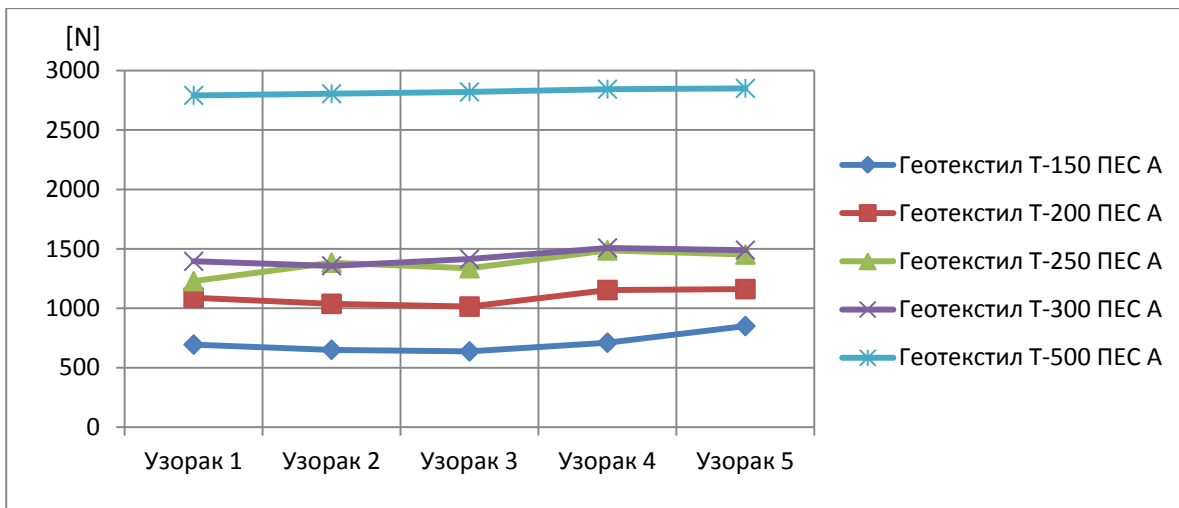


Слика 102. Упоредни преглед силе пробијања за геотекстиле површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

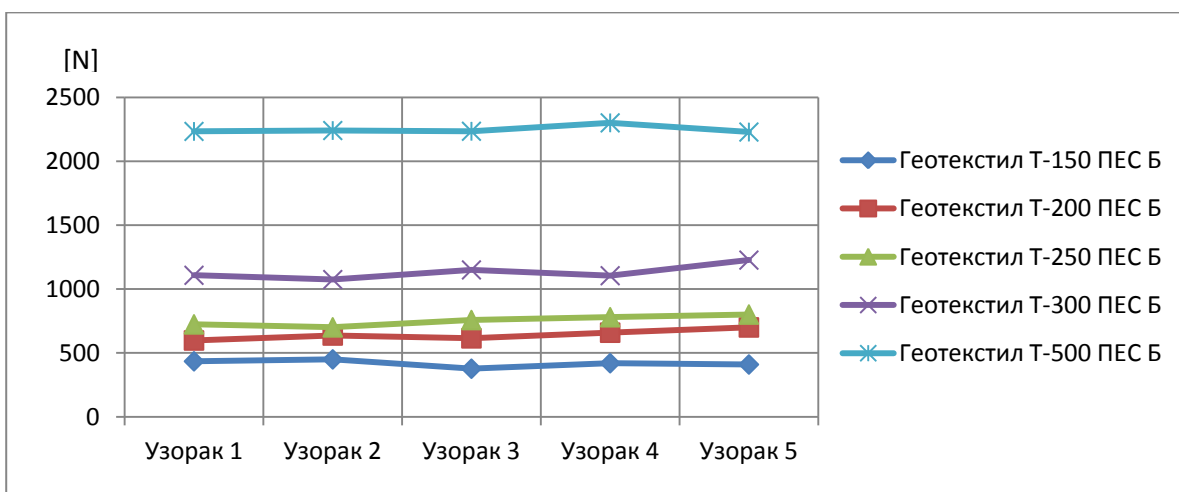


Слика 103. Упоредни преглед силе пробијања за геотекстиле површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

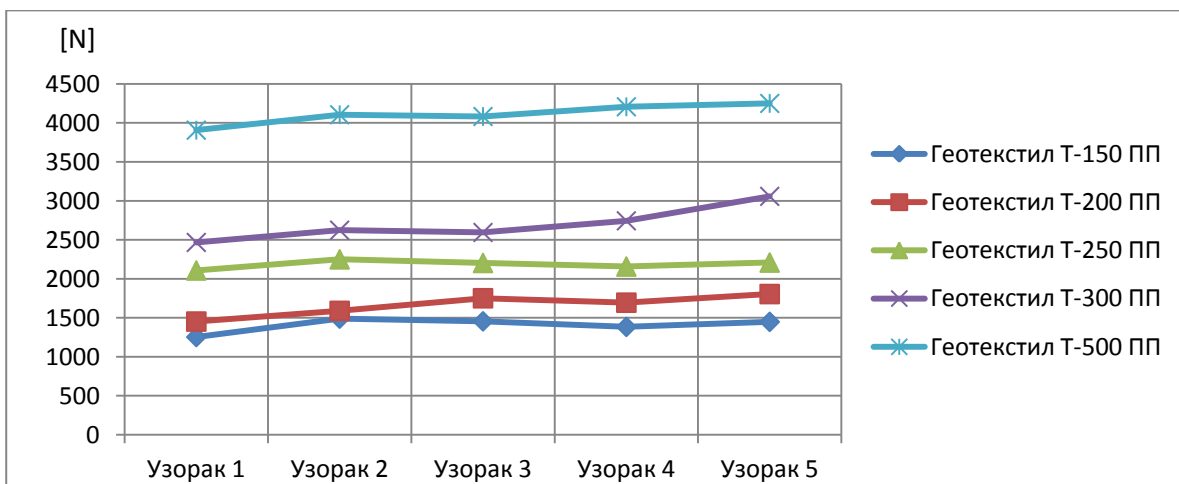
На сликама од 104 до 106 приказани су упоредни прегледи сила пробијања геотекстила истих сировинских састава али различитих површинских маса.



Слика 104. Преглед сила пробијања геотекстила од ПЕС А влакана



Слика 105. Преглед сила пробијања геотекстила од ПЕС Б влакана



Слика 106. Преглед сила пробијања геотекстила од ППІ влакана

Сила пробијања за геотекстил површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ израђеног од ПЕС А влакана у просеку је за 69,3 % већа у односу на ПЕС Б геотекстил а геотекстил од ПП влакана има за 98,6 % веће вредности сила пробијања од геотекстила израђеног од ПЕС А геотекстила (сл. 99). ПЕС А геотекстил од $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ има веће вредности од ПЕС Б геотекстила у просеку за 70,2 % а ПП геотекстил има за 52 % веће вредности у односу на ПЕС А геотекстил (сл. 100). Код геотекстила од $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ израђеног од ПЕС А влакана вредности сила пробијања су веће за 82,9 % од ПЕС Б геотекстила, ПП геотекстил има у просеку за око 58,7 % веће вредности силе пробијања у односу на ПЕС А геотекстил (сл. 101). Геотекстил од $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ израђен од ПЕС А влакана има у просеку за 26,5 % веће вредности силе пробијања у односу на ПЕС Б а ПП геотекстил има за око 88,3 % веће вредности у односу на ПЕС А геотекстил (сл. 102). Геотекстил од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ израђен од ПЕС А влакана има у просеку за 25,5 % веће вредности у односу на ПЕС Б геотекстил а ПП геотекстил има за око 45,6 % веће вредности у односу на ПЕС А геотекстил (сл. 103).

На основу приложених резултата испитивања силе статичког пробијања (CBR) за геотекстиле а посматрајући процентуалне разлике у јачини код ПЕС А и ПЕС Б геотекстила може се константовати да се разлика у јачини геотекстила са порастом површинске масе по m^2 смањује и са разликом од око 69,3 % код средњих вредности површинских маса од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ опада на око 26 % код геотекстила од 300 и $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, док је разлика у односу ПЕС А и ПП геотекстила са мањим осцилацијама и са почетне разлике од око 98,6 % код геотекстила од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ опада на 45,6 % код геотекстила од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Такође на основу приказаних процентуралних разлика средњих вредности силе пробијања за ПЕС А, ПЕС Б и ПП геотекстиле може се закључити да највећу силу пробијања има геотекстил ПП, затим осетно ниже вредности има ПЕС А геотекстил а најниже вредности бележи геотекстил произведен од рециклираних полиестарских влакана (ПЕС Б).

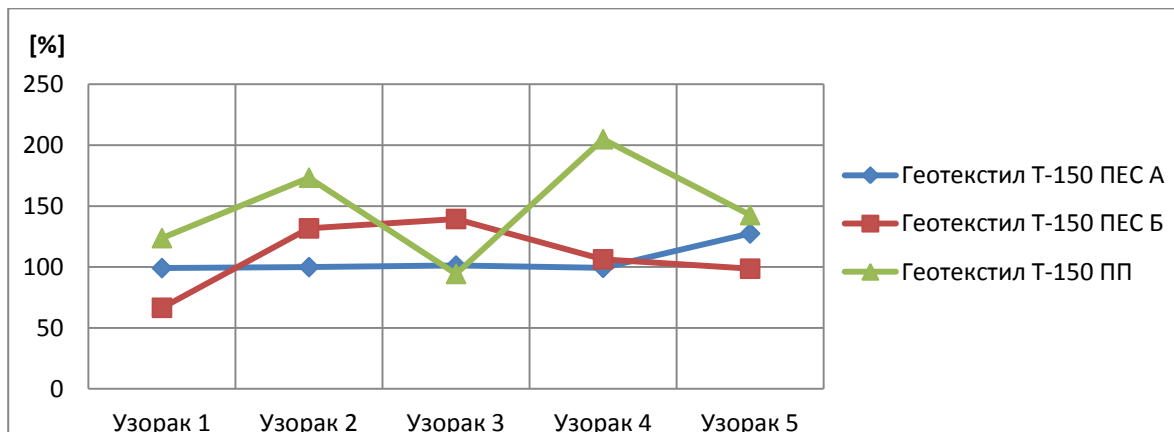
Анализом резултата мерења може се констатовати да са порастом површинске масе геотекстила долази и до пораста силе пробијања. Такође се може констатовати да разлика у површинској маси у оквиру дозвољених толеранција од 10 % нема значајан утицај на промене силе пробијања.

Добијени резултати анализе сила пробијања нетканих игланих геотекстила могу послужити за правилан одабир геотекстила сагласно будућој намени.

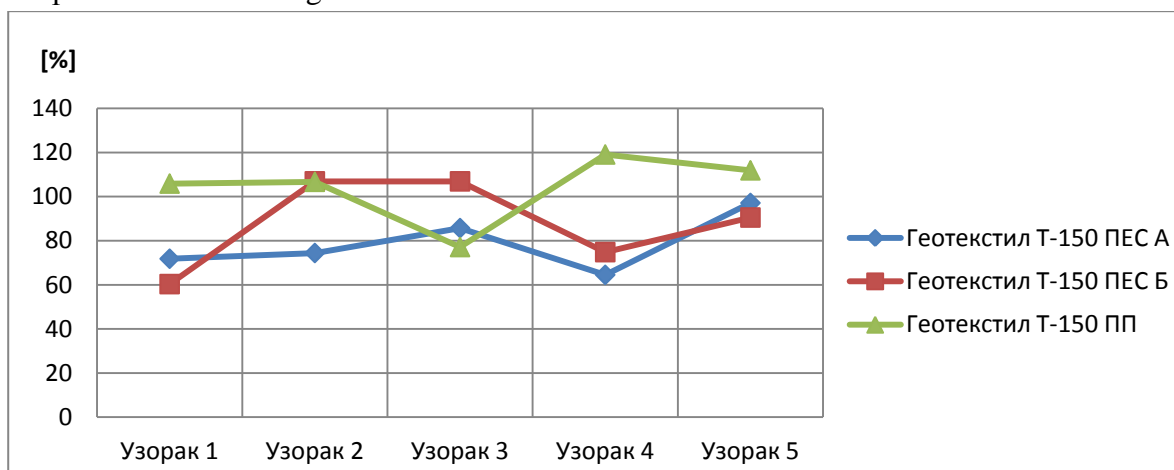
3.9 Резултати мерења издужења при затезању геотекстила

Значајна карактеристика нетканог геотекстилног материјала је његово прекидно издужење.

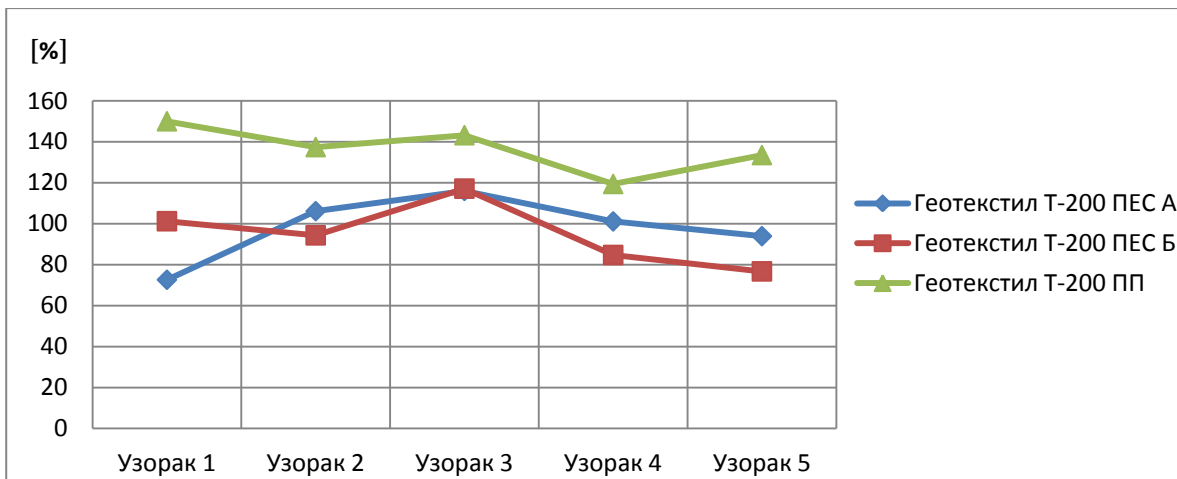
На сликама од 107 до 116 приказани су резултати прекидних издужења геотекстила од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана.



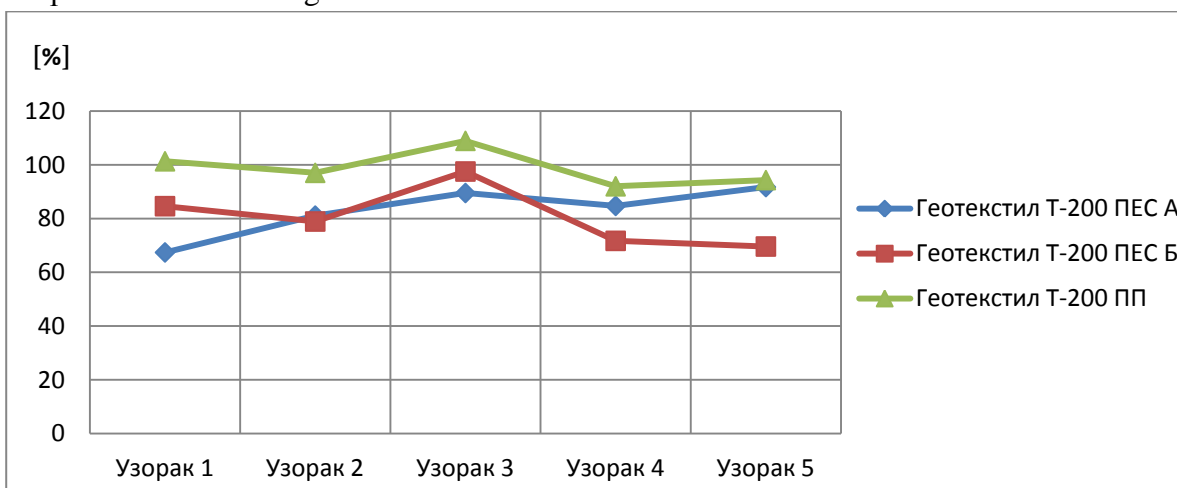
Слика 107. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу дужине површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



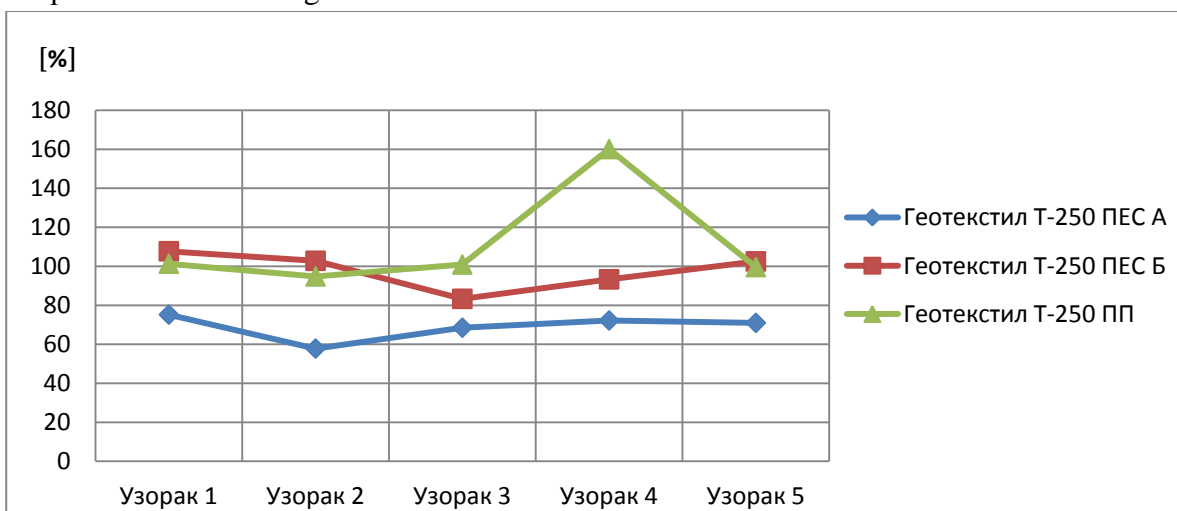
Слика 108. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу ширине површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



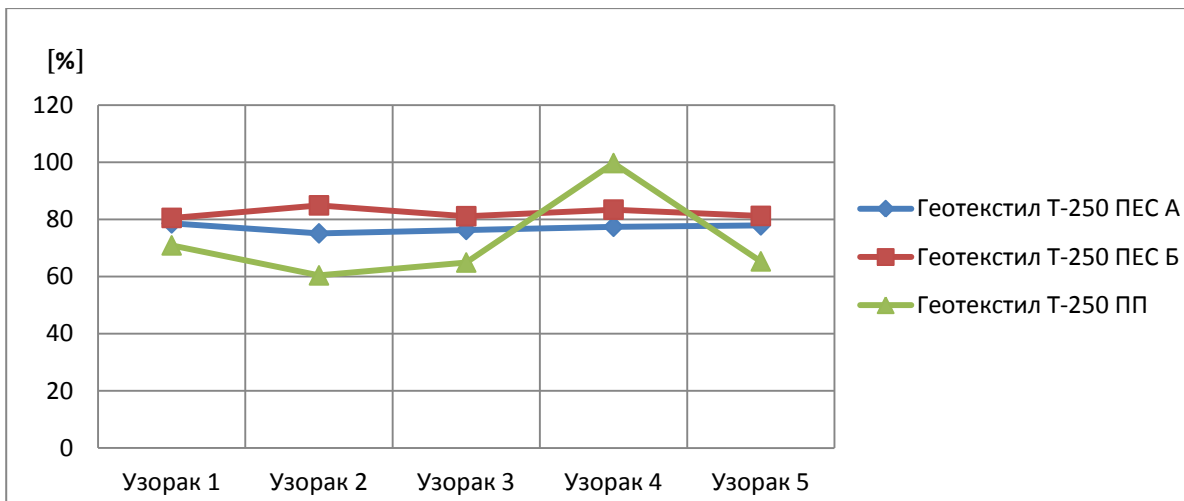
Слика 109. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу дужине површинске масе $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



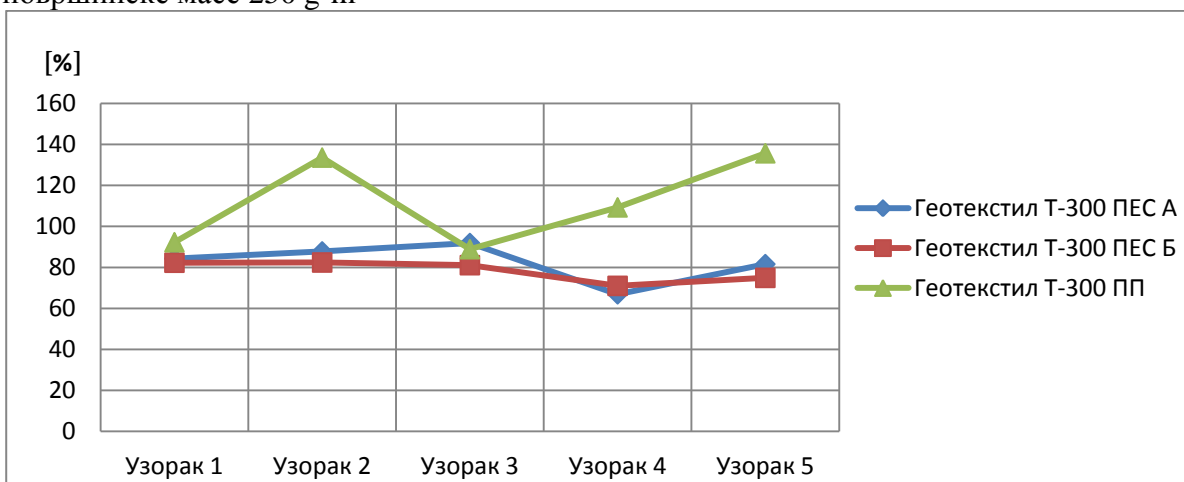
Слика 110. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу ширине површинске масе $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



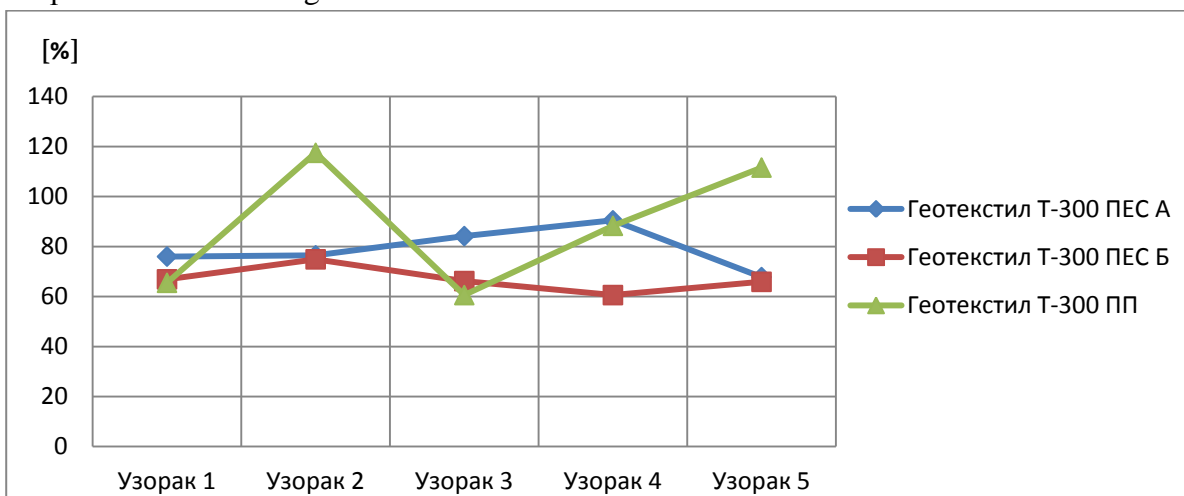
Слика 111. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу дужине површинске масе $250 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



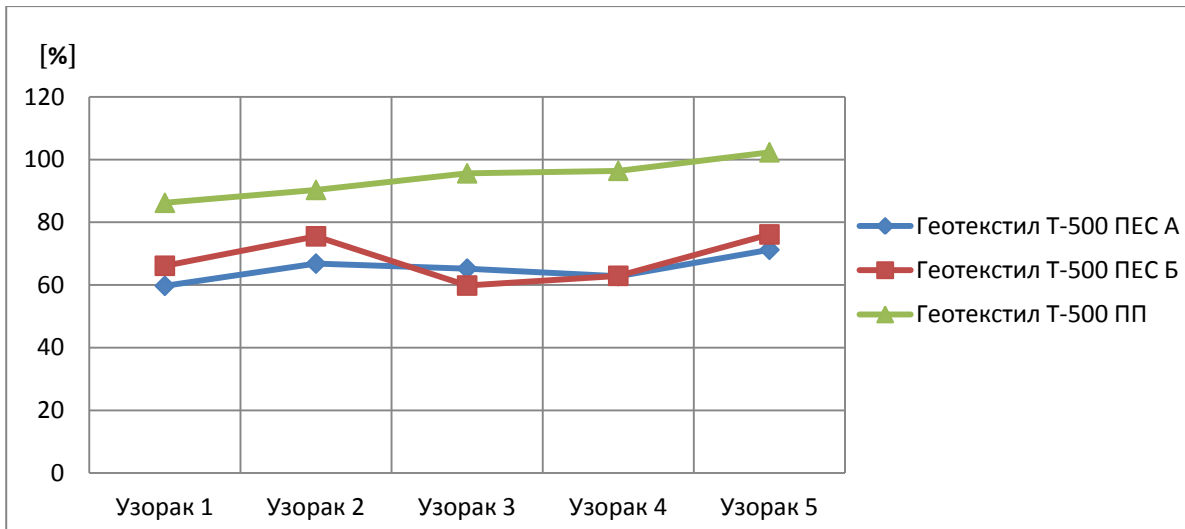
Слика 112. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу ширине површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



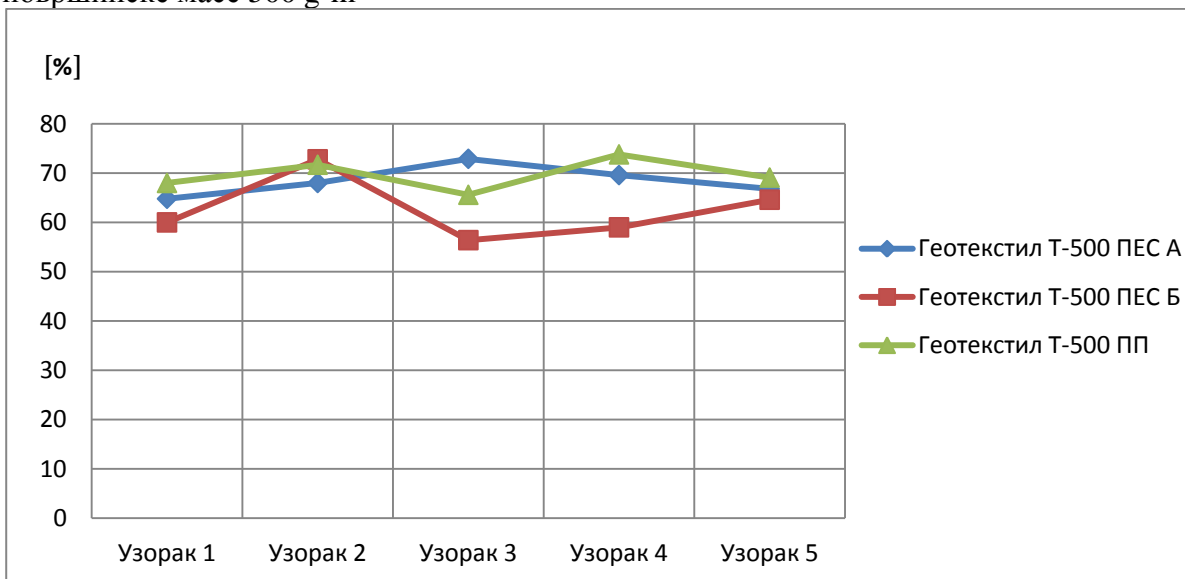
Слика 113. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу дужине површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 114. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу ширине површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

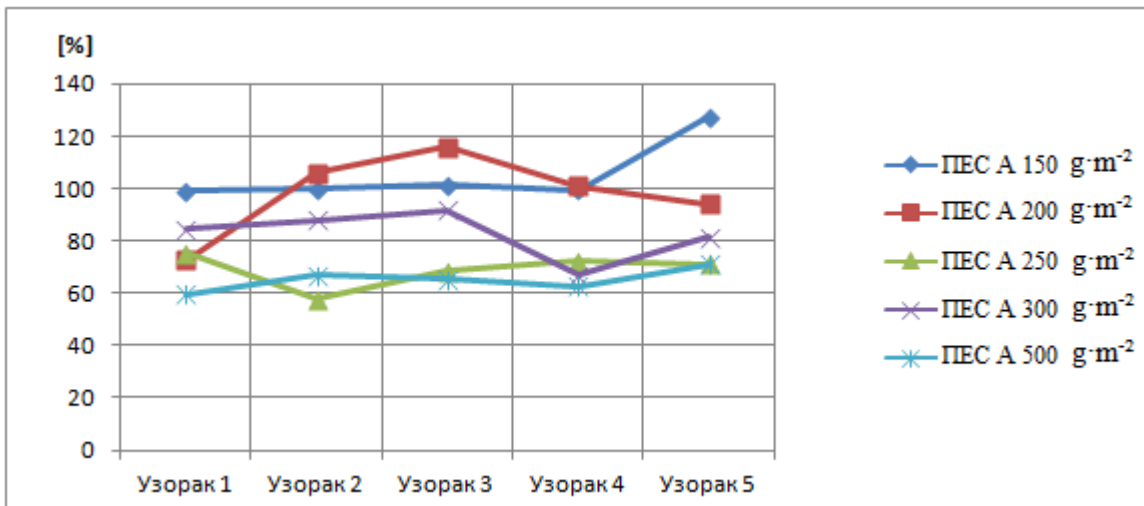


Слика 115. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу дужине површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

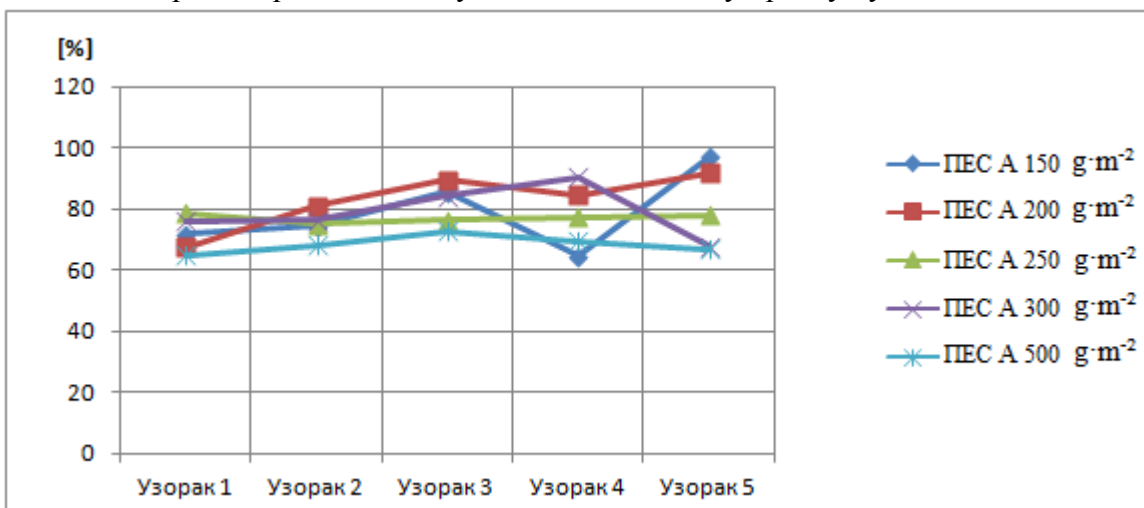


Слика 116. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу ширине површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

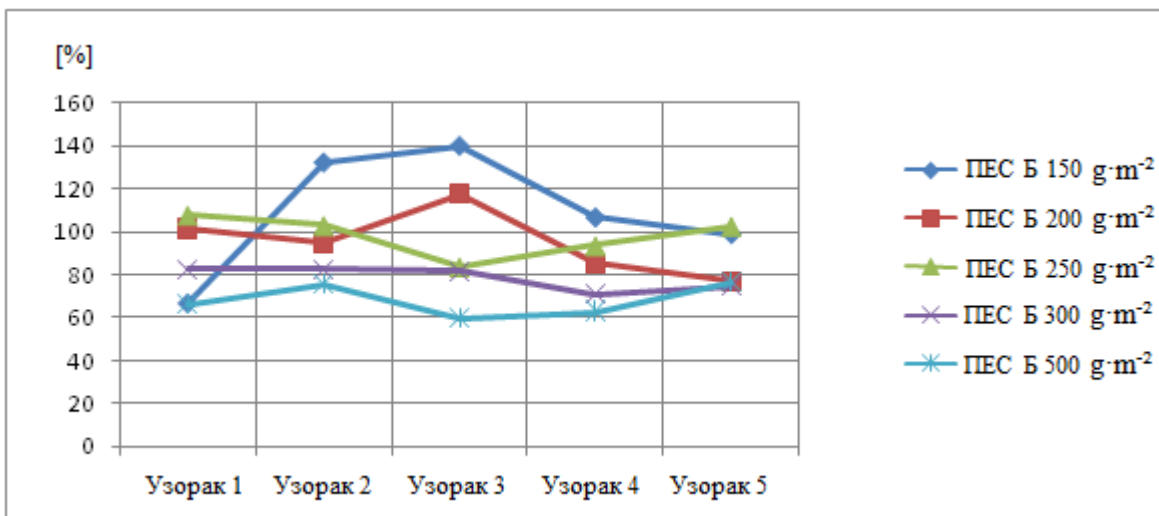
На сликама од 117 до 122 приказан је упоредни преглед прекидних издужења за геотекстилне материјале различитих површинских маса.



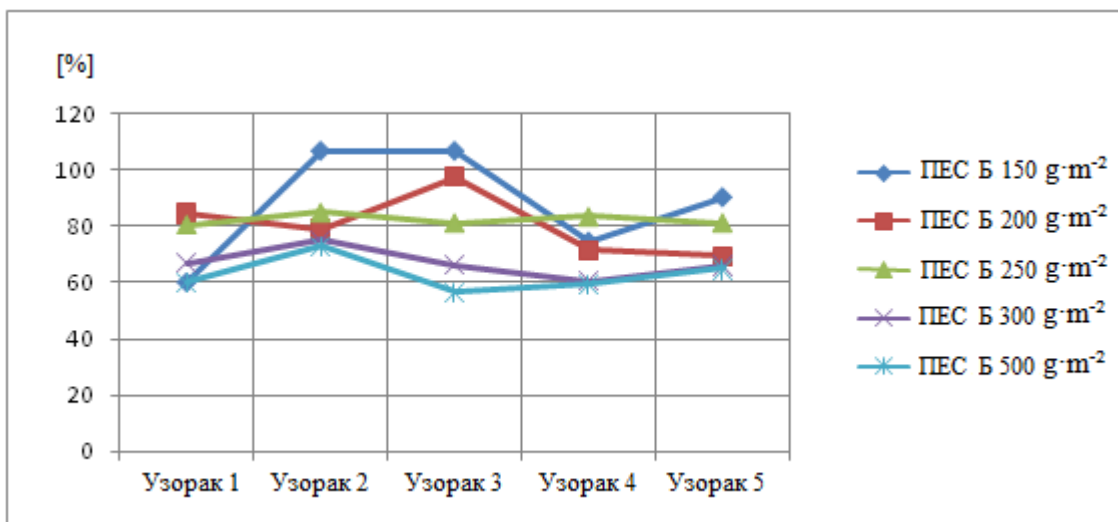
Слика 117. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу дужине



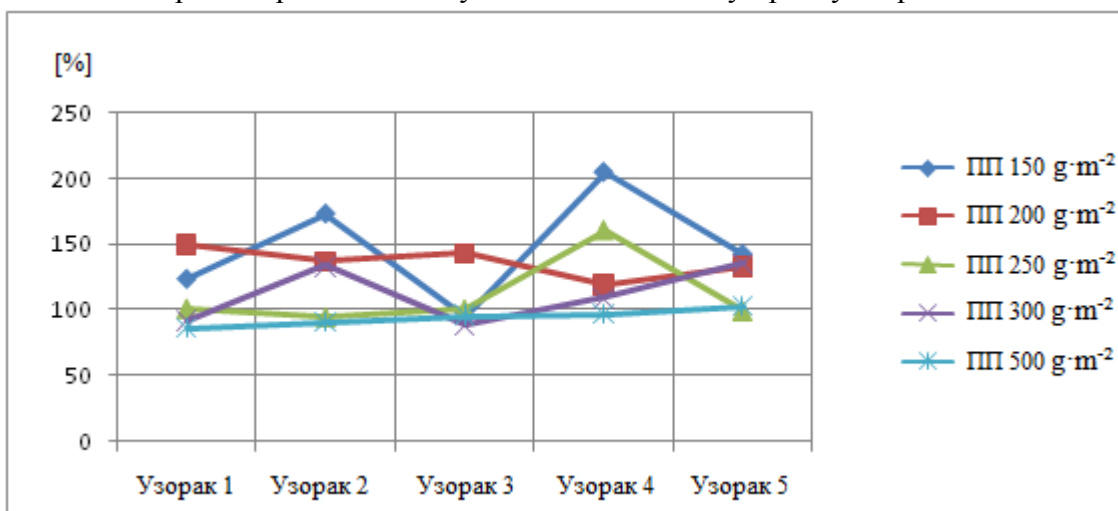
Слика 118. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу ширине



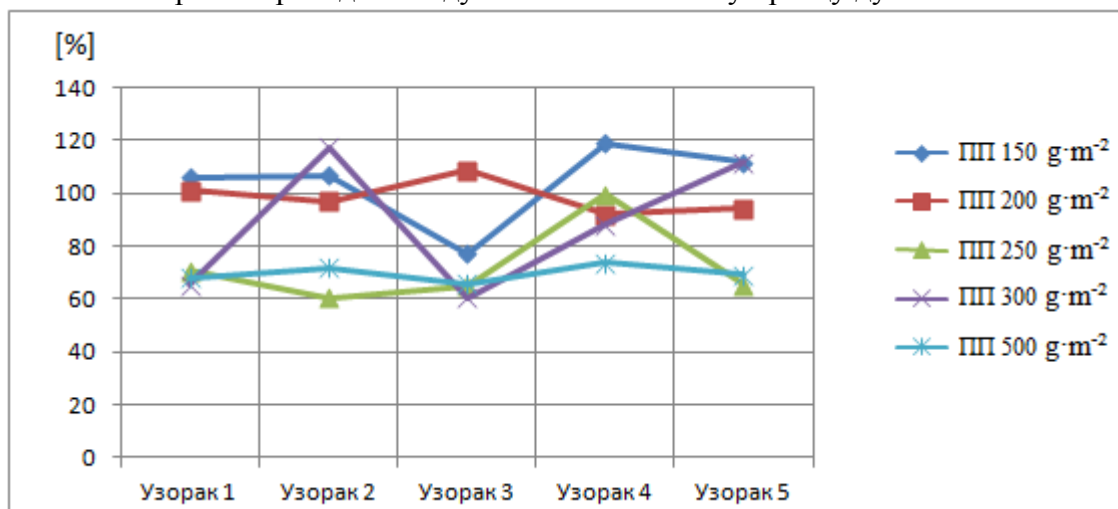
Слика 119. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу дужине



Слика 120. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу ширине



Слика 121. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу дужине



Слика 122. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу ширине

Посматрајући слику 107 и прегледом прекидних издужења по дужини за геотекстиле површинске масе од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ може се констатовати да највећи проценат издужења имају узорци 1, 2, 4 и 5 геотекстила од ПП влакана, док у правцу ширине (сл. 108) највећи проценат издужења имају узорци 1, 4, и 5. По ширини и дужини узорак 3 геотекстила од ПЕС Б влакана показује највећи проценат издужења.

На сликама 109 и 110 уочава се да у оба анализирана правца геотекстил површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ од ПП влакана има највеће вредности прекидних издужења док најниже вредности има ПЕС Б геотекстил.

Прегледом прекидних издужења у правцу дужине за геотекстил од $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ највећи проценат издужења показује ПЕС Б геотекстил код узорака 1, 2 и 5 (сл. 111) док код узорака 3 и 4 највеће вредности има геотекстил од полипропилена с тим што је код узорка 4 та разлика израженија у односу на све остале узорке. По ширини ПЕС Б геотекстил има највеће прекидно издужење осим код узорка 4 где највећи проценат издужења показује ПП геотекстил (сл. 112).

Посматрајући слику 113 где су приказане вредности за геотекстил од $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ по дужини евидентно је да се истиче ПП геотекстил, док најниже вредности има ПЕС Б геотекстил са нешто мањим процентом издужења од ПЕС А геотекстила. По ширини (сл. 114) ПП геотекстил показује знатно веће вредности прекидног издужења код узорака 2 и 5 од осталих геотекстила, док код узорка 1, 3 и 4 нешто веће вредности издужења показује ПЕС А у односу на ПП геотекстил.

Прегледом вредности прекидних издужења за геотекстил од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ по дужини издваја се ПП геотекстил, док ПЕС А и ПЕС Б имају релативно приближне вредности (сл. 115). По ширини код узорка 1, 4 и 5 регистровано је нешто веће прекидно издужење ПП геотекстила у односу на ПЕС А, док ПЕС Б геотекстил има најнижи проценат издужења (сл. 116).

Прегледом слике 117 на којима су приказана прекидна издужења у правцу дужине свих узорака од ПЕС А влакана и свих пет површинских маса, може се констатовати да узорци од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ имају највећи проценат издужења док узорци од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ имају најмањи проценат издужења. Сличне вредности су приказане на слици 118 где најниже вредности издужења у правцу ширине има геотекстил од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ док ПЕС А од $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ имају највише узорака који показују највећи проценат издужења.

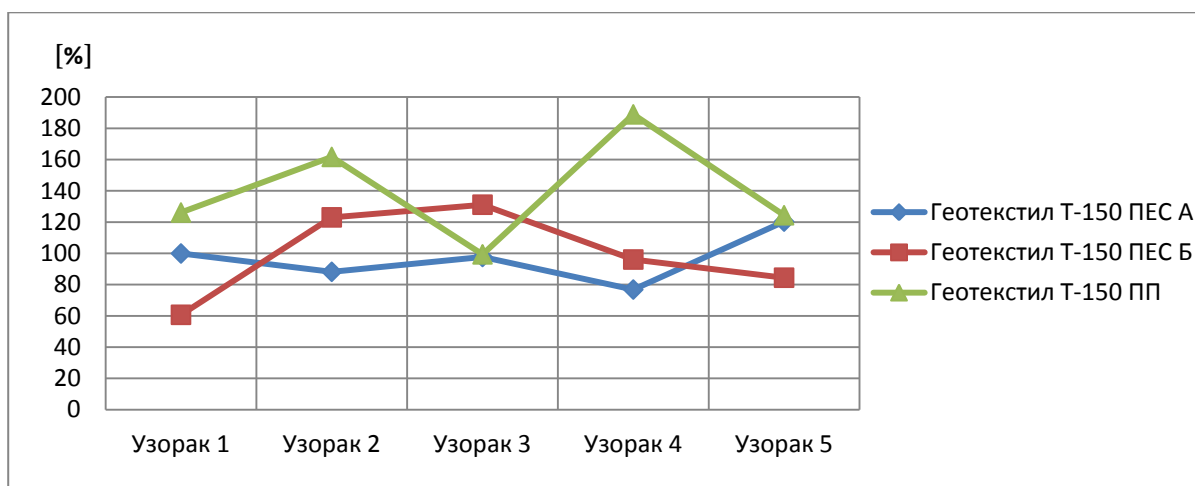
Код узорака ПЕС Б (сл. 119 и 120) такође узорци са највећом површинском масом имају најмањи проценат издужења при прекиду док узорци површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ имају највећи проценат издужења.

ПП геотекстили веће површинске масе (сл. 121) имају мање вредности прекидних издужења у правцу дужине. Слична ситуација је и по ширини (сл. 122) с тим што нешто већи проценат прекидног издужења измерен код узорака 2 и 5 геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

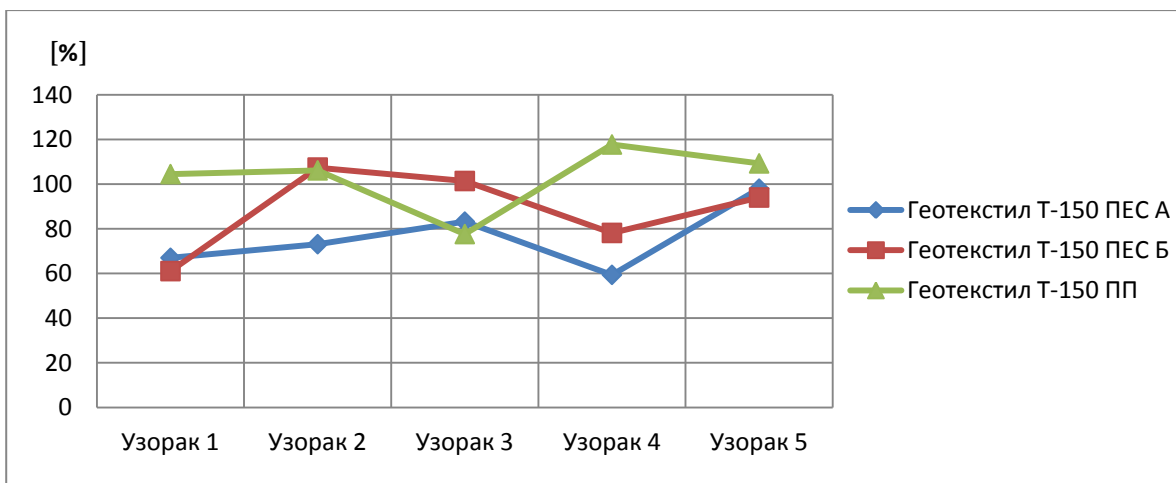
Прегледом слика од 117 до 122 може се јасно закључити да са порастом површинске масе опада проценат прекидног издужења геотекстила. Такође се може констатовати да разлика у површинској маси у оквиру дозвољених одступања од 10 % не утиче значајно на вредности прекидних издужења геотекстилних материјала.

3.9.1 Резултати мерења издужења при максималаној сили затезања геотекстила

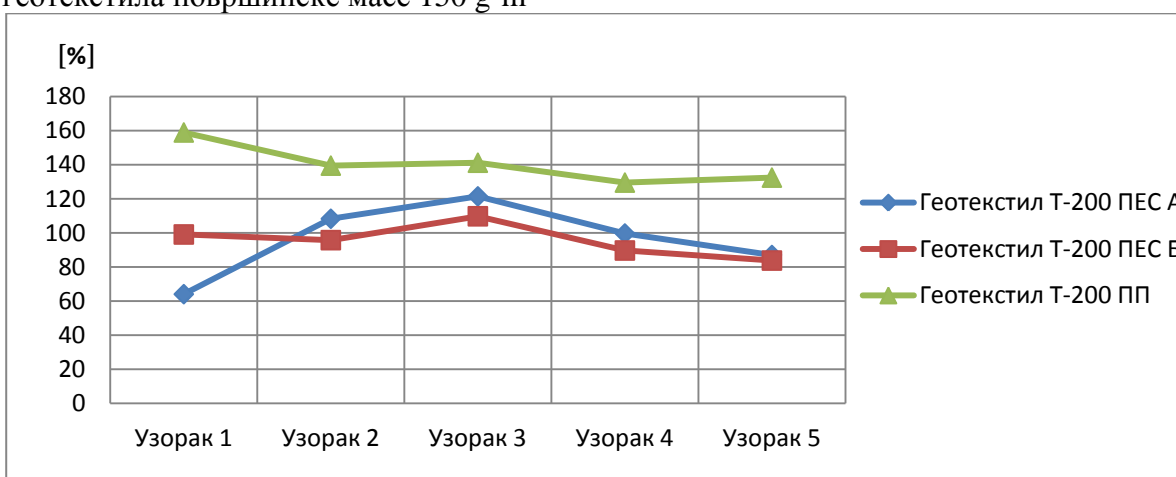
На сликама од 123 до 132 приказани су резултати издужења геотекстила од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана при максималној сили.



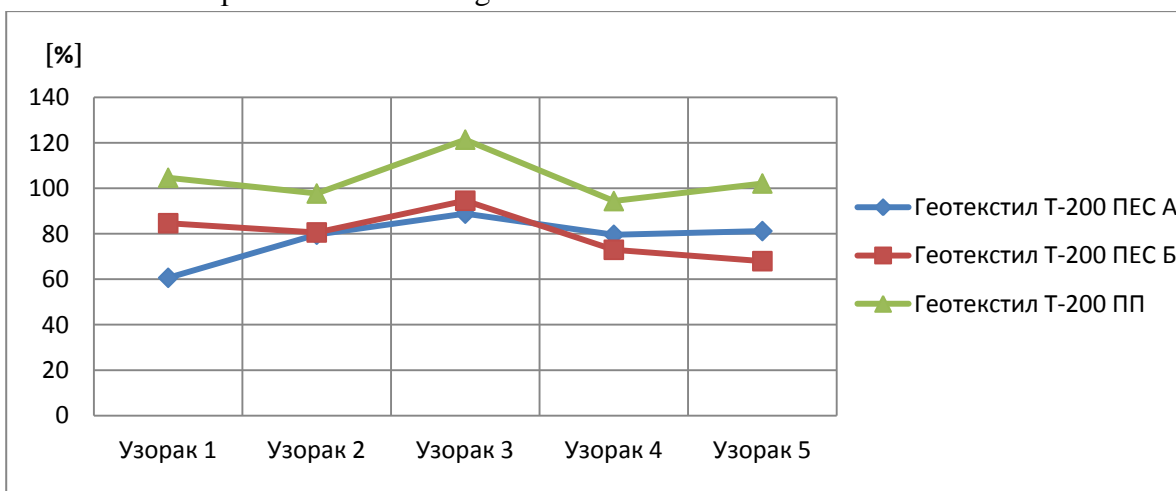
Слика 123. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу дужине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



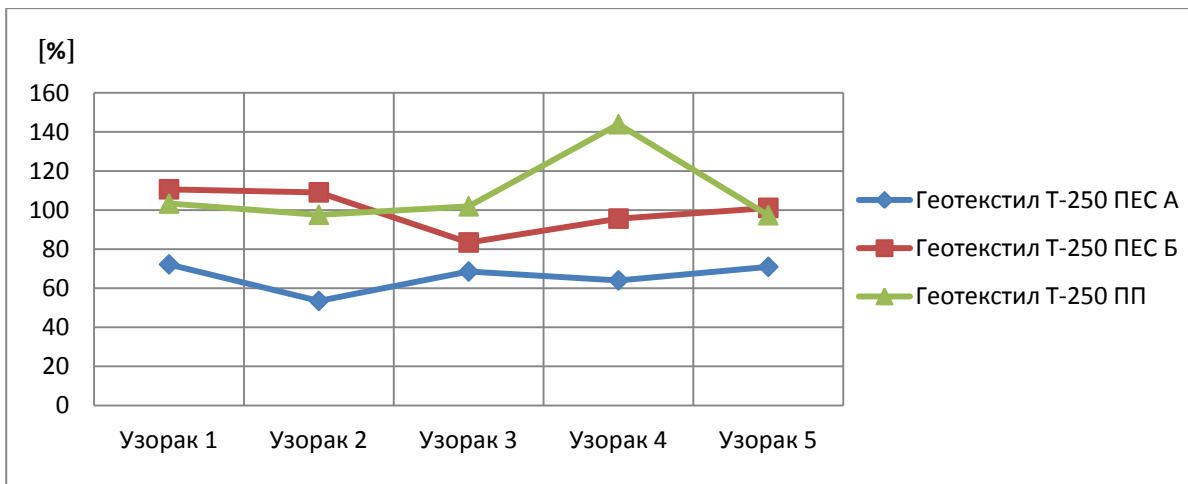
Слика 124. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу ширине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



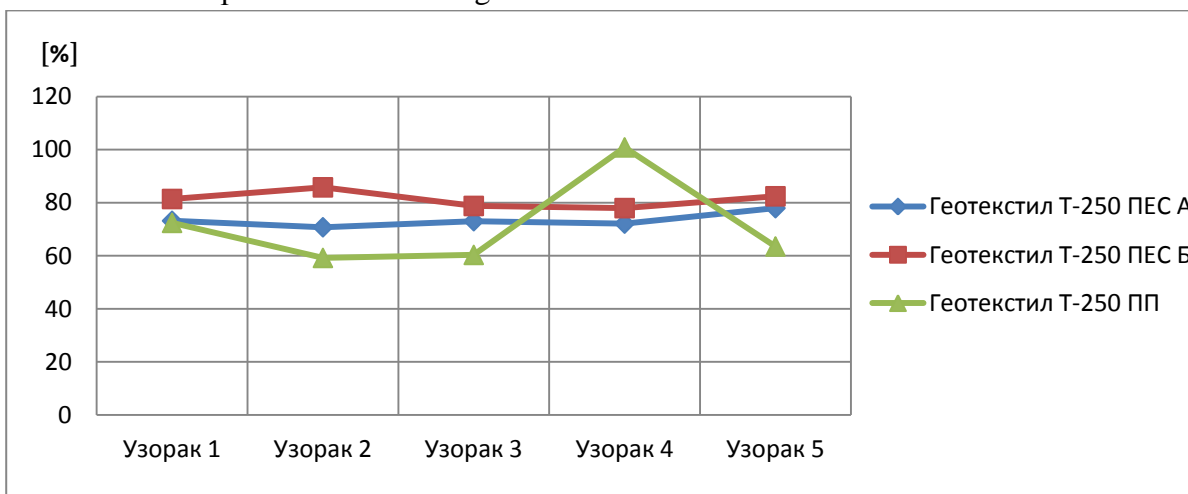
Слика 125. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу дужине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



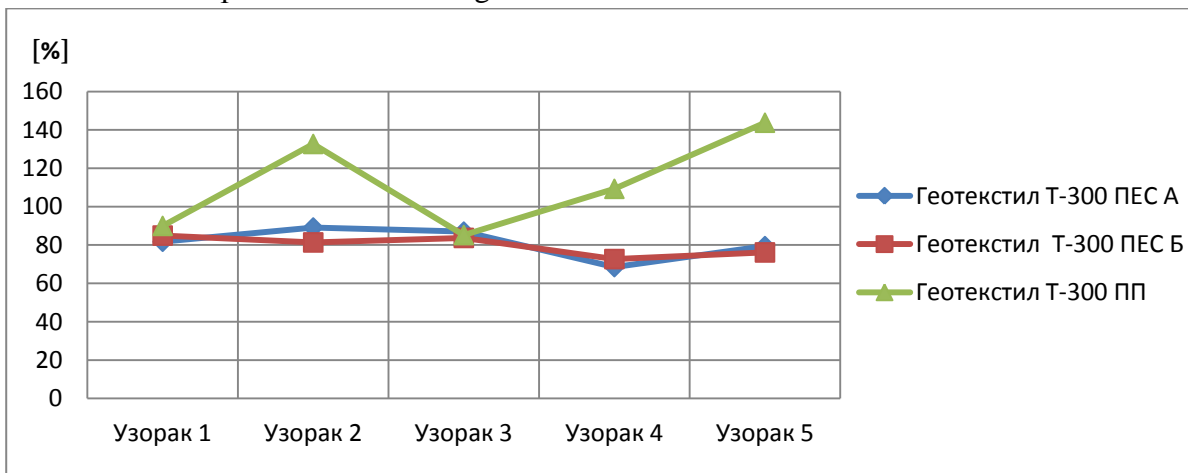
Слика 126. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу ширине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



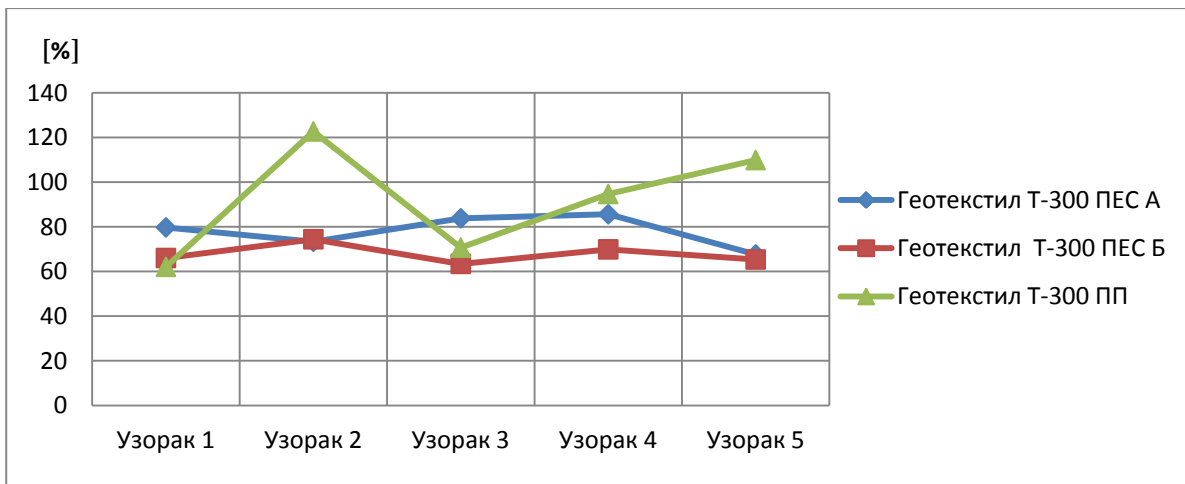
Слика 127. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу дужине геотекстила површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



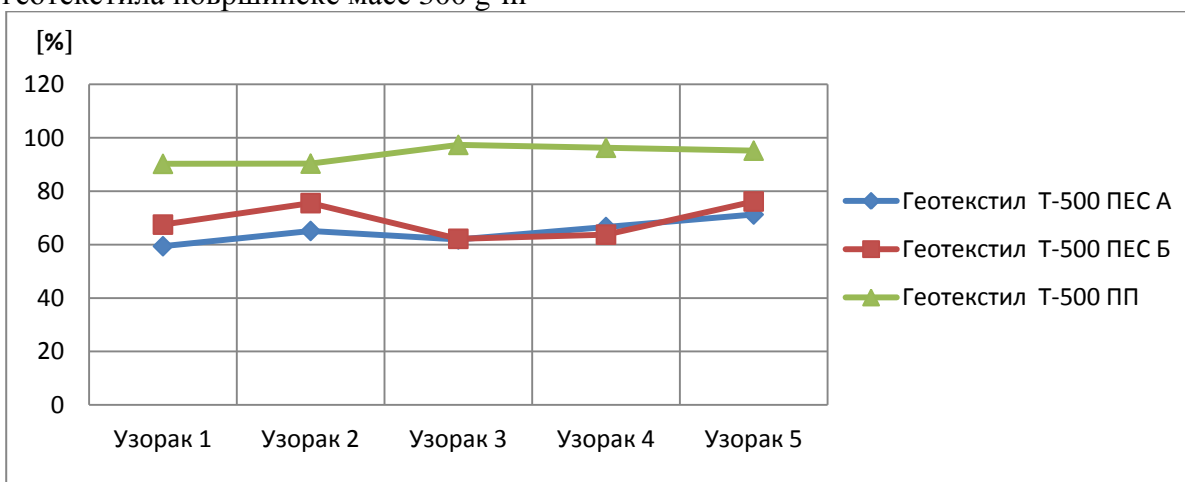
Слика 128. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу ширине геотекстила површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



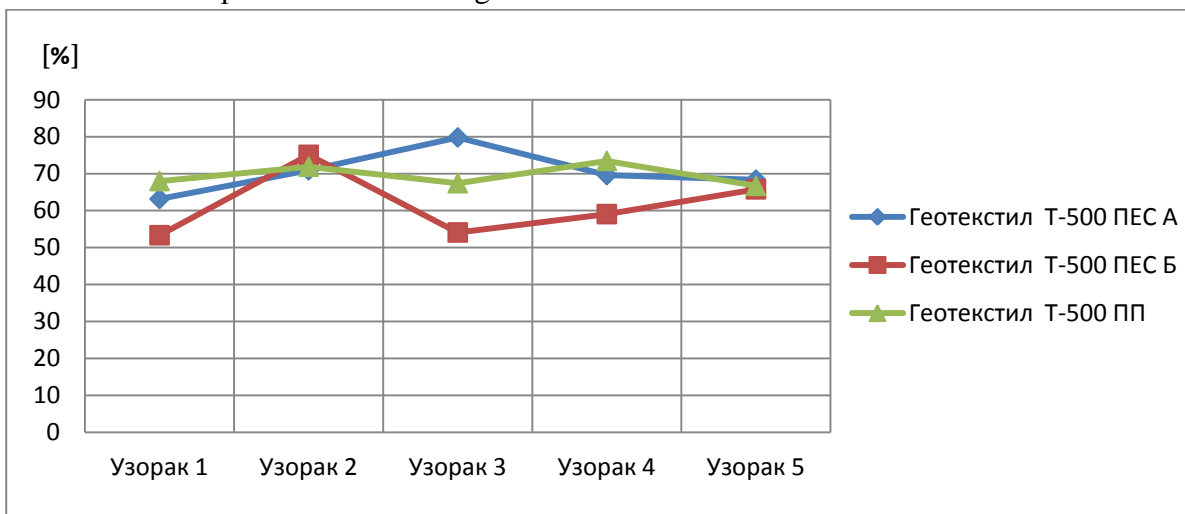
Слика 129. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу дужине геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 130. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу ширине геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 131. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу дужине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 132. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу ширине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Упоредним прегледом издужења до максималне силе на сликама 123 и 124 може се констатовати да геотекстили од ПП влакана површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ имају највише узорака са највећим процентом издужења при максималној сили, у оба посматрана правца. Геотекстили од ПЕС А и ПЕС Б влакана имају по два узорка који имају најмањи проценат издужења при максималној сили.

Код геотекстила од $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (сл. 125 и 126) такође се може закључити да највећи проценат издужења при максималној сили по дужини и ширини има геотекстил од ПП влакана док ПЕС А и ПЕС Б геотекстили имају приближне вредности.

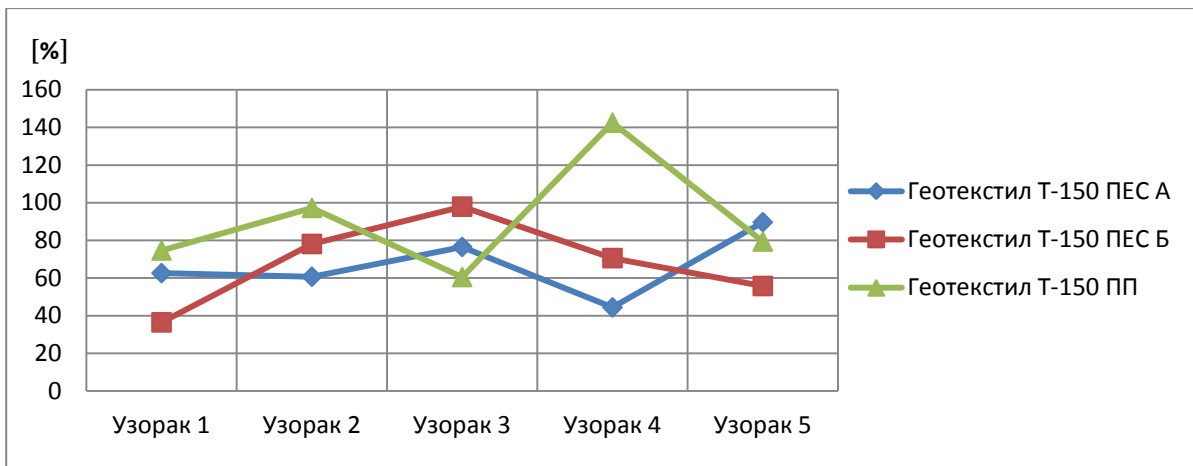
На сликама 127 и 128 (геотекстили површинске масе од $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) евидентно је да највише узорака са највећим процентом издужења при максималној сили у оба правца има ПЕС Б геотекстил док најниже вредности издужења има геотекстил ПЕС А по дужини а по ширини је то геотекстил од ПП влакана. Узорак 4 геотекстила од ПП влакана има највећи проценат издужења при максималној сили у односу на остале анализиране узорке.

На сликама 129 и 130 приказане су вредности издужења при максималној сили за геотекстилне материјале површинске масе од $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Резултати показују да ПП геотекстил има највеће вредности издужења, док ПЕС Б показује најмањи проценат издужења при максималној сили.

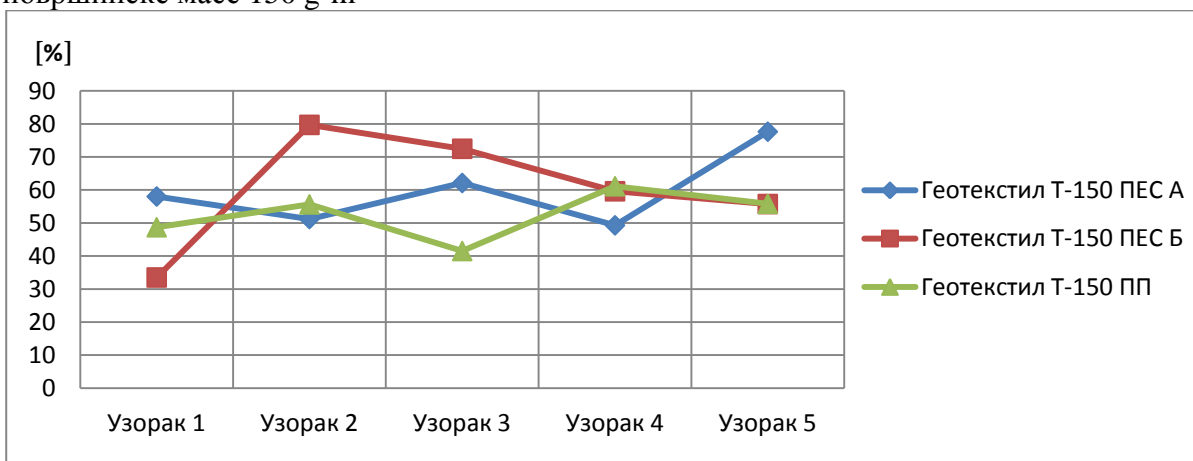
Геотекстил од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ по дужини произведен од полипропиленских влакана има највећи проценат издужења (сл. 131) док су резултати за узорке од ПЕС А и ПЕС Б влакана приближног процента издужења. Анализом резултата издужења у правцу ширине (сл. 132) може се констатовати да ПЕС А и ПП геотекстили имају по два узорка који имају највеће вредности издужења при максималној сили док ПЕС Б има најниже вредности.

3.9.2 Резултати одређивања издужења на граници еластичних деформација геотекстила

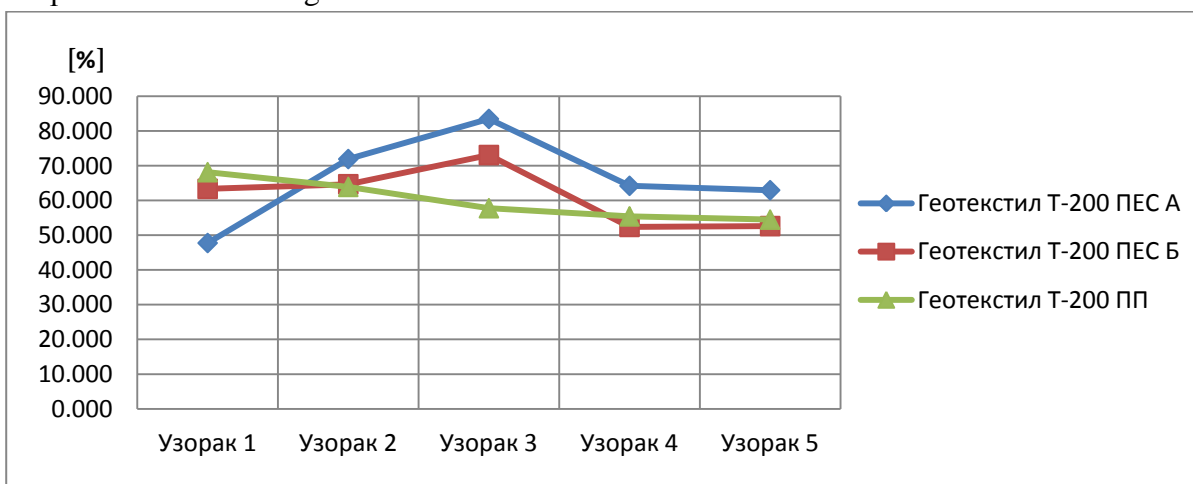
На сликама од 133 до 142 приказани су графици издужења геотекстила до границе еластичности.



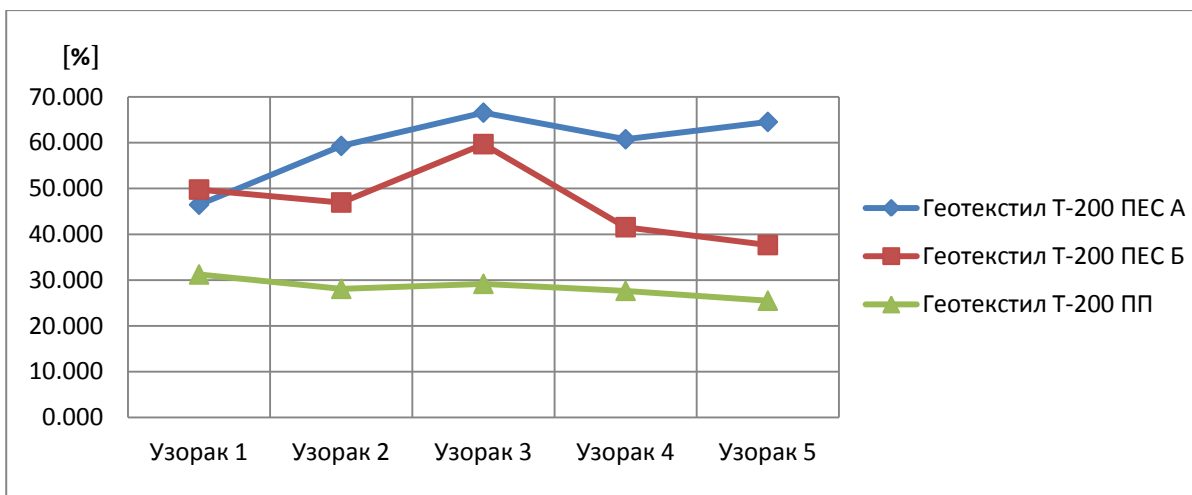
Слика 133. Резултати издужења до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



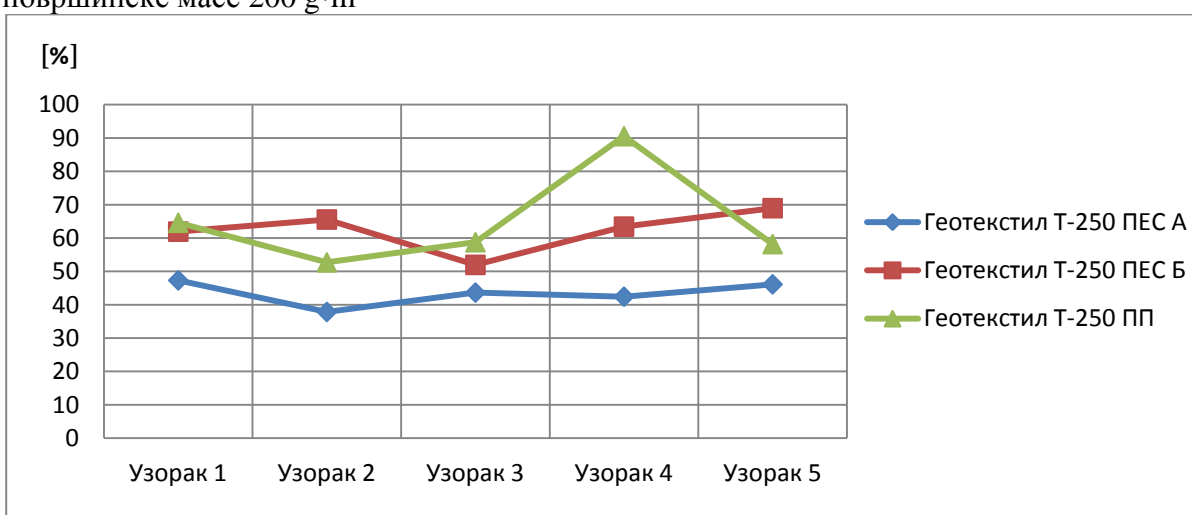
Слика 134. Резултати издужења до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



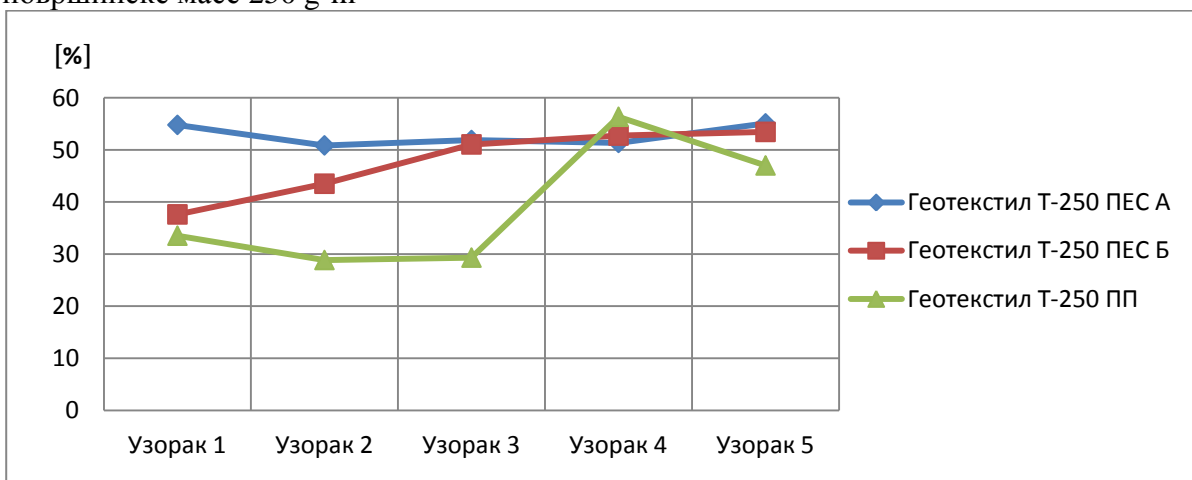
Слика 135. Резултати издужења до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



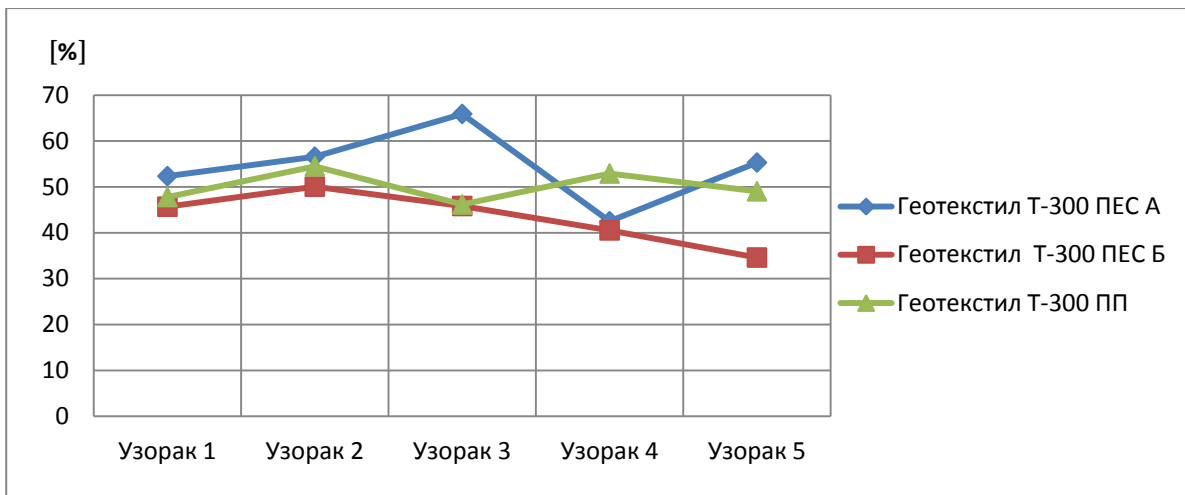
Слика 136. Резултати издужења до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



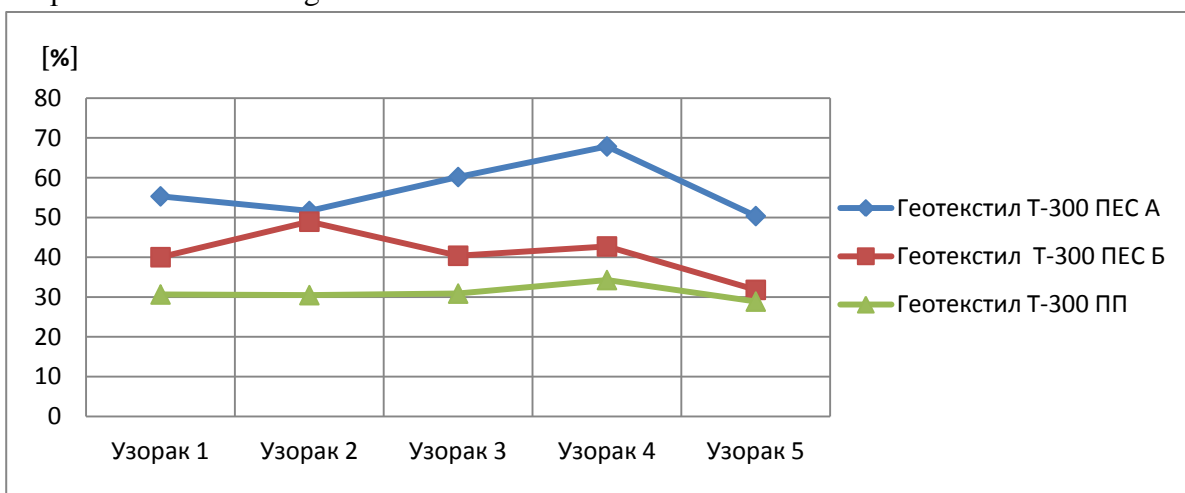
Слика 137. Резултати издужења до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $250 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



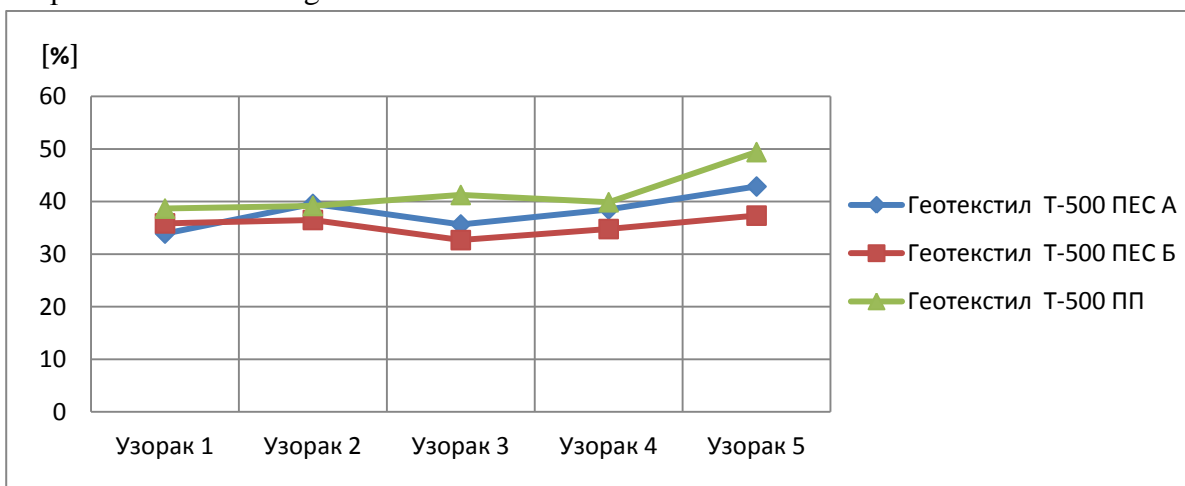
Слика 138. Резултати издужења до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $250 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



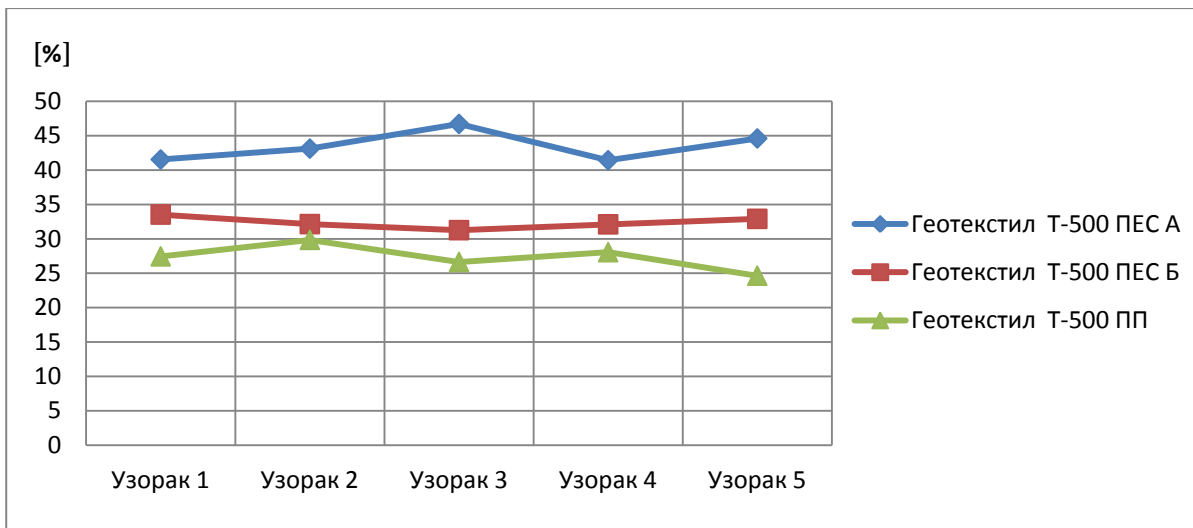
Слика 139. Резултати издужења до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



Слика 140. Резултати издужења до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



Слика 141. Резултати издужења до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



Слика 142. Резултати издужења до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Упоредним прегледом издужења на граници еластичности за све узорке геотекстила од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана површинске масе од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (сл. 133) може се приметити да узорци од полипропилена имају највећи проценат издужења на граници еластичности док по ширини (сл. 134) геотекстили од ПЕС Б и ПЕС А влакана имају веће вредности.

Код геотекстила површинске масе од $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ највеће вредности у оба анализирана правца има геотекстил од ПЕС А влакана (слике 135 и 136), док у правцу ширине најмање издужење на граници еластичности показују ПП узорци геотекстила.

Посматрајући слику 137 (геотекстили површинске масе од $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, у правцу дужине) може се закључити да ПЕС А узорци у овом случају имају најмањи проценат издужења на граници еластичности а највећи процената има ПП геотекстил, док на слици 138, у правцу ширине геотекстила, најниже вредности има геотекстил од полипропиленских влакана а највећи проценат издужења бележи геотекстил од ПЕС А влакана.

Геотекстил површинске масе од $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (слике 139 и 140) израђен од ПЕС А влакана показује највећи проценат издужења на граници еластичности у правцу дужине и ширине. Најмањи проценат издужења до границе еластичности у правцу дужине бележе узорци геотекстила од ПЕС Б влакана а у правцу ширине узорци геотекстила од ПП влакана.

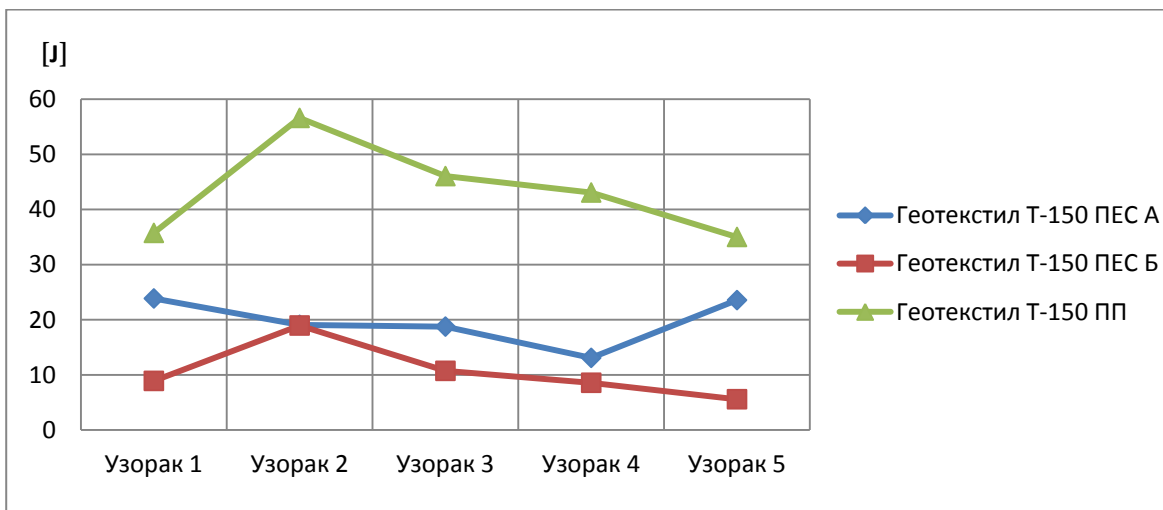
Упоредним прегледом издужења на граници еластичности за геотекстил од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ по дужини (сл. 141) код четири узорак највећи проценат издужења бележи геотекстил од полипропиленских влакана а најнижи проценат геотекстил од ПЕС Б влакана. По ширини (сл. 142) највећи проценат издужења имају узорци од ПЕС А влакана док најмањи проценат издужења до границе еластичности има геотекстил израђен од ПП влакана.

3.10 Резултати одређивања рада силе при затезању геотекстила

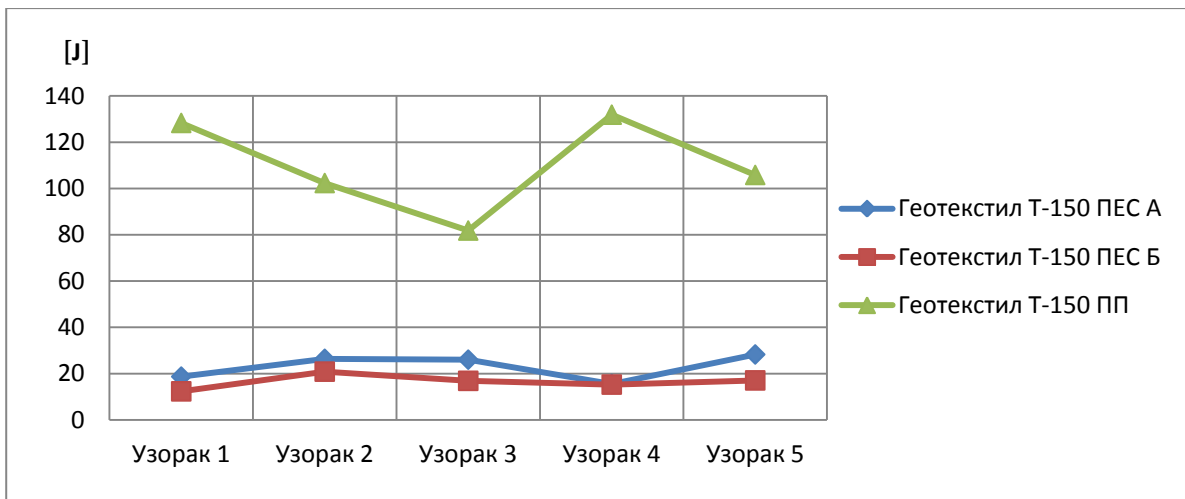
У наставку експерименталног дела рада анализирани су резултати рада силе приликом затезања геотекстила. Дефинисане су вредности рада до максималне силе као и рада до границе еластичности.

3.10.1 Резултати одређивања рада до максималне силе при затезању геотекстила

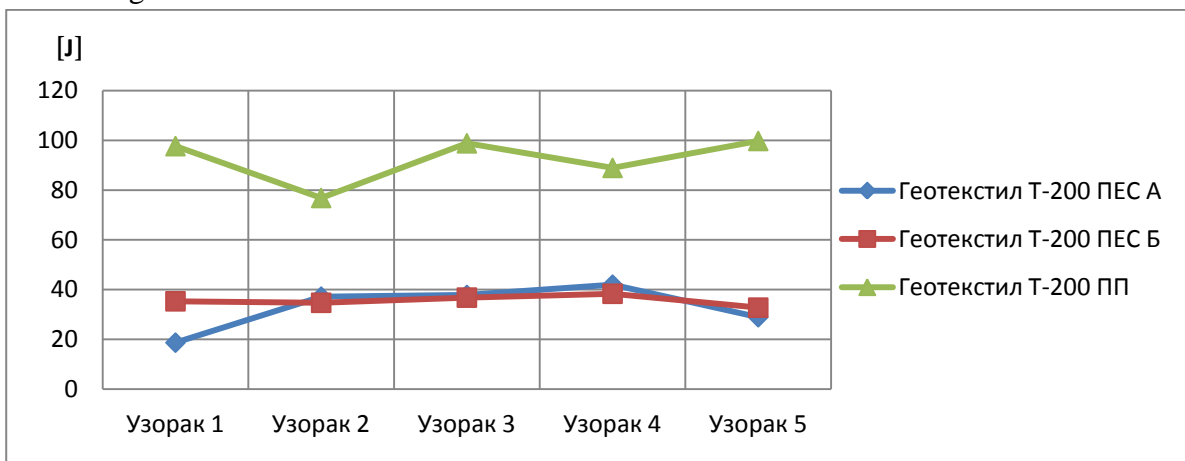
На сликама од 143 до 152 приказане су вредности рада до максималне силе.



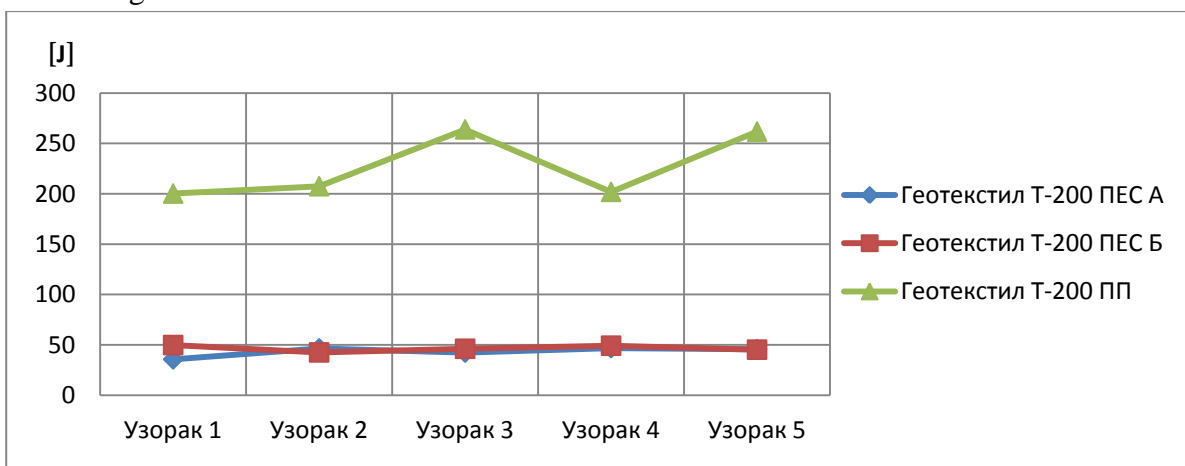
Слика 143. Преглед рада до максималне силе у правцу дужине геотекстила површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



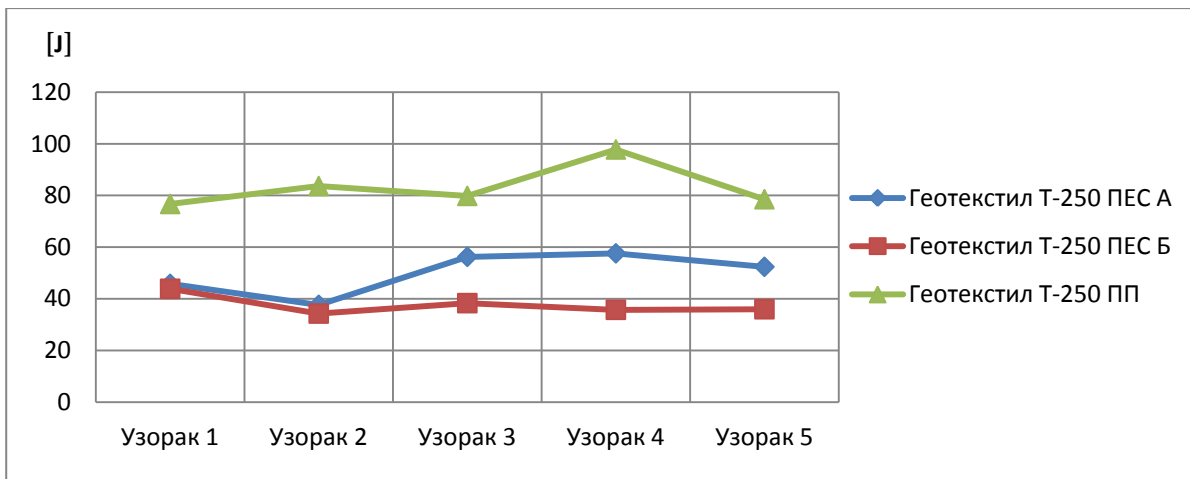
Слика 144. Преглед рада до максималне силе у правцу ширине геотекстила површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



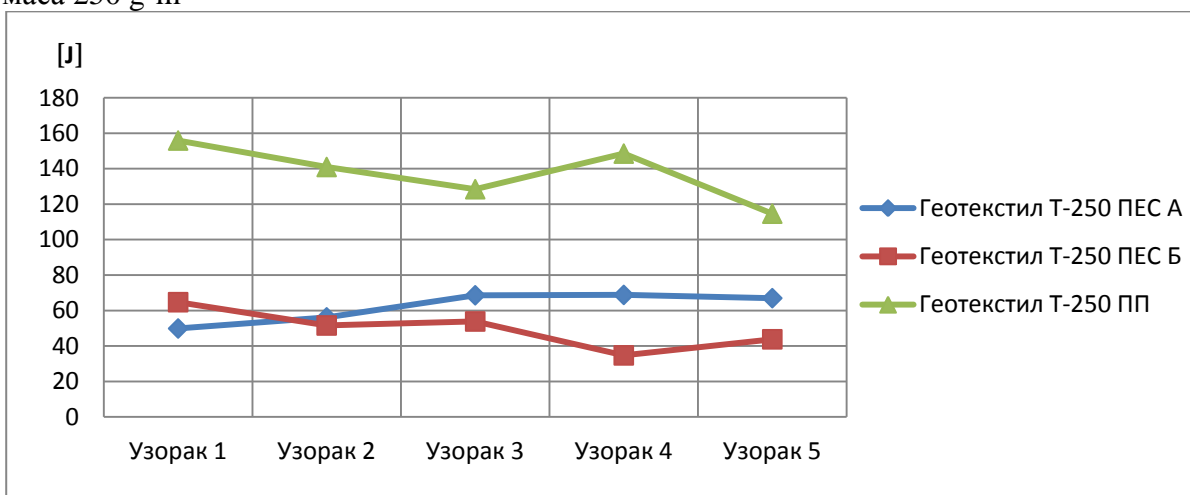
Слика 145. Преглед рада до максималне силе у правцу дужине геотекстила површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



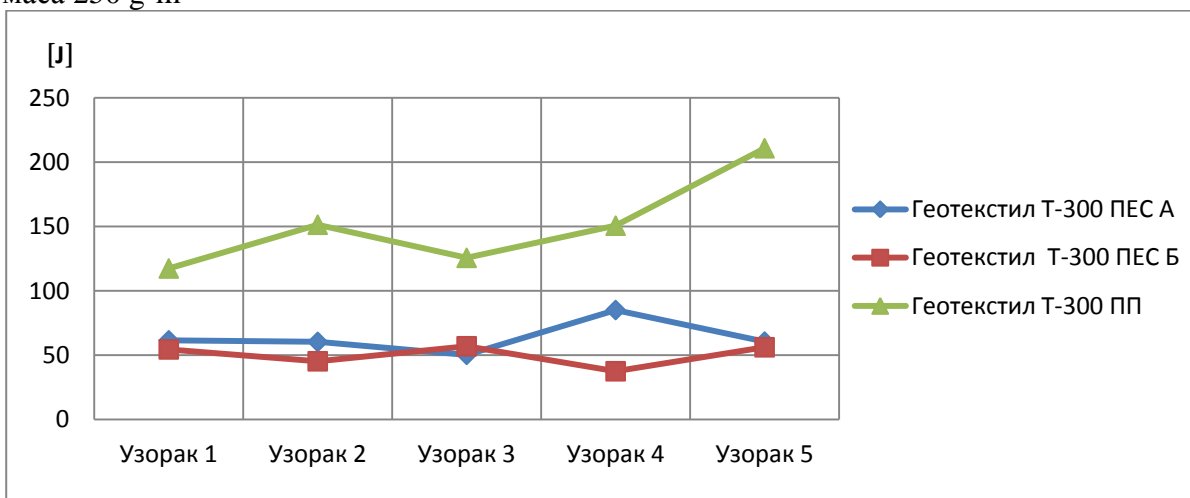
Слика 146. Преглед рада до максималне силе у правцу ширине геотекстила површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



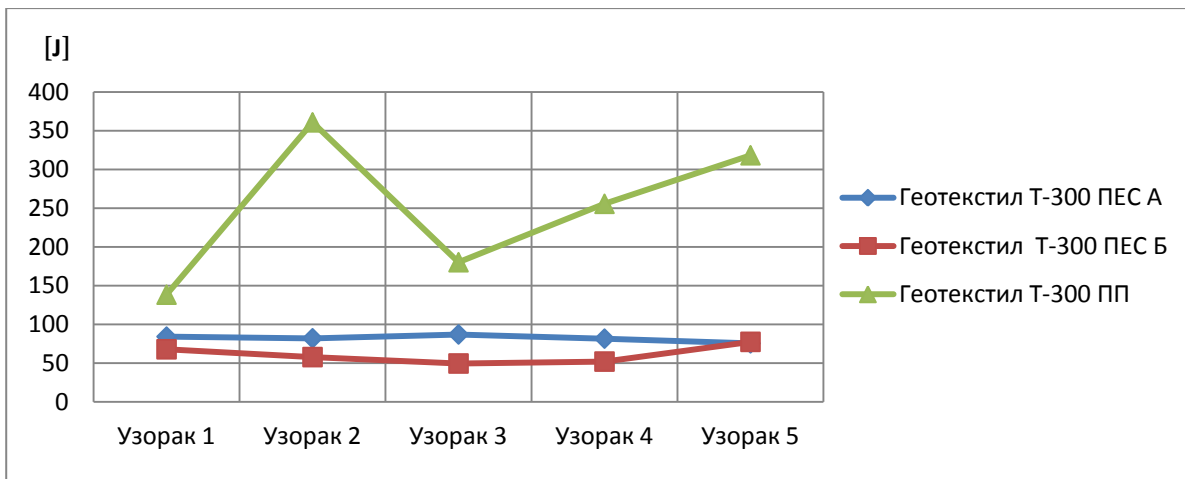
Слика 147. Преглед рада до максималне силе у правцу дужине геотекстила површинских маса $250 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



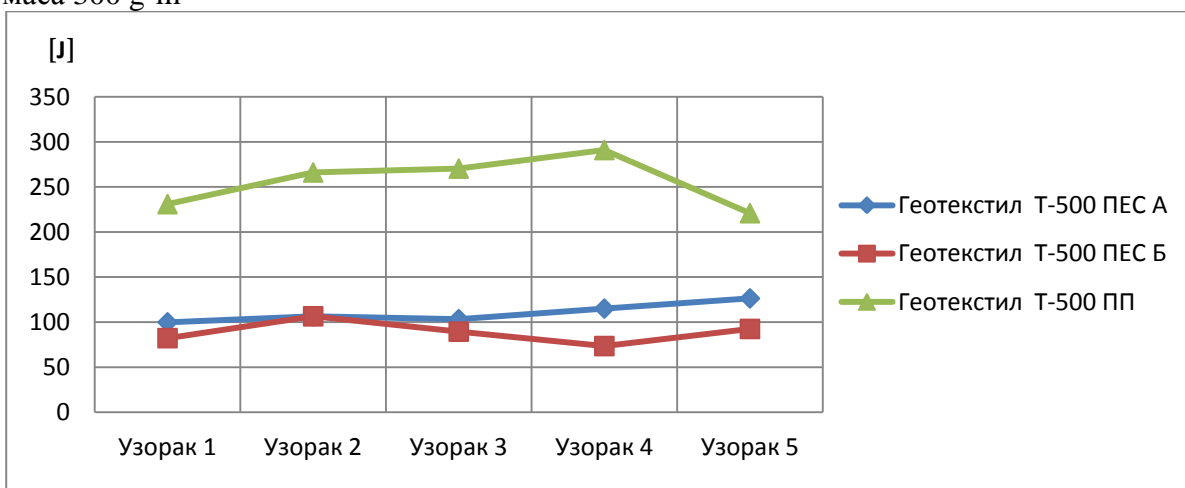
Слика 148. Преглед рада до максималне силе у правцу ширине геотекстила површинских маса $250 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



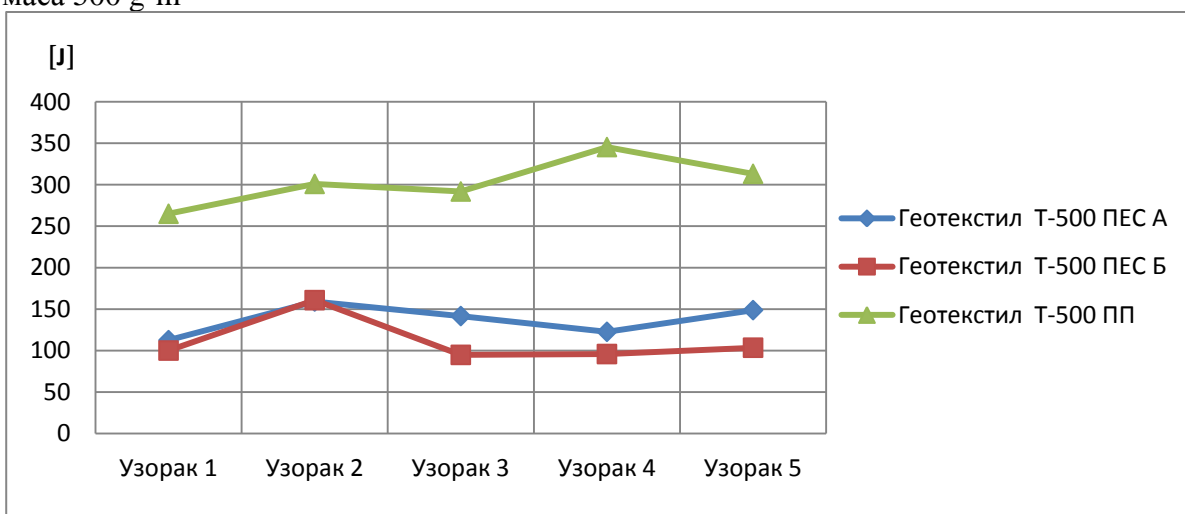
Слика 149. Преглед рада до максималне силе у правцу дужине геотекстила површинских маса $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



Слика 150. Преглед рада до максималне силе у правцу ширине геотекстила површинских маса $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



Слика 151. Преглед рада до максималне силе у правцу дужине геотекстила површинских маса $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$



Слика 152. Преглед рада до максималне силе у правцу ширине геотекстила површинских маса $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

На сликама 143 и 144 где су графички приказани резултати испитивања геотекстила површинских маса од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ може се приметити да геотекстил израђен од ПП влакана има знатно веће вредности рада до максималне силе при затезању у оба анализирана правца у односу на ПЕС А и ПЕС Б геотекстил. Вредности рада до максималне силе геотекстила ПЕС А и ПЕС Б у правцу ширине су приближне, са мањом разликом у корист ПЕС А геотекстила, док у правцу дужине разлика је израженија у корист ПЕС А геотекстила, наручито код узорака 1 и 5.

Геотекстил од ПП влакана површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ такође има највеће вредности рада до максималне силе у односу на вредности рада ПЕС А и ПЕС Б геотекстила, док су вредности рада силе геотекстила од ПЕС А и ПЕС Б влакана приближне (сл. 145 и 146).

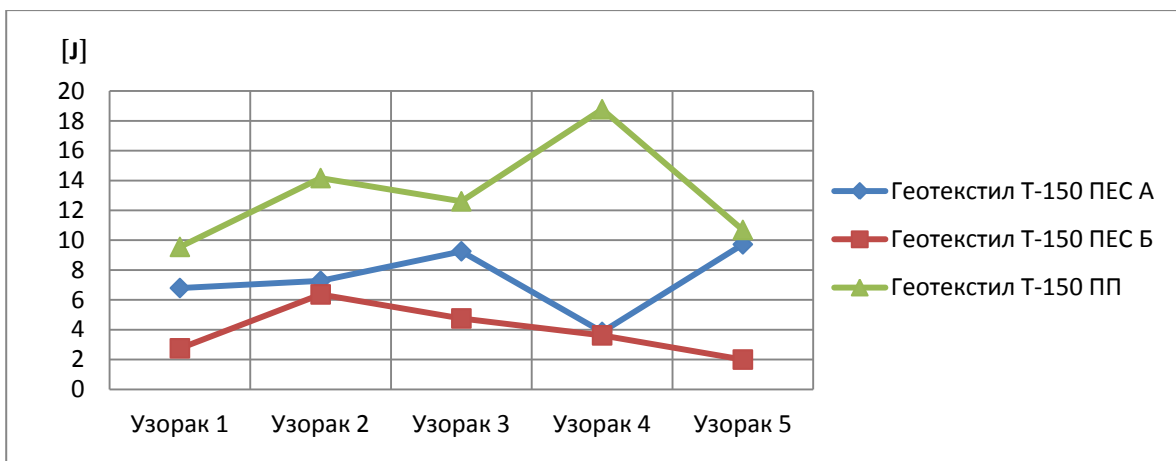
Највеће вредности рада силе при затезању геотекстила површинске масе од $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ показује геотекстил од ПП влакана, и по дужини и ширини, док геотекстил од ПЕС Б влакана у оба случаја показује најниже вредности (сл. 147 и 148)

Упоредним прегледом вредности рада у правцу дужине и ширине за геотекстиле површинских маса од $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ може се констатовати да узорци геотекстила израђених од ПП влакана и у овом случају имају највеће вредности али је та разлика евидентнија у правцу ширине геотекстила, док ПЕС Б геотекстили имају најниже вредности рада (сл. 149 и 150).

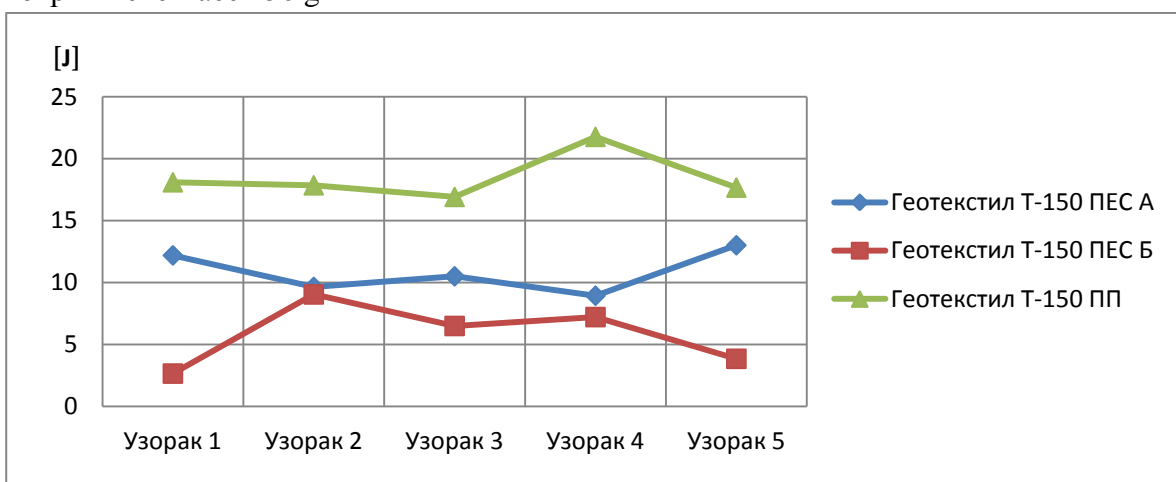
Посматрајући слике 151 и 152 евидентно је да и овом случају ПП геотекстили површинске масе од $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ имају највеће вредности рада силе при затезању, док ПЕС А и ПЕС Б геотекстили имају сличне вредности рада до максималне силе с тим што су нешто веће вредности у корист ПЕС А геотекстила.

3.10.2 Резултати одређивања рада до границе еластичности геотекстила

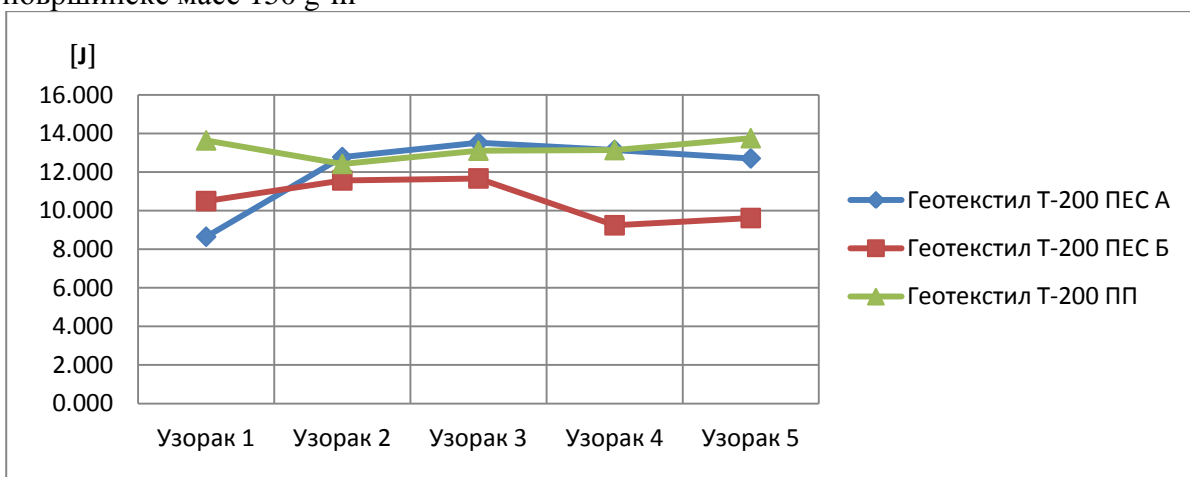
На сликама од 153 до 162 приказани су резултати анализе сила рада до границе еластичности за геотекстилне материјале од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана.



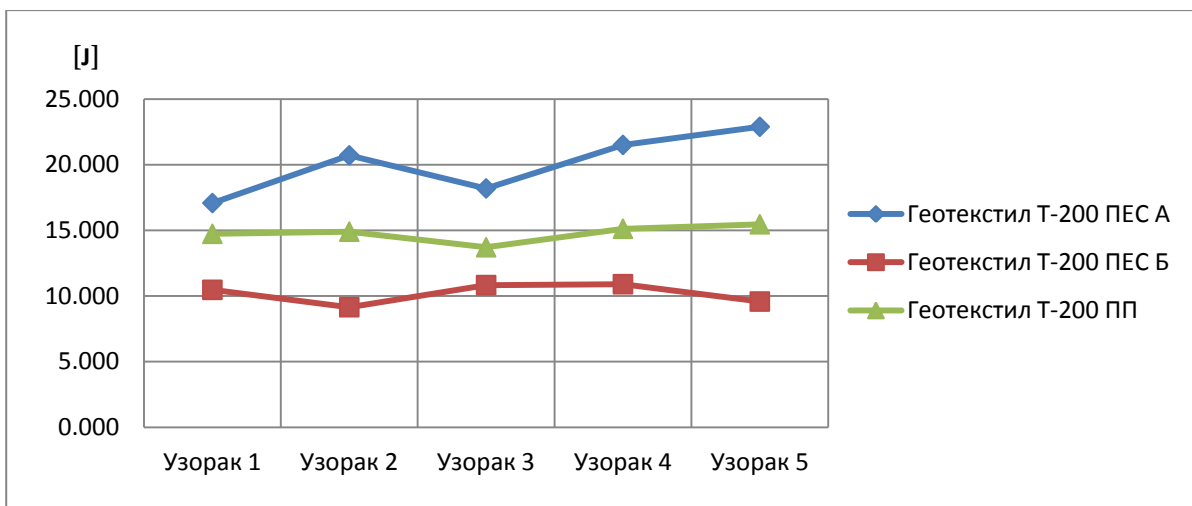
Слика 153. Преглед рада до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



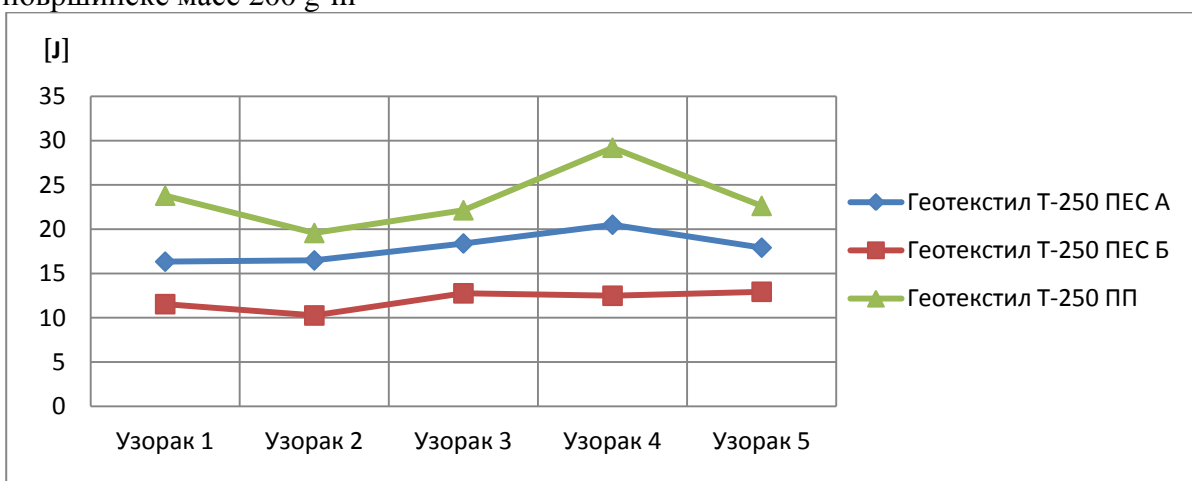
Слика 154. Преглед рада до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



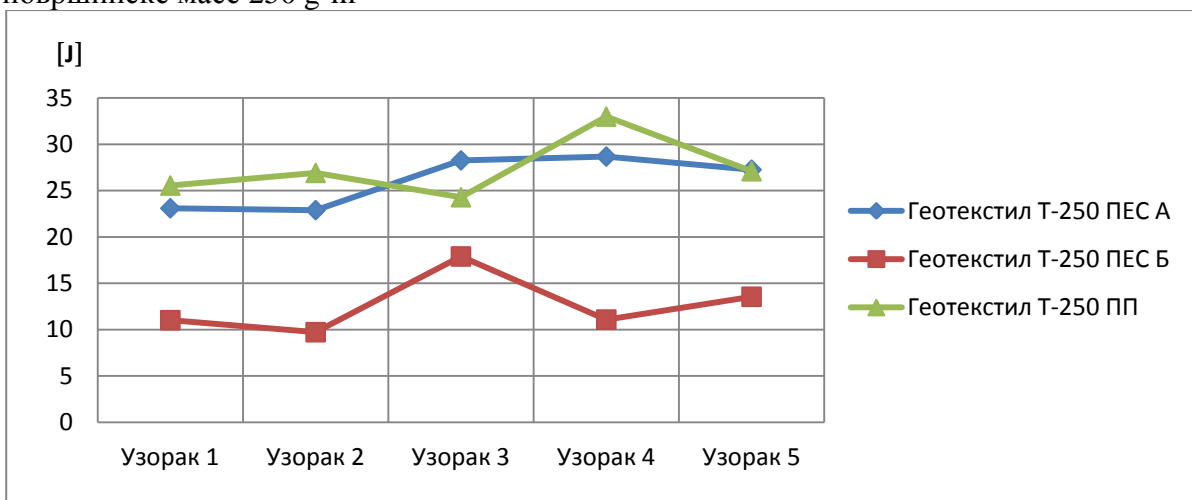
Слика 155. Преглед рада до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



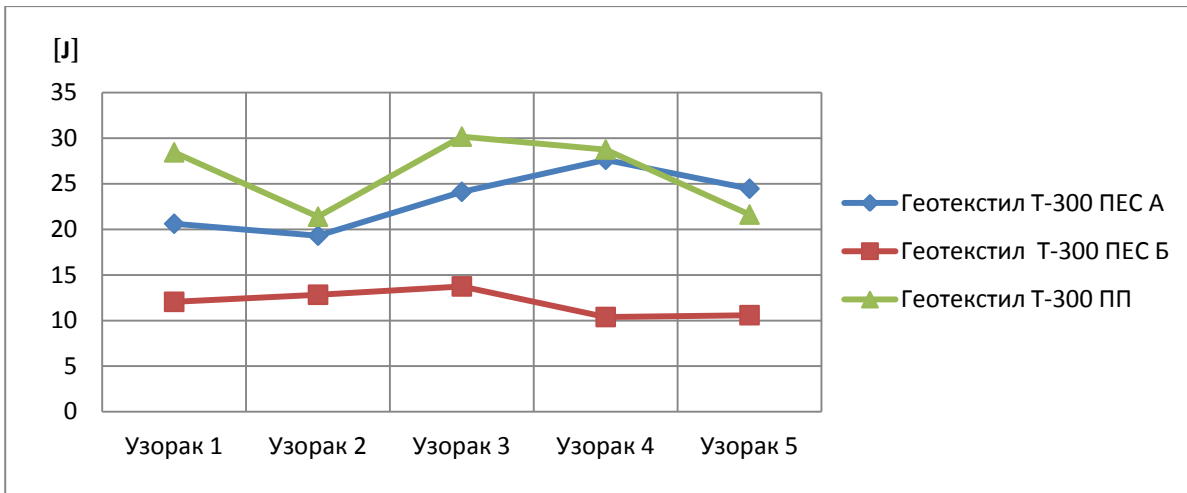
Слика 156. Преглед рада до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



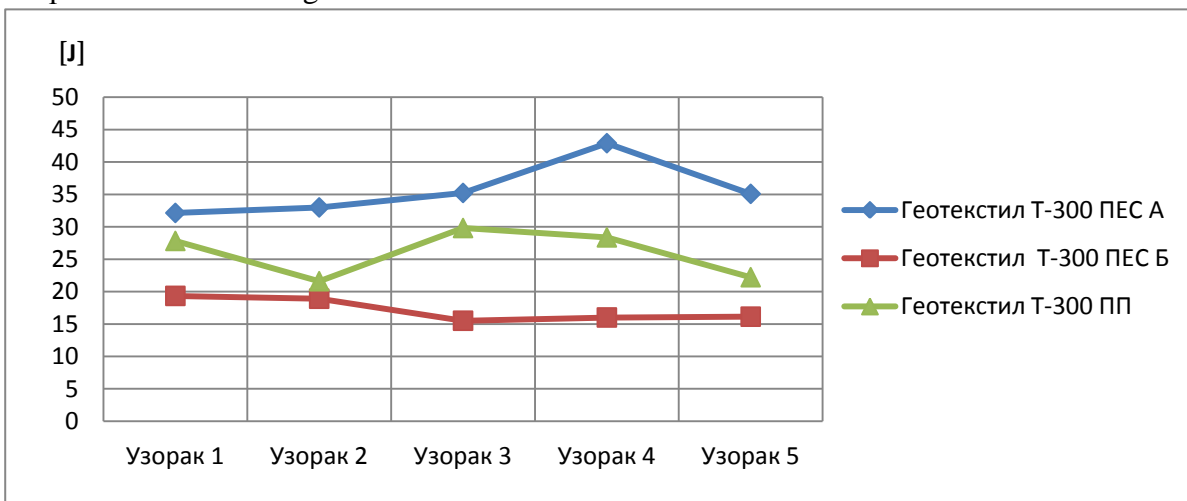
Слика 157. Преглед рада до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



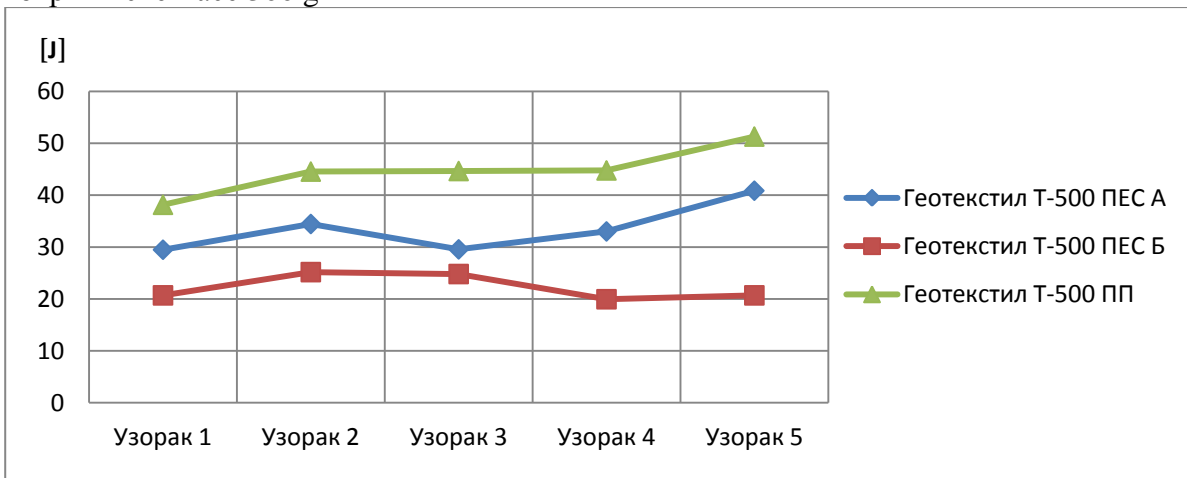
Слика 158. Преглед рада до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



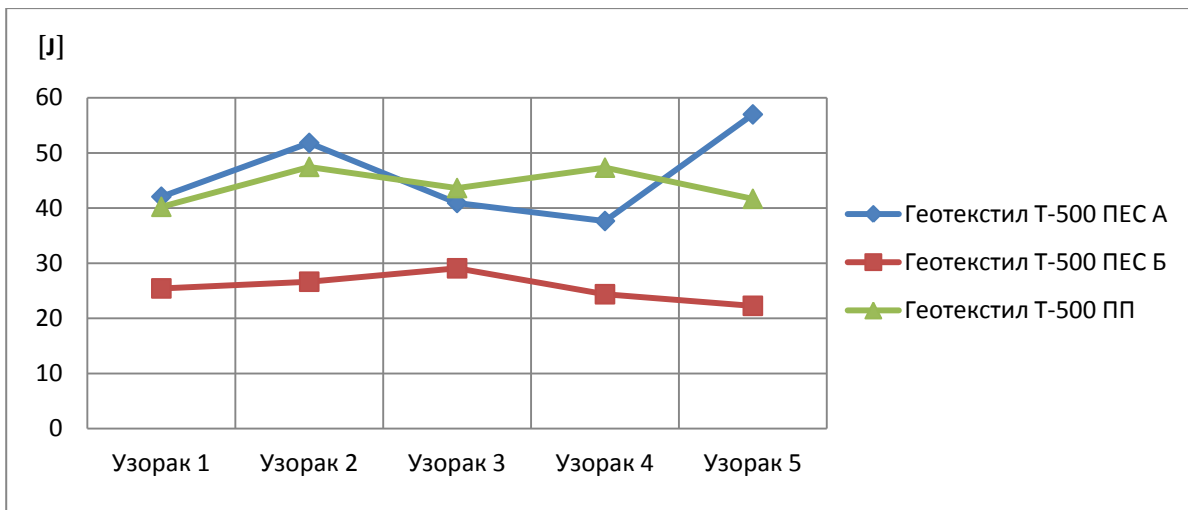
Слика 159. Преглед рада до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 160. Преглед рада до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 161. Преглед рада до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$



Слика 162. Преглед рада до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Прегледом слика 153 и 154, на којима су приказани резултати рада силе до границе еластичности у правцу дужине и ширине, може се констатовати да геотекстил површинске масе од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ од полипропиленских влакана показује највеће вредности, док најниже вредности у оба правца показује ПЕС Б геотекстил.

На сликама 155 и 156 приказани су резултати рада силе до границе еластичности за геотекстилне материјале површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. На основу добијених резултата може се приметити да донекле сличне вредности у правцу дужине показују ПЕС А и ПП геотекстили, осим код узорка 1 где је знатније већа разлика у вредности забележена у корист геотекстила од ПП влакана (сл. 155). Код исте површинске масе материјала у правцу ширине (сл. 156) највеће вредности рада силе до границе еластичности има геотекстил израђен од ПЕС А влакана а најмање вредности геотекстил од ПЕС Б влакана.

Највећи рад силе до границе еластичних деформација код узорка површинске масе од $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ бележе ПП узорци геотекстила, док ПЕС Б узорци и у овом случају имају најниже вредности у оба посматрана правца (сл. 157 и 158).

Прегледом вредности рада до границе еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (сл. 160) уочава се да највеће вредности показује геотекстил израђен од ПЕС А влакана, за разлику од правца по дужини (сл. 159) где код четири узорка веће вредности рада има геотекстил од полипропиленских влакана. У оба случаја ПЕС Б геотекстил има најниже вредности рада.

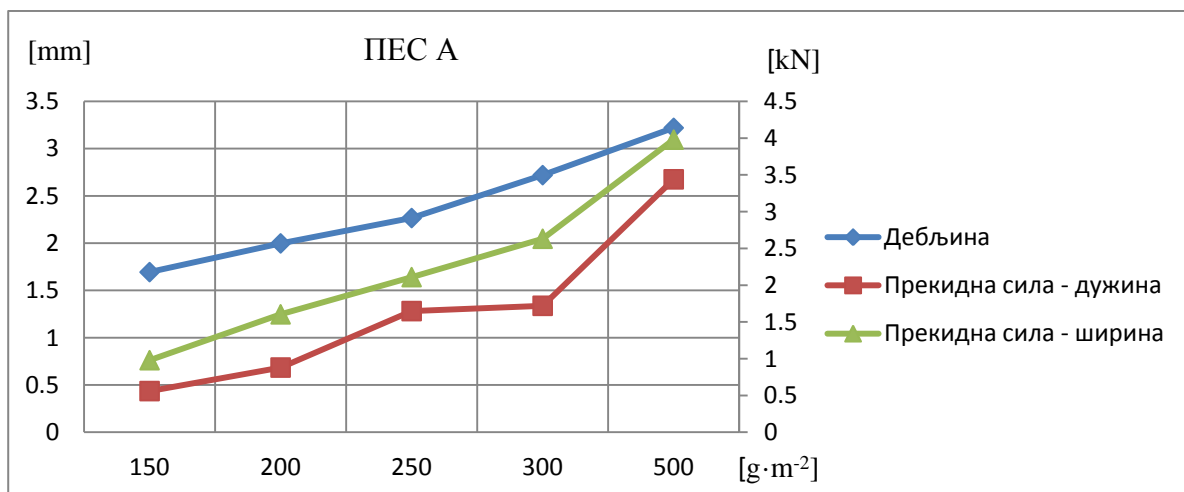
Прегледом рада до границе еластичности за геотекстиле површинске масе $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ евидентна је равномернија разлика између ПЕС А, ПЕС Б и ПП геотекстила по дужини где највеће вредности бележи геотекстил од полипропиленских влакана а најниже геотекстил од рециклираних полиестарских влакана (сл. 161). У правцу ширине нешто веће вредности рада до границе еластичности показује геотекстил израђен од регуларних ПЕС А влакана у односу на ПП геотекстил а значајније веће вредности у односу на геотекстил од ПЕС Б влакана (сл. 162).

3.11 Повезаност параметара геотекстилних материјала

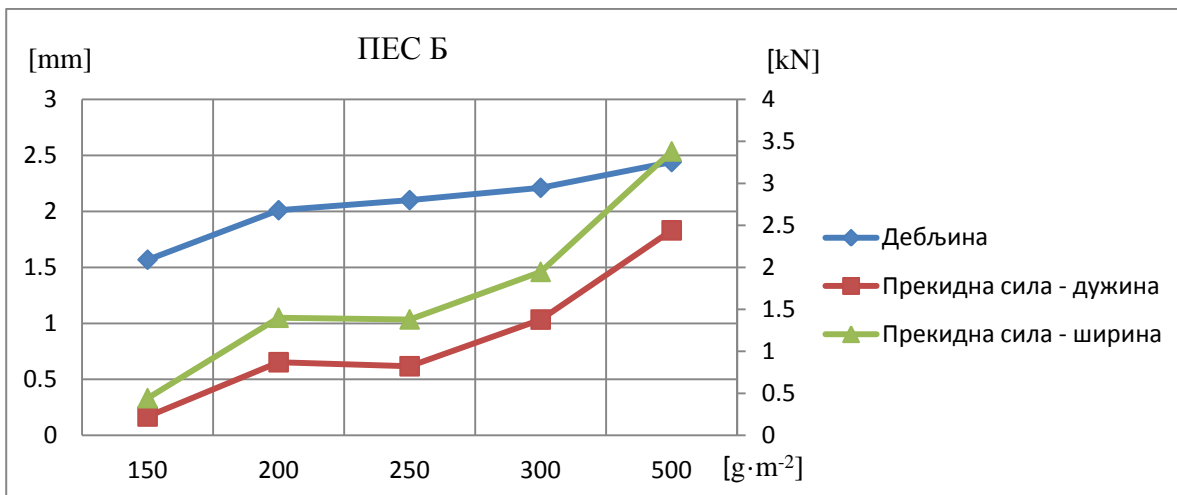
Анализом параметара геотекстилних материјала стичу се информације о њиховом квалитету и употребним карактеристикама. Такође, резултати међусобне повезаности појединих параметара могу послужити као смернице за оптимизацију технолошких процеса производње геотекстила. Зато је приказана повезаност параметра испитиваних геотекстилних материјала. Анализирани су повезаности дебљине и механичких карактеристика геотекстила, сила на граници еластичности и максималне силе при затезању геотекстила, као и рада до границе еластичности и рада до максималне силе при затезању геотекстила. Такође, разматран је утицај површинске масе и угла слагања копрене у пелцу на параметре квалитета геотекстилних материјала од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана.

3.11.1 Анализа повезаности дебљине и механичких карактеристика геотекстила

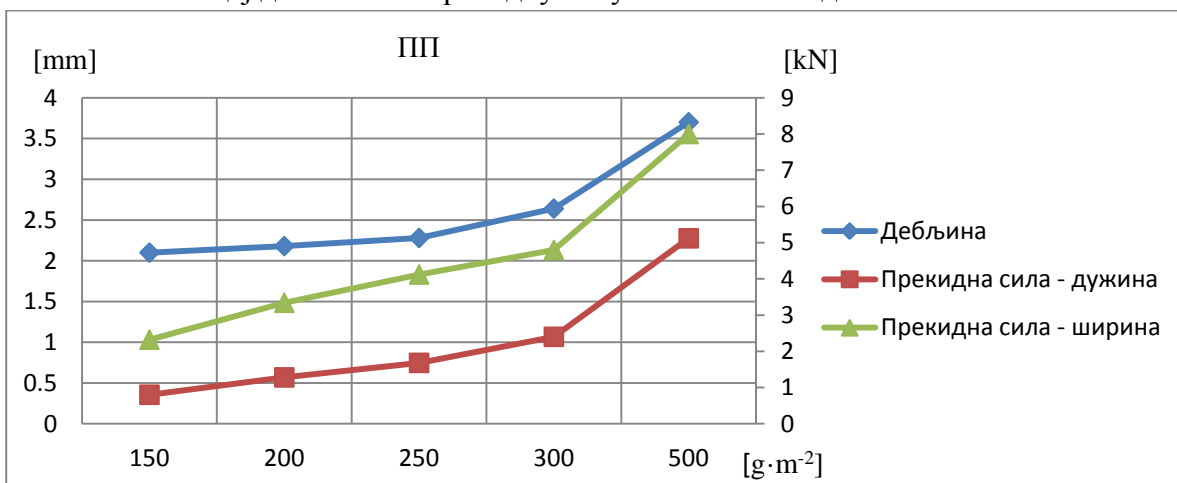
На сликама од 163 до 171 је приказан утицај дебљине геотекстила на прекидну силу, затим на издужење при максималној сили и силу пробијања.



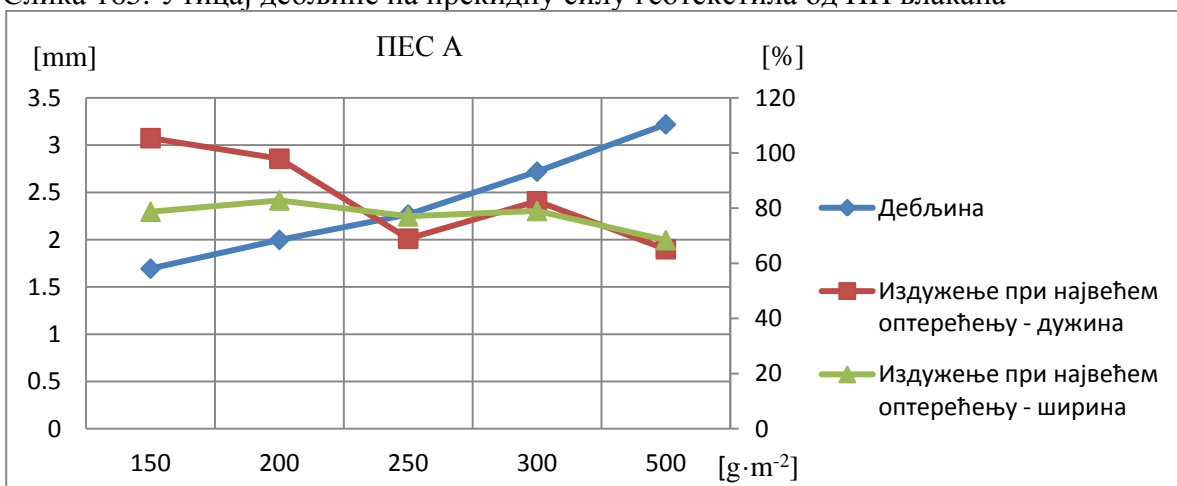
Слика 163. Утицај дебљине на прекидну силу геотекстила од ПЕС А влакана



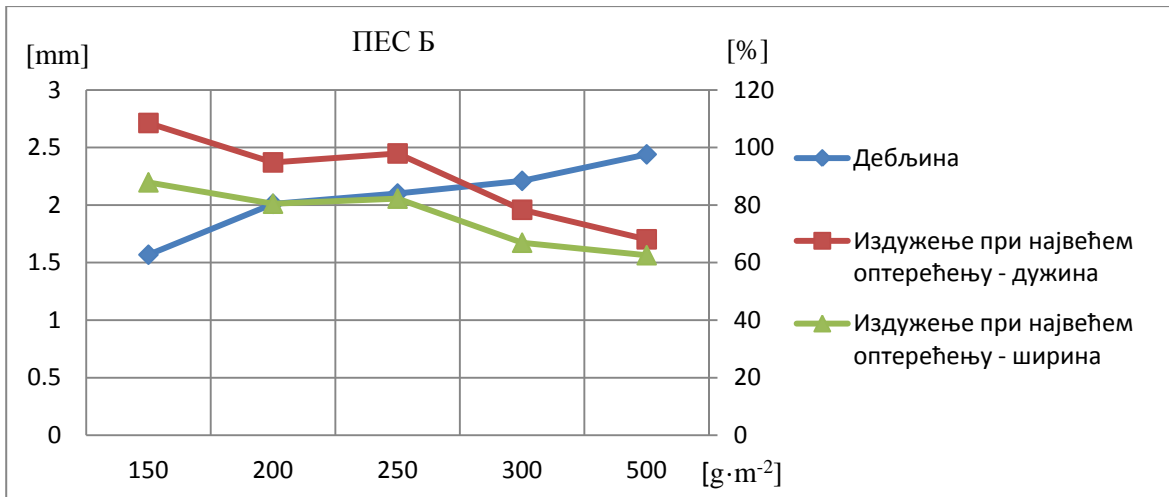
Слика 164. Утицај дебљине на прекидну силу геотекстила од ПЕС Б влакана



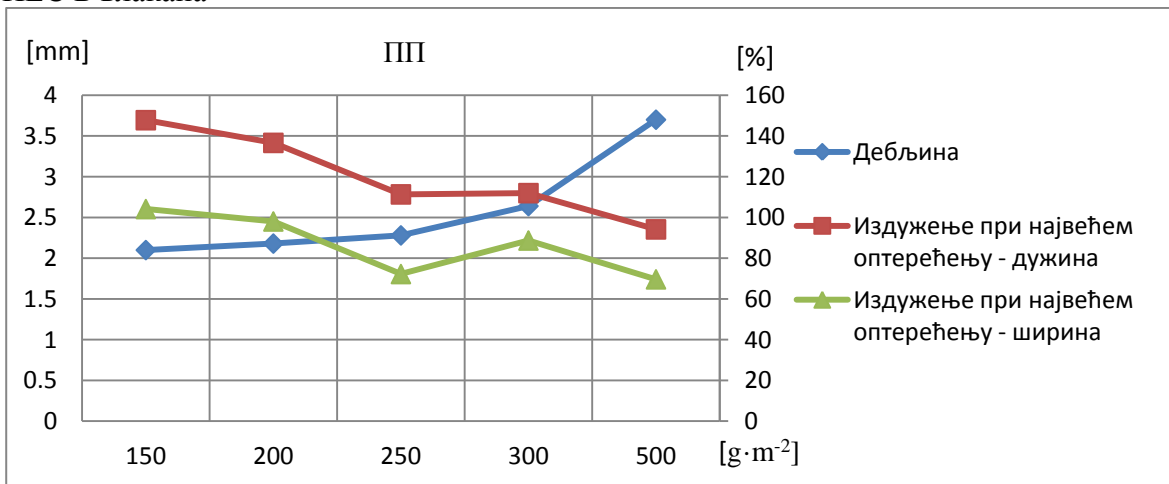
Слика 165. Утицај дебљине на прекидну силу геотекстила од ПП влакана



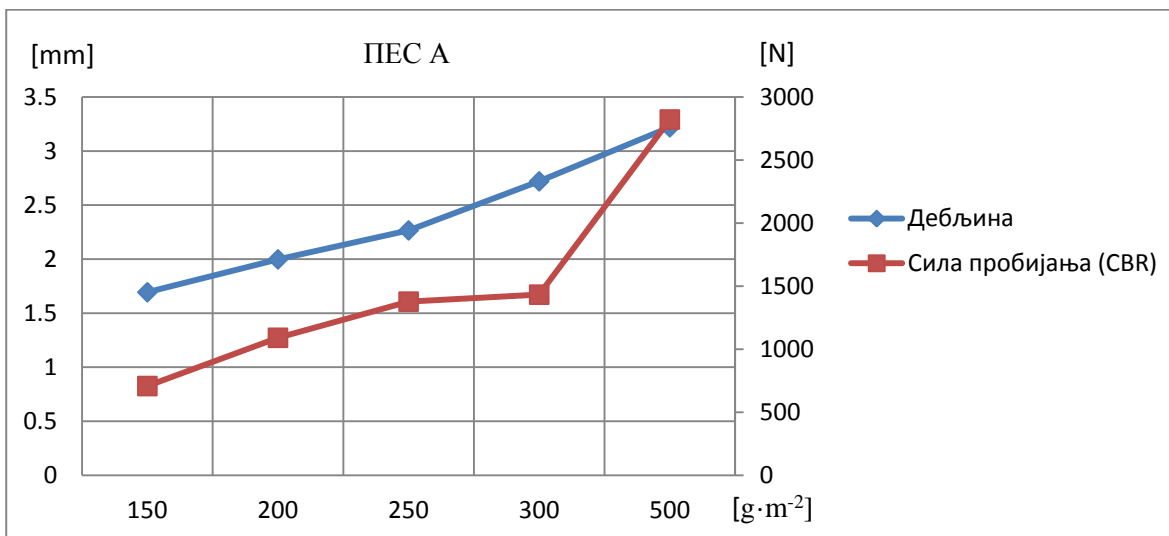
Слика 166. Утицај дебљине на издужење при максималној сили затезања геотекстила од ПЕС А влакана



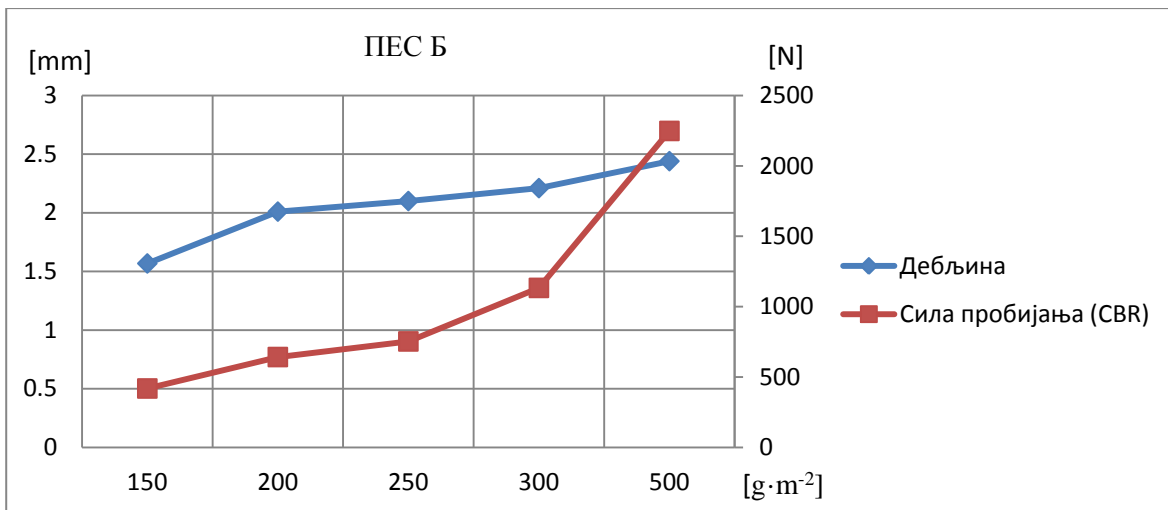
Слика 167. Утицај дебљине на издужење при максималној сили затезања геотекстила од ПЕС Б влакана



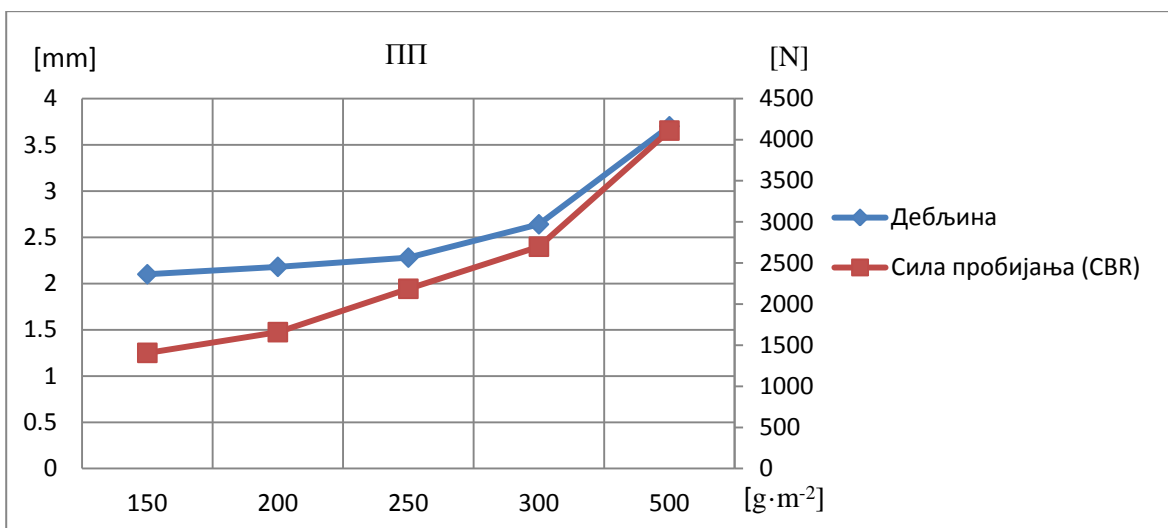
Слика 168. Утицај дебљине на издужење при максималној сили затезања геотекстила од ПП влакана



Слика 169. Утицај дебљине на силу пробијања геотекстила од ПЕС А влакана



Слика 170. Утицај дебљине на силу пробијања геотекстила од ПЕС Б влакана



Слика 171. Утицај дебљине на силу пробијања геотекстила од ПП влакана

Посматрајући слике 163, 164 и 165 може се закључити да са порастом вредности дебљине расту и вредности прекидне силе код све три врсте геотекстила (ПЕС А, ПЕС Б и ПП). Ако се посматра утицај дебљине на издужење геотекстила при максималној сили, запажа се да са порастом дебљине геотекстила издужење има опадајући тренд (слике 166, 167 и 168).

На сликама 169, 170 и 171 приказан је утицај дебљине на силу пробијања геотекстила. Резултати показују да геотекстили веће дебљине пружају већи отпор силама пробијања (CBR).

На основу добијених резултата може се констатовати да са порастом дебљине опада проценат издужења геотекстила а расту вредности прекидне силе и силе пробијања.

3.11.2 Анализа повезаности силе на граници еластичности и максималне силе при затезању геотекстила

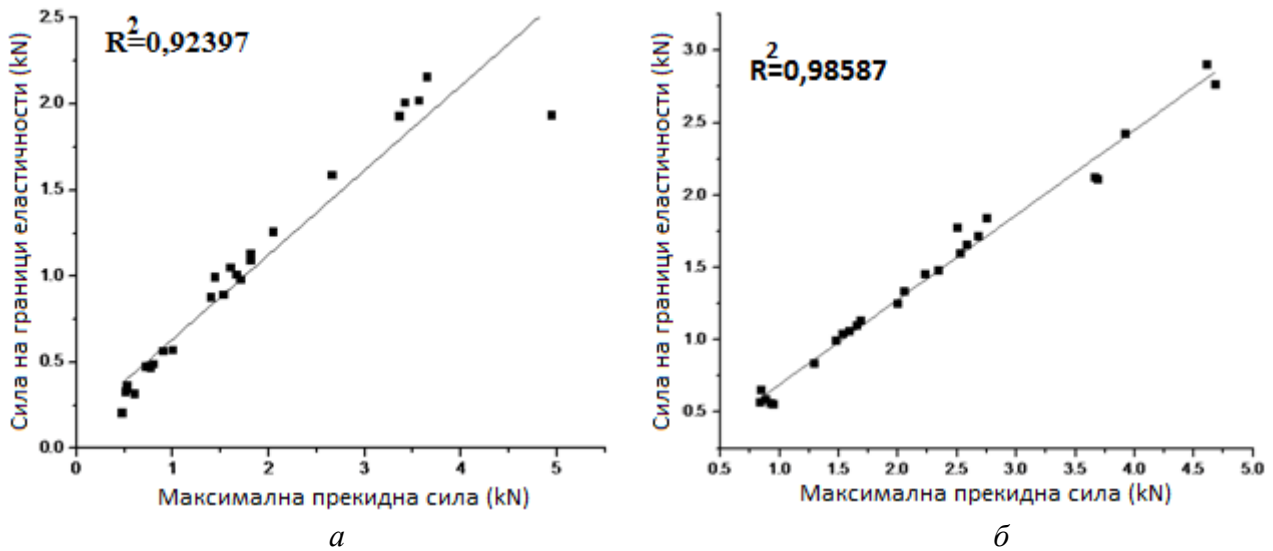
У табели 15 приказане су средње вредности максималне силе, издужења при максималној сили, силе на граници еластичности, рада до прекида и рада до границе еластичности, као и коефицијенти варијација за добијене вредности за ПЕС А, ПЕС Б и ПП геотекстиле

Табела 15. Резултати испитивања ПЕС А, ПЕС Б и ПП геотекстилних материјала

Геотекстил	Смер	Максимална прекидна сила		Издужење при макс. сили		Сила на граници еластичности		Издужење на граници еластичности		Рад до прекида		Рад до границе еластичности	
		(kN)	CV (%)	(%)	CV (%)	(kN)	CV (%)	(%)	CV (%)	(J)	CV (%)	(J)	CV (%)
150 ПЕС А	Дужина	0.53	8.7	96.6	16.6	0.31	20.0	66.7	25.6	19.7	22.3	7.4	28.1
	Ширина	0.89	5.5	76.1	19.7	0.60	7.0	59.6	18.9	23.0	24.1	10.9	15.6
200 ПЕС А	Дужина	0.84	13.5	96.1	22.7	0.51	9.8	66.0	19.8	32.9	28.2	12.2	16.4
	Ширина	1.51	8.9	77.9	13.4	1.00	10.0	59.5	13.2	43.3	10.8	20.1	11.9
250 ПЕС А	Дужина	1.71	14.1	65.8	11.5	1.05	13.1	43.5	8.5	49.9	16.5	17.9	9.5
	Ширина	2.06	12.3	73.4	3.7	1.33	10.9	52.8	3.7	62.1	13.8	26.0	10.9
300 ПЕС А	Дужина	1.83	26.4	81.1	9.9	1.11	24.8	54.5	15.4	63.5	20.3	23.2	14.2
	Ширина	2.61	3.9	78.0	9.6	1.72	5.6	57.1	12.5	82.0	5.1	35.7	12.0
500 ПЕС А	Дужина	3.79	17.3	64.9	7.0	2.01	4.6	38.1	9.2	110.2	9.6	33.5	14.0
	Ширина	4.12	12.1	70.4	8.6	2.46	14.7	43.5	5.1	136.9	13.9	45.9	17.6
150 ПЕС Б	Дужина	0.26	29.8	99.0	28.9	0.15	27.4	67.7	34.2	10.5	47.8	3.9	44.1
	Ширина	0.47	6.8	88.4	21.3	0.30	23.7	60.2	29.5	16.5	18.8	5.8	44.2
200 ПЕС Б	Дужина	0.90	6.5	95.6	10.3	0.50	3.9	61.2	14.3	35.6	5.9	10.5	10.5
	Ширина	1.41	9.5	80.1	12.5	0.68	9.6	47.1	17.9	46.5	6.4	10.2	7.7
250 ПЕС Б	Дужина	0.85	14.0	99.9	11.1	0.49	15.4	62.4	10.2	37.6	10.0	12.0	9.2
	Ширина	1.37	11.9	81.3	3.8	0.72	18.3	47.6	14.4	49.7	22.6	12.6	25.6
300 ПЕС Б	Дужина	1.30	11.7	79.6	6.5	0.67	9.0	43.3	13.7	50.0	16.8	11.9	12.1
	Ширина	1.98	15.1	67.8	6.5	1.09	11.9	40.8	15.1	60.9	19.1	17.2	10.5
500 ПЕС Б	Дужина	2.46	7.1	69.1	9.4	1.33	9.9	35.4	5.1	88.8	13.8	22.3	11.3
	Ширина	3.49	11.7	61.4	14.8	1.80	9.3	32.4	2.7	110.9	25.3	25.6	9.9
150 ПП	Дужина	0.76	25.5	140.1	25.1	0.42	22.0	90.8	34.9	43.3	20.3	13.1	27.5
	Ширина	2.30	7.8	103.1	14.6	1.05	7.4	52.7	14.4	110.0	18.6	18.5	9.7
200 ПП	Дужина	1.30	10.8	140.3	8.1	0.54	8.2	59.9	9.8	92.4	10.5	13.2	3.8
	Ширина	3.44	7.6	104.0	10.1	1.27	8.3	28.3	7.5	227.0	14.4	14.8	4.5
250 ПП	Дужина	1.70	5.4	108.8	18.2	0.92	3.7	65.0	22.9	83.3	10.2	23.5	14.9
	Ширина	4.21	13.8	71.3	23.7	1.85	19.0	39.0	31.1	137.7	11.9	27.4	12.0
300 ПП	Дужина	2.65	11.7	112.2	22.9	1.24	22.7	50.1	7.0	151.1	24.2	26.1	16.1
	Ширина	4.67	3.4	91.9	27.8	1.93	13.7	31.0	6.2	250.7	36.9	26.0	14.6
500 ПП	Дужина	5.07	7.6	93.9	3.6	2.41	5.4	41.7	10.6	255.8	11.4	44.7	10.5
	Ширина	7.96	6.7	69.5	4.3	3.45	4.9	27.3	7.0	303.3	9.7	44.1	7.5

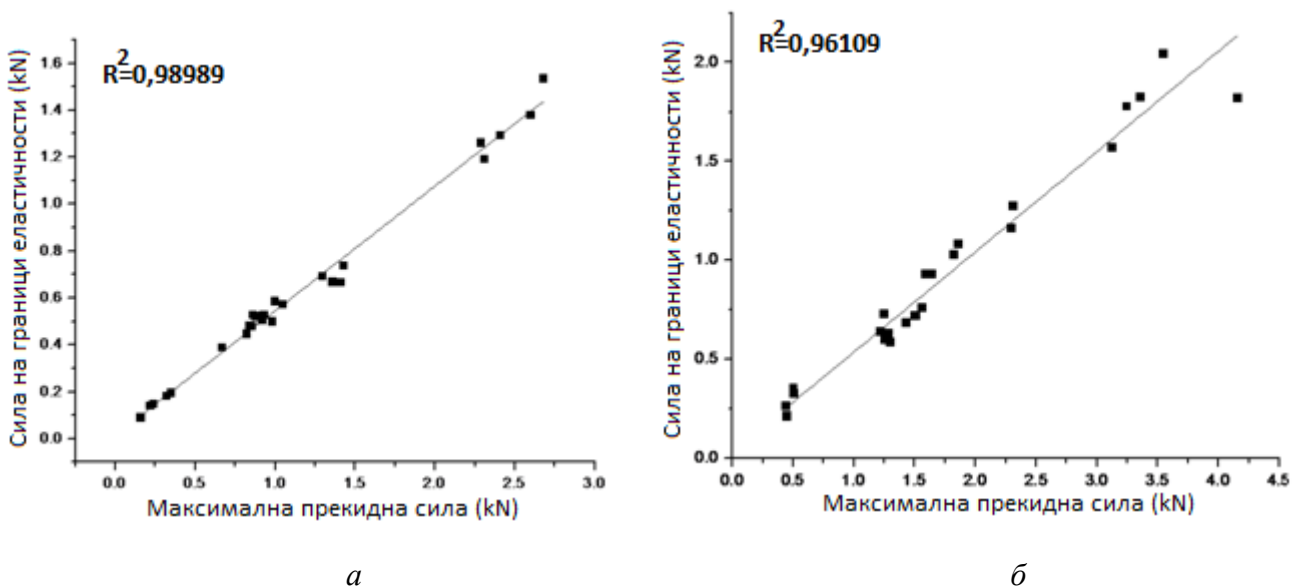
Дефинисањем границе еластичности нетканих геотекстила долази се до сазнања о граничним интензитетима сила којима се могу подвргнути геотекстили а да се при томе не наруши њихов квалитет.

На слици 172 приказана је веза сила на граници еластичности и максималних сила анализираних геотекстилних материјала од ПЕС А влакана.



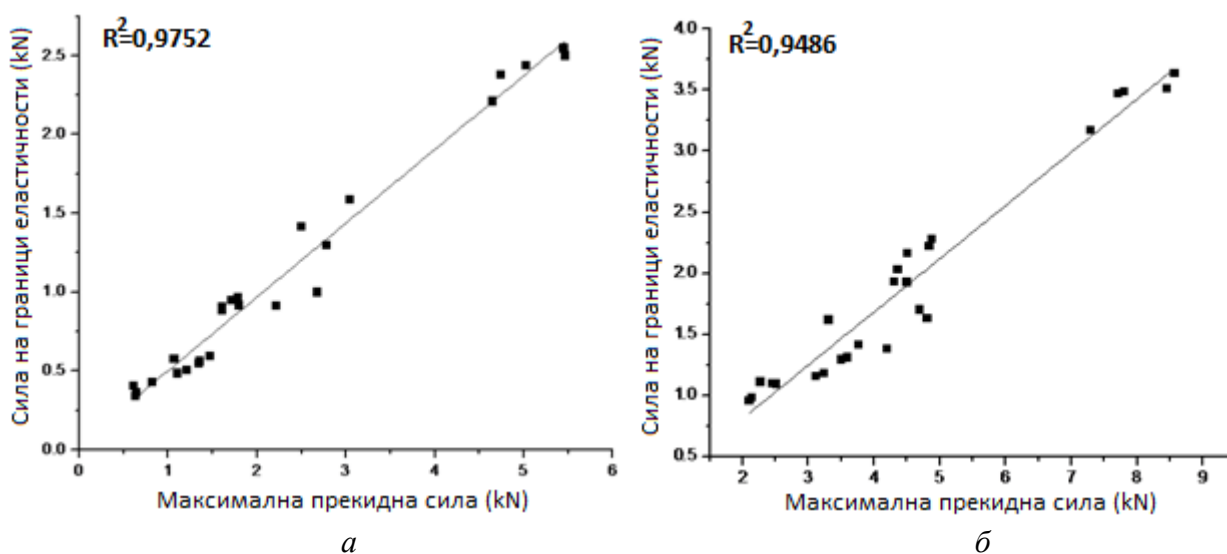
Слика 172. Веза силе на граници еластичности и максималне силе при прекиду геотекстила од ПЕС А влакана
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

На слици 173 приказана је веза сила на граници еластичности и максималних прекидних сила анализираних геотекстилних материјала од ПЕС Б влакана.



Слика 173. Веза силе на граници еластичности и максималне силе при прекиду геотекстила од ПЕС Б влакана
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

На слици 174 приказана је веза сила на граници еластичности и максималних прекидних сила анализираних геотекстилних материјала од ПП влакана.



Слика 174. Веза силе на граници еластичности и максималне силе при прекиду геотекстила од ПП влакана
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

Зависности силе на граници еластичности и максималне прекидне силе игланих нетканих геотекстилних материјала од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана могу се приказати регресионим једначинама (таб. 16):

Табела 16. Повезаност силе на граници еластичности и максималне прекидне силе геотекстила

Геотекстил	$F_e = a + bF_m$ (kN) (67)				
	Правац	<i>a</i>	Стандардна грешка	<i>б</i>	Стандардна грешка
ПЕС А	Дужина	0,14561	0,06045	0,49047	0,02867
	Ширина	0,10553	0,0359	0,58644	0,01433
ПЕС Б	Дужина	0,01423	0,01504	0,53137	0,01096
	Ширина	0,03024	0,04206	0,50682	0,0208
ПП	Дужина	0,03276	0,04205	0,4682	0,01523
	Ширина	-0,05701	0,10159	0,43563	0,02068

F_e – сила на граници еластичности геотекстила – (kN)

F_m – максимална прекидна сила геотекстила – (kN)

Анализирањем резултата из табеле 15 може се констатовати да се граница еластичних деформација у правцу дужине код ПЕС А геотекстила креће у интервалу од 52,98 % до 61,67 % у односу на максималну силу истежања, док у правцу ширине учешће силе на граници еластичности је од 59,83 % до 66,29 % у односу на вредност максималне силе истежања геотекстила.

Вредност силе на граници еластичности геотекстила од ПЕС Б влакана се креће у интервалу од 51,14 % до 58,08 % у односу на максималну прекидну силу у правцу дужине и од 48,23 % до 57,45 % у односу на вредности максималне прекидне силе у правцу ширине геотекстила.

Вредност силе на граници еластичности геотекстила од ПП влакана је у интервалу од 41,31 % до 55,75 % у односу на максималну прекидну силу у правцу дужине и од 36,96 % до 45,84 % у односу на максималну силу затезања у правцу ширине.

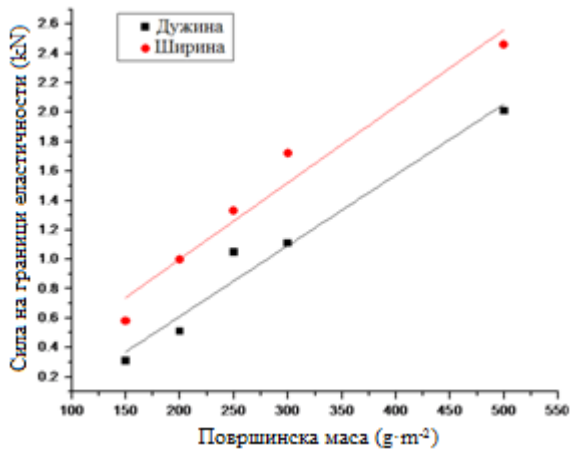
Високе вредности коефицијената корелације указују на то да се добијене регресионе једначине могу користити за предвиђање границе еластичности игланих геотекстилних материјала. При томе је пре свега циљ да се дефинишу дозвољена оптерећења која неће проузроковати појаву трајних деформација геотекстилних материјала.

Ако се упореде интензитети прекидних сила и сила на граници еластичности анализираних геотекстилних материјала, може се констатовати да резултати препоручују ПП влакна за израду игланих нетканих геотекстилних материјала.

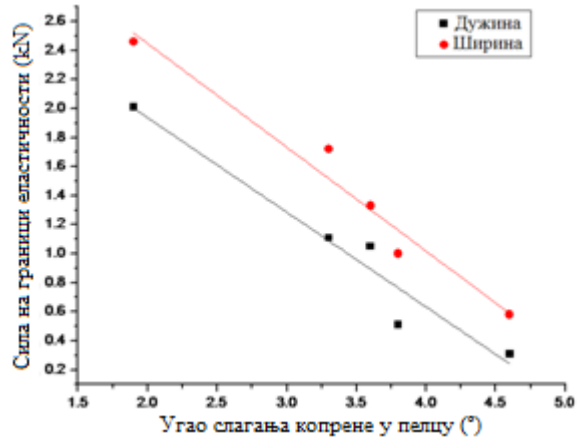
Границе еластичности нетканих геотекстилних материјала дефинисане на овакав начин, послужиле су као граничне вредности приликом формирања математичких модела. Односно, описано је понашање геотекстила у зони еластичних деформација, при чему модел описује понашање материјала од почетка затезања до границе еластичности.

3.11.3 Утицај површинске масе геотекстила и угла слагања копрене у пелцу на интензитет силе на граници еластичности

На сликама 175, 176 и 177 приказана је веза силе на граници еластичности и површинске масе геотекстила од регуларних ПЕС влакана, рециклираних ПЕС влакана и ПП влакна (а), као и веза силе на граници еластичности и угла слагања копрене у пелцу (б).

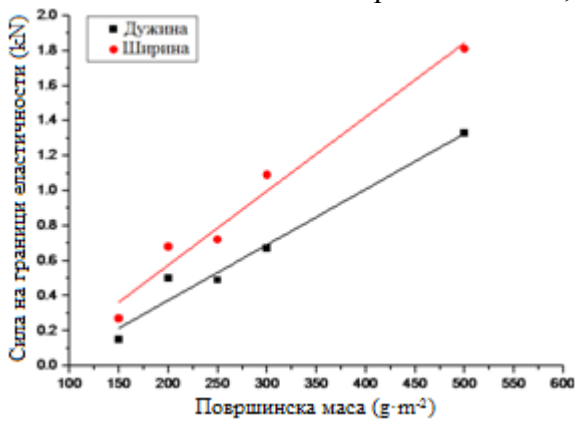


a

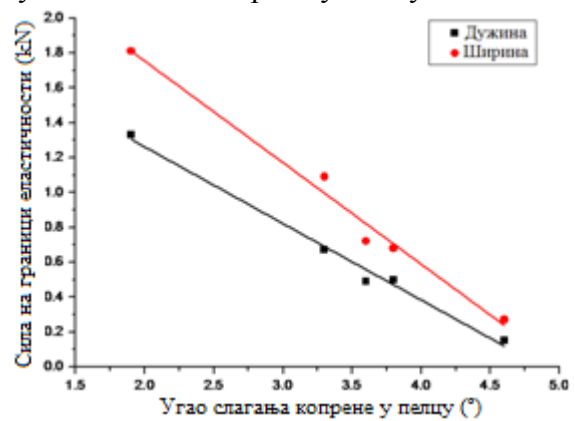


б

Слика 175. Сила на граници еластичности геотекстила од ПЕС А влакана у зависности од:
a - од површинске масе, *б* – угла слагања копрене у пелцу

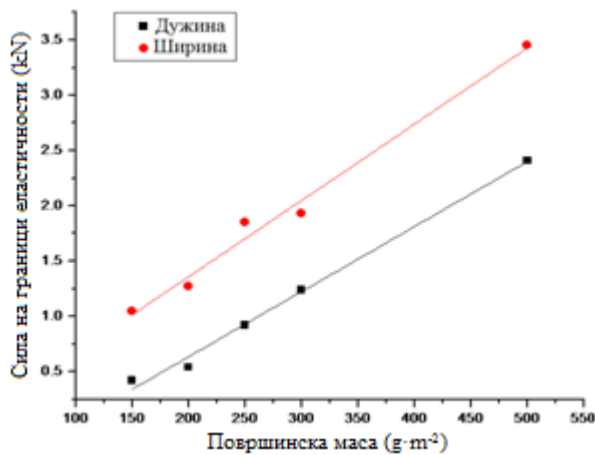


a

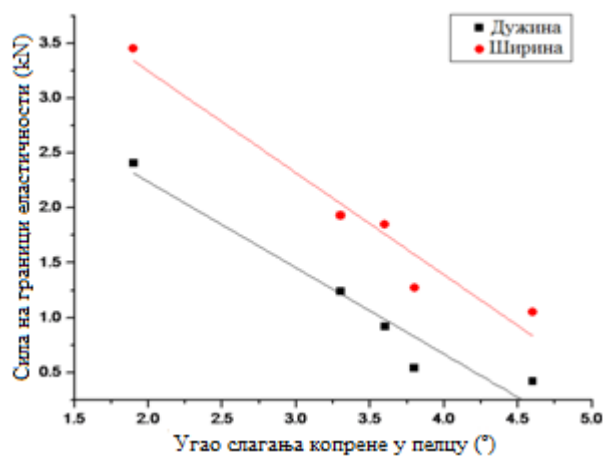


б

Слика 176. Сила на граници еластичности геотекстила од ПЕС Б влакана у зависности од:
a - од површинске масе, *б* – угла слагања копрене у пелцу



a



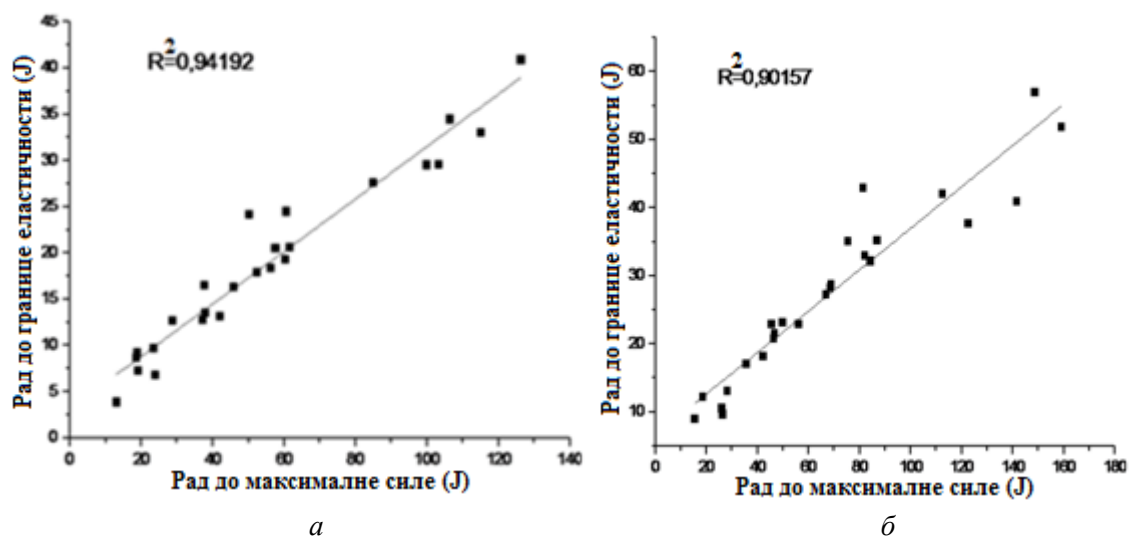
б

Слика 177. Сила на граници еластичности геотекстила од ППП влакана у зависности од:
a - од површинске масе, *б* – угла слагања копрене у пелцу

На основу резултата приказаних на сликама 175 *a*, 176 *a* и 177 *a* може се констатовати да геотекстили веће површинске масе имају веће вредности сила на граници еластичних деформација. Такође, може се закључити да вредности силе на граници еластичности опадају при већим угловима слагања копрене код свих анализираних геотекстила (сл. 175 *б*, 176 *б*, 177 *б*). Добијени резултати указују да се са променом угла слагања копрене у пелцу (сагласно техничким могућностима производне линије) може утицати на параметре квалитета геотекстилних материјала сагласно њиховој будућој намени.

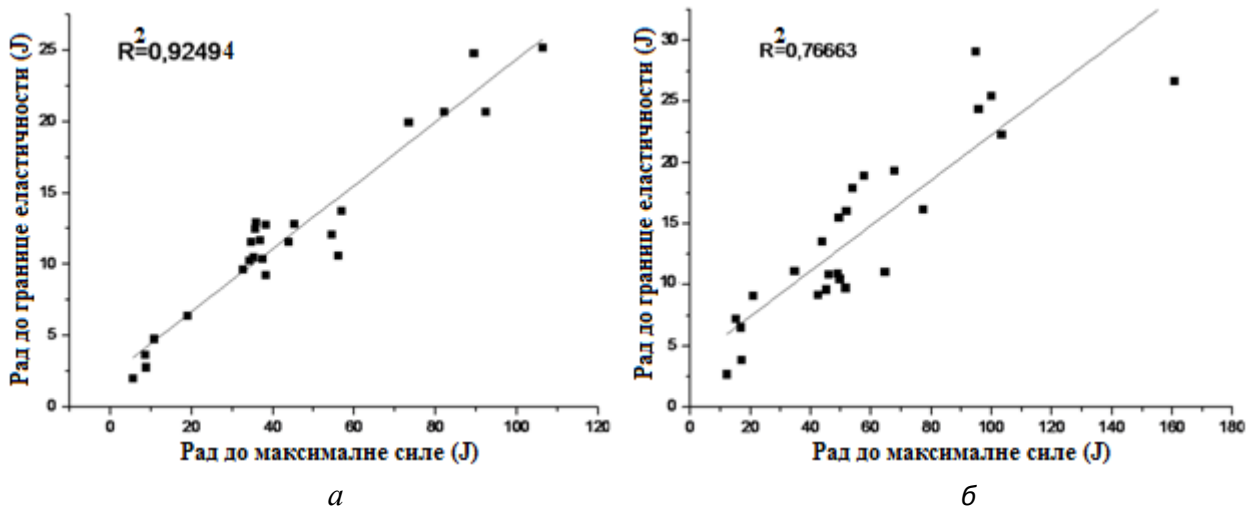
3.11.4 Анализа повезаности рада до границе еластичности и рада до максималне силе при затезању геотекстила

На слици 178 приказана је веза рада до максималне силе и рада до границе еластичности анализираних геотекстилних материјала од ПЕС А влакана.



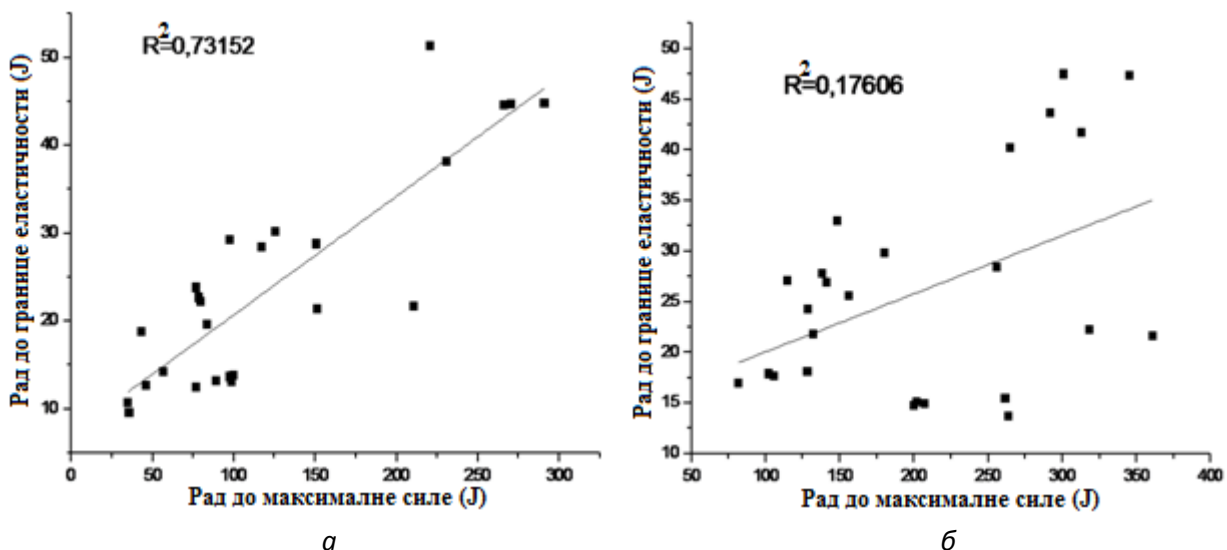
Слика 178. Веза рада до максималне силе и рада до границе еластичности геотекстила од ПЕС А влакана ; *a* - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

На слици 179 приказана је веза рада до максималне силе и рада до границе еластичности анализираних геотекстилних материјала од ПЕС Б влакана.



Слика 179. Веза рада до максималне силе и рада до границе еластичности геотекстила од ПЕС Б влакана ; *a* - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

На слици 180 приказана је веза рада до максималне силе и рада до границе еластичности анализираних геотекстилних материјала од ПП влакана.



Слика 180. Веза рада до максималне силе и рада до границе еластичности геотекстила од ПП влакана ; *a* - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

Зависности рада до максималне силе и рада до границе еластичности игланих нетканих геотекстилних материјала од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана могу се приказати регресионим једначинама (таб. 17):

Табела 17. Повезаност рада до максималне силе и рада до границе еластичности геотекстила

Геотекстил	$A_m = a + bA_e(J)$ (68)				
	Правац	a	Стандардна грешка	b	Стандардна грешка
ПЕС А	Дужина	3,16729	0,91915	0,28358	0,01436
	Ширина	6,55674	1,64228	0,30438	0,02048
ПЕС Б	Дужина	2,26047	0,66527	0,22142	0,01285
	Ширина	3,7173	1,37095	0,18563	0,02077
ПП	Дужина	7,19518	2,43342	0,13517	0,01659
	Ширина	14,33176	5,14057	0,05733	0,02316

A_m – рад до максималне силе геотекстила – (J)

A_e – рад до границе еластичности геотекстила – (J)

Прегледом добијених резултата у табели 15 може се констатовати да све врсте нетканих геотекстилних материјала имају већу јачину у правцу ширине у односу на дужину, што је резултат оријентације влакана у пелцу која су настала као последица начина слагања копрене у пелцу. Угао слагања копрене у пелцу креће се у интервалу од $1,9^\circ$ (геотекстил $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) до $4,6^\circ$ (геотекстил $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) у односу на попречну осу пелца, што је узрок анизотропности нетканих геотекстилних материјала. Као резултат оваквог начина слагања копрене у пелцу, влакна се оријентишу “попреко” у односу на уздужну осу пелца, што је и узрок веће јачине геотекстила у правцу ширине у односу на јачину у правцу дужине.

3.12 Предвиђање понашања геотекстила у зони еластичних деформација

При истезању на динамометру, брзина деформације има константну вредност.

Почетна дужина епрувете је 0.1 m, а брзина кретања клеме динамометра је $0.000333333 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Увођењем ових података у једначину 64 и уз претпоставку да су коефицијенти вискозности једнаки .

($\eta_N = \eta_k$), добија се једначина:

$$\sigma = a \cdot [1 - \exp(-b \cdot \varepsilon)] \quad (69)$$

Фитовањем експериментално добијених података у облику једначине 69, у одговарајућем програмском пакету, одређене су вредности коефицијента "a" и "b".

У табели 18 су дате вредности коефицијената модела “*a*” и “*b*”, добијених на основу реолошког модела који је постављен на бази експерименталних података за геотекстилне материјале од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана.

Табела 18. Коефицијенти модела до границе еластичности

Геотекстил	Дужина		Ширина	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
150 ПЕС А	-0.05125	-0.02979	-0.05018	-0.04534
200 ПЕС А	-0.08158	-0.02909	-0.12551	-0.03754
250 ПЕС А	-0.47681	-0.02798	-0.24770	-0.03493
300 ПЕС А	-0.39015	-0.02454	-0.38389	-0.03029
500 ПЕС А	-1.32462	-0.02670	-1.85427	-0.01862
150 ПЕС Б	-0,03980	-0,02215	-0,02885	-0,03900
200 ПЕС Б	-0,05886	-0,03536	-0,06310	-0,05222
250 ПЕС Б	-0,23251	-0,01746	-0,21033	-0,03167
300 ПЕС Б	-0,27000	-0,02899	-0,26432	-0,03987
500 ПЕС Б	-1,25566	-0,02111	-0,26457	-0,03997
150 ПП	-0.05995	-0.02289	-0.11817	-0.04202
200 ПП	-0.29688	-0.01795	-0.49271	-0.04405
250 ПП	-0.25879	-0.02386	-0.72161	-0.04055
300 ПП	-0.73209	-0.01912	-1.02410	-0.03295
500 ПП	-1.95869	-0.01933	-8.71542	-0.01219

На сликама од 181 до 185 приказане су зависности сила издужење (реалне и по математичком моделу) геотекстила у зони еластичних деформација ПЕС А геотекстила.

Реална крива (црна боја) је резултат експерименталних резултата. Црвена крива (крива по моделу) је настала апроксимацијом експерименталних резултата и математичког модела који описује понашање Лесеричевог тела (сл. 42), док зелена линија описује релативну грешку модела. Релативна грешка модела је одређена из једначине:

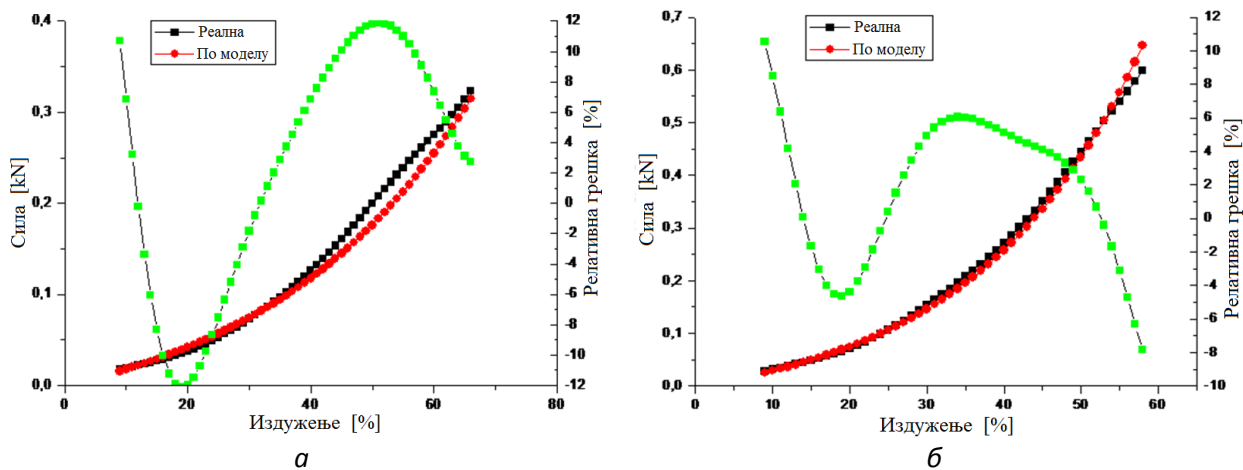
$$r_e = \frac{F_e - F_t}{F_e} \cdot 100. \quad [\%] \quad (70)$$

Где је:

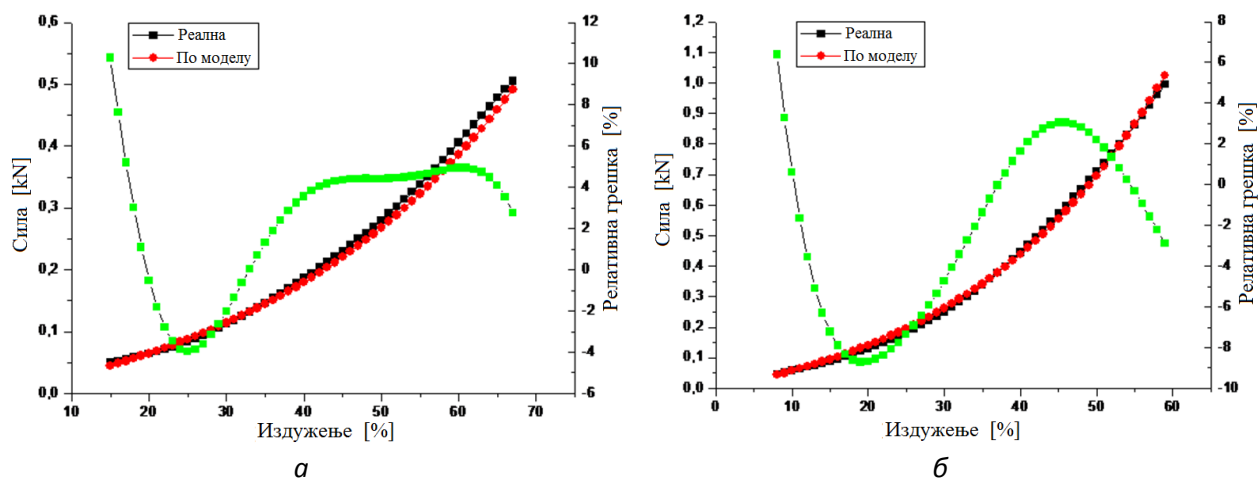
r_e – релативна грешка модела (%)

F_e – стварна вредност силе истезања геотекстила (измерена на динамометру)

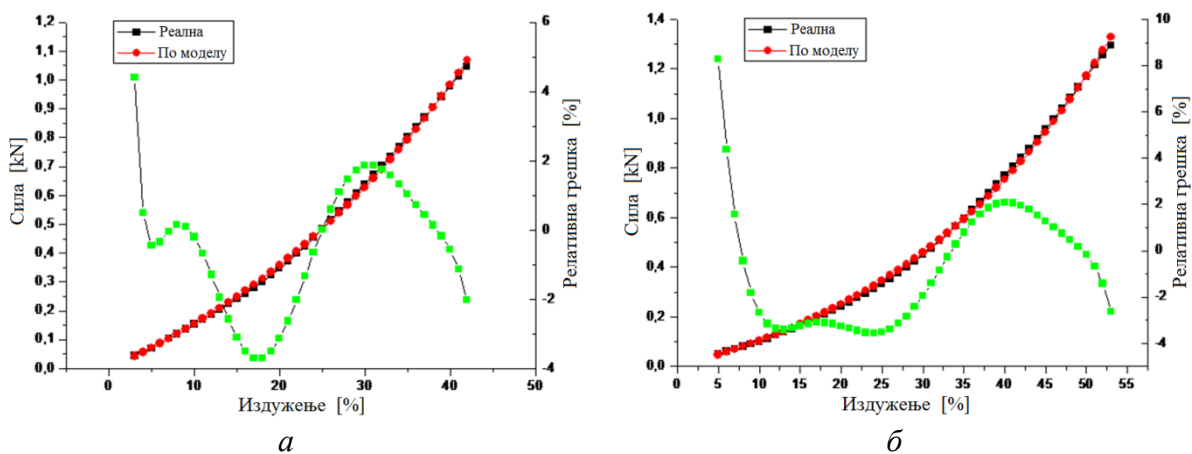
F_t – сила истезања одређена на основу математичког модела



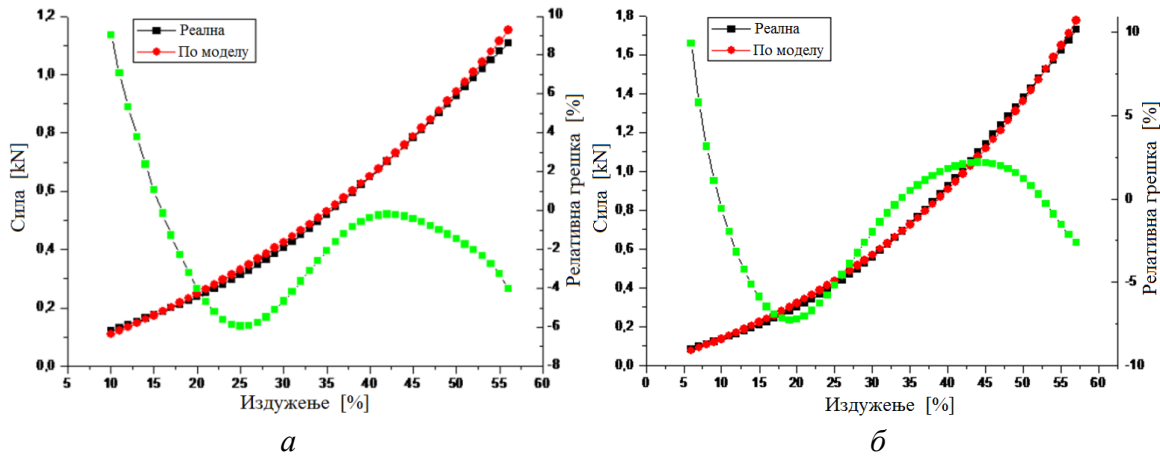
Слика 181. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 150 ПЕС А
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине



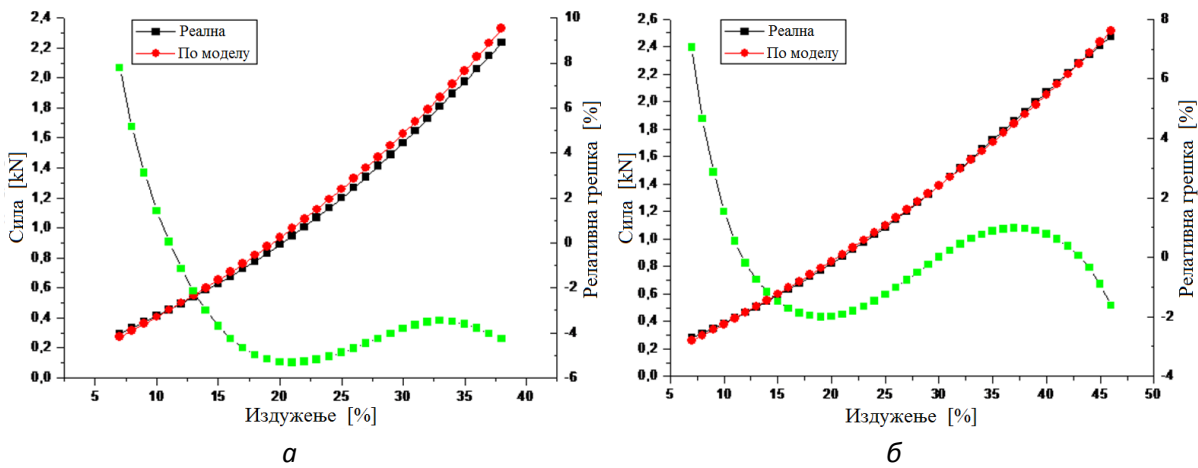
Слика 182. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 200 ПЕС А
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине



Слика 183. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 250 ПЕС А
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

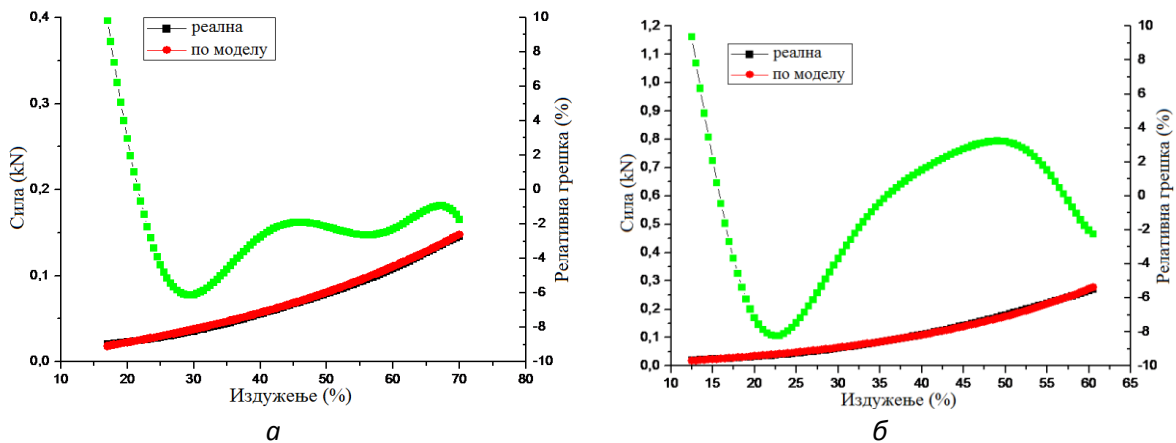


Слика 184. Зависност сила- издужење (реална и по моделу) геотекстила 300 ПЕС А
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

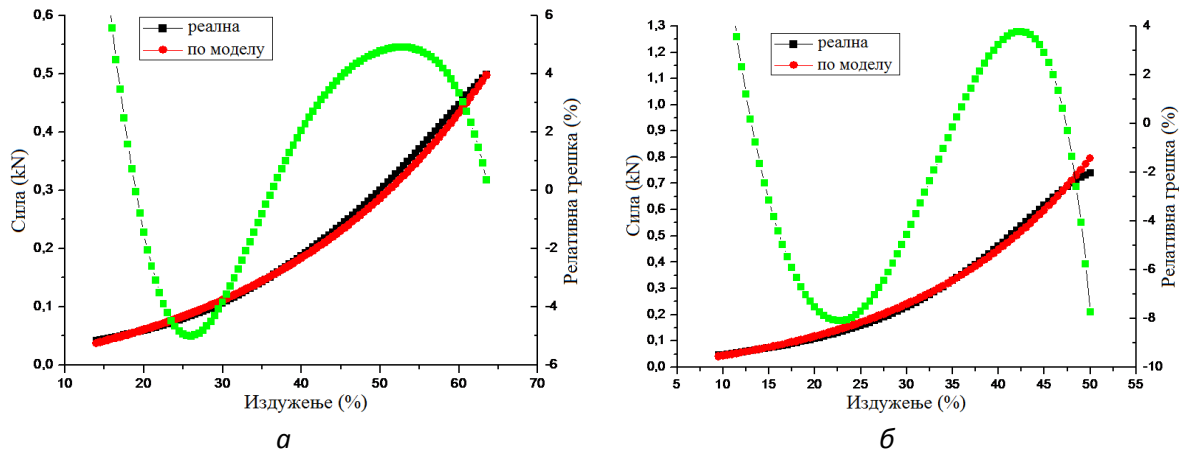


Слика 185. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 500 ПЕС А
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

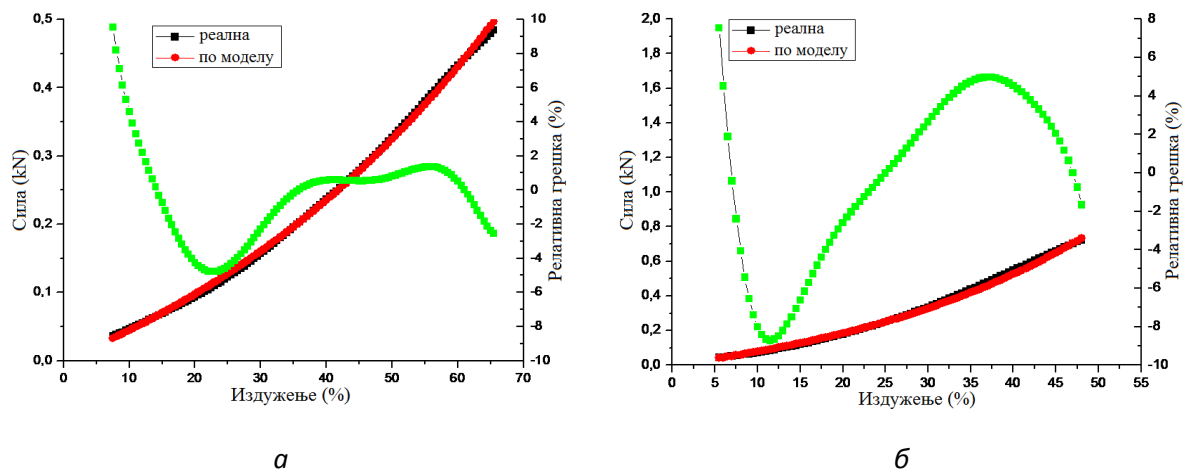
На сликама од 186 до 190 приказане су зависности сила издужење (реалне и по математичком моделу) геотекстила у зони еластичних деформација ПЕС Б геотекстила.



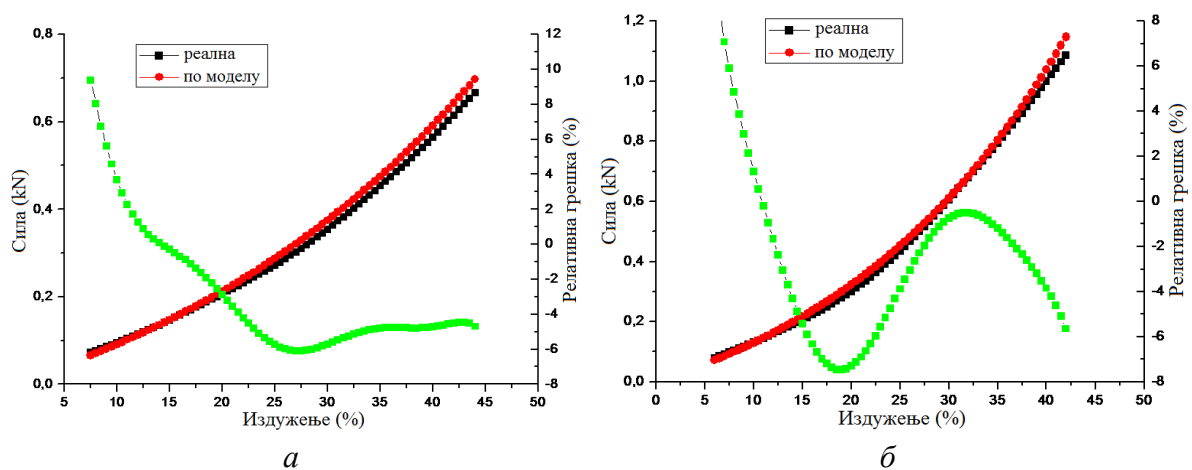
Слика 186. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 150 ПЕС Б
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине



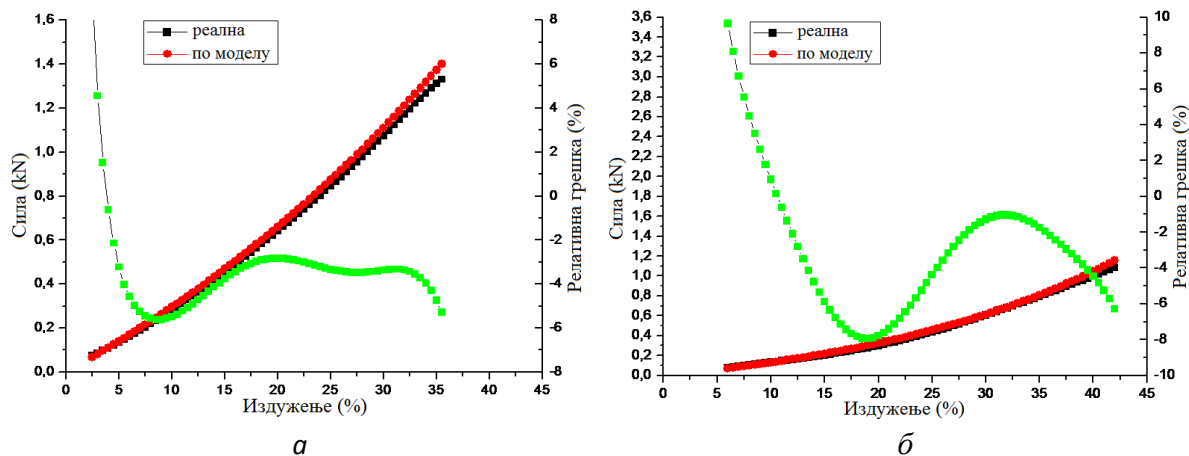
Слика 187. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 200 ПЕС Б
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине



Слика 188. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 250 ПЕС Б
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

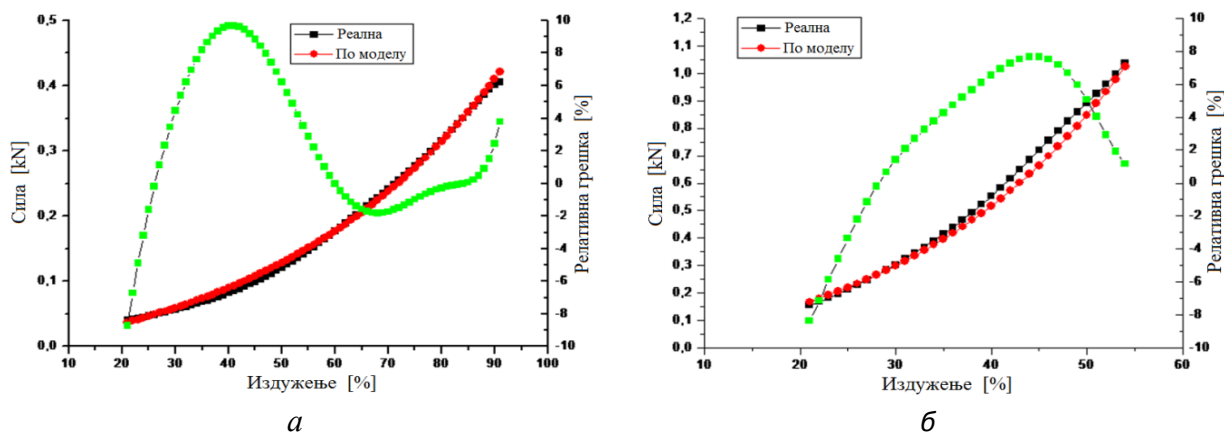


Слика 189. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 300 ПЕС Б
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

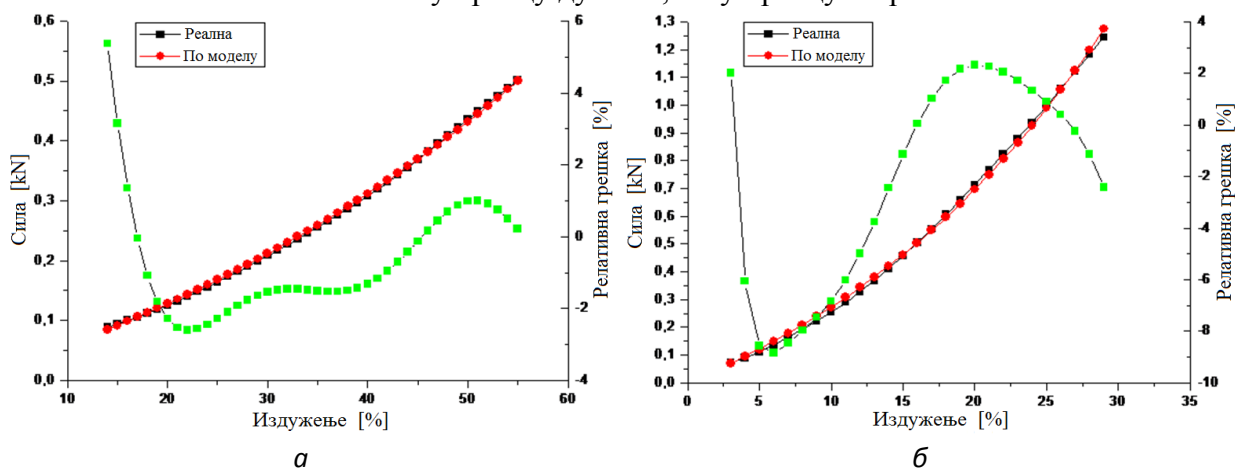


Слика 190. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 500 ПЕС Б
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

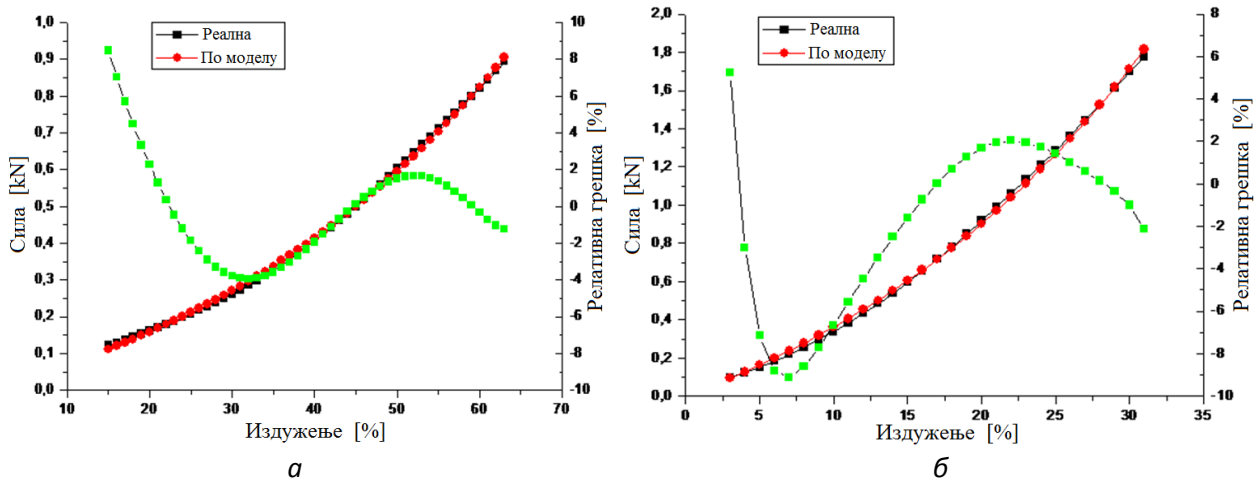
На сликама од 191 до 195 приказане су зависности сила издужење (реалне и по математичком моделу) геотекстила у зони еластичних деформација ПП геотекстила.



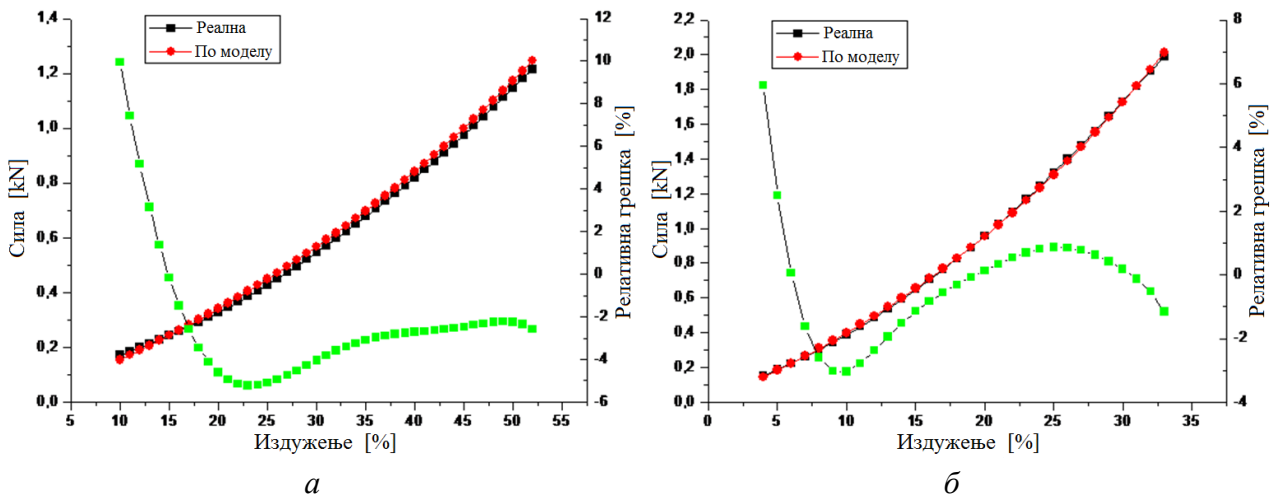
Слика 191. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 150 ПП
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине



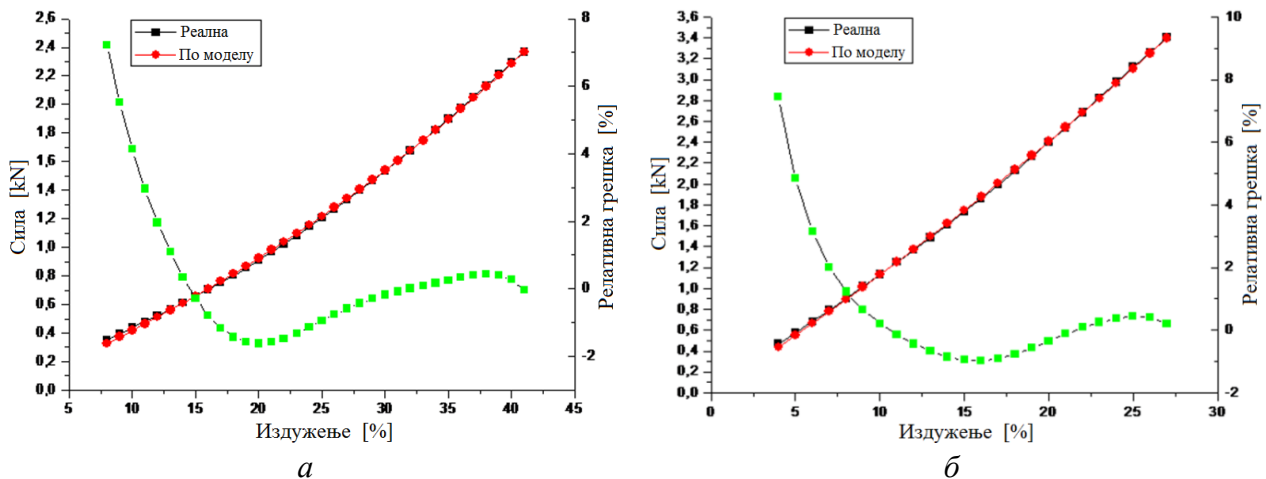
Слика 192. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 200 ПП
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине



Слика 193. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 250 ПП
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине



Слика 194. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 300 ПП
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине



Слика 195. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 500 ПП
a - у правцу дужине, *б* - у правцу ширине

Прегледом графика (слика 181 до слике 195) формираних на основу експерименталних резултата (црна боја) уочава се да оне немају линеаран облик, што потврђује да се влакнасти текстилни материјали не понашају идеално еластично чак ни при мањим напрезањима. На основу експерименталних резултата и облика кривих сила-истезање може се констатовати да се код свих игланих геотекстилних материјала уочава вискоеластично понашање у анализираном подручју. Граница еластичности је у суштини граница до које доминирају еластичне деформације у материјалу. После границе еластичности настаје већа брзина деформације материјала и нарушавање структуре игланог геотекстила. Због тога граница еластичности геотекстила представља гранично оптерећење при коме настале деформације у геотекстилу неће значајно утицати на стабилност структуре и трајност игланог геотекстила.

Анализом графика може се констатовати да модел Лесерича (сл. 42) коректно описује понашање геотекстила од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана у зони еластичних деформација (релативна грешка модела, по једначини 70, је у интервалу испод 10 %).

4. ЗАКЉУЧАК

Геотекстилни материјали се већ годинама употребљавају на многим светским градилиштима. Његовом применом могу се јефтиније градити путеви, железничке пруге, системи одводњавања, учвршћивање обала и заштитни зидови. Сагласно намени предвиђају се структурне и физичко механичке карактеристике геотекстилних материјала. Током процеса иглања, влакна у пелцу се повезују сопственим влакнима, која се иглама посебне конструкције преносе са површине у дубину пелца. На тај начин се формира производ специфичне структуре, отпоран на маханичка дејства што му омогућује широку примену и различите намене. Значајан утицај на карактеристике нетканих геотекстилних материјала има врста влакана која се користи за његово формирање, површинска маса геотекстила као и технолошки параметри процеса производње геотекстила.

На основу добијених резултата анализе параметара квалитета геотекстилних материјала, доказано је да неткани геотекстилни материјали од регуларних ПЕС А влакана имају боље карактеристике у односу на геотекстилне материјале од рециклираних ПЕС Б влакана а да геотекстилни материјали произведени од ПП влакана показују боље карактеристике у односу на ПЕС А геотекстилне материјале, те су самим тим и поузданији материјали за изградњу путева, аутопутева, инфраструктуре и објеката. Наравно, треба узети у обзир да примена рециклираних влакана за израду геотекстилних материјала има економску и еколошку оправданост.

Дефинисањем границе еластичности нетканих геотекстила долази се до сазнања о граничним интензитетима сила којима се могу подвргнути геотекстили а да се при томе не наруши њихов квалитет. Добијени резултати указују да трајна деформација геотекстила од регуларних ПЕС влакана у правцу дужине настаје при оптерећењима од 52,98 % до 61,67 % максималне затезне силе, док у правцу ширине граница еластичне деформације се креће у интервалу од 59,83 % до 66,29 % максималне затезне силе. Трајна деформација геотекстила од рециклираних ПЕС влакана у правцу дужине настаје при оптерећењима од 51,14 % до 58,08 % максималне затезне силе, док у правцу ширине граница еластичне деформације се креће у интервалу од 48,23 % до 57,45 % максималне затезне силе. Такође, резултати указују да трајна деформација геотекстила од ПП влакана у правцу дужине настаје при оптерећењима од 41,31 % до 55,75 % максималне затезне силе, док у правцу ширине граница еластичне деформације се креће у интервалу од 36,96 % до 45,84 % максималне затезне силе. Иглани неткани текстилни материјали су сложене тродимензионалне влакнасте структуре. Анизотропна структура игланих нетканих

материјала доприноси различитим, некада тешко објашњивим, понашањима геотекстила током затезања. Иглани неткани геотекстил је влакнасти производ, где и мала напрезања могу проузроковати клизања између влакана, а самим тим и појаву пластичних деформација. Појам „граница еластичности“ дефинише границу до које доминирају еластичне деформације у игланом геотекстилу. То је граница када материјал почиње брже да се деформише при напрезању, те се због тога треба сматрати границом дозвољених оптерећења.

Својства геотекстилних материјала се могу предвидети применом механичких модела. Тиме се сваки тип деформације реалних материјала опонаша простим моделом или се то опонашање представља сложеним моделима који се образују комбинацијом простих модела. Прости модели који служе за описивање еластичне, вискоеластичне и пластичне деформације су модели који дефинишу својства идеалних материјала којих нема у природи али чија својства, под одређеним условима оптерећења и осталих спољашњих утицаја, приближно одражавају понашање реалних материјала.

За описивање понашања геотекстилних материјала, од регуларних полиестарских влакана, рециклираних полиестарских влакана и полипропиленских влакана коришћен је модел Лесерича. При томе је развијен модел којим се може описати понашање игланог геотекстила у зони где доминирају еластичне деформације. У зони еластичних деформација дефинисана је веза сила-издужење за геотекстилне материјале од $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Констатовано је да је релативна грешка модела испод 10 %, па се може закључити да развијена метода може послужити за предвиђање понашања игланих нетканих геотекстилних материјала у зони еластичних деформација.

Механичке карактеристике игланих нетканих геотекстилних материјала зависе од њихових структурних решења, као и од технолошких услова израде. При томе, најзначајнију улогу имају структурне и физичко-механичке карактеристике влакана, оријентација влакана, површинска маса геотекстила и параметри процеса иглања. Познавањем узајамне повезаности механичких карактеристика нетканих геотекстилних материјала пружа се могућност њиховог правилног пројектовања у зависности од будуће намене, што може допринети уштеди сировине и енергије. Развијени модел може послужити за предвиђање граничних оптерећења нетканих геотекстила од регуларних ПЕС влакана, рециклираних ПЕС влакана и ПП влакана, после којих настају неповратне деформације ових материјала.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.jpgiroud.com/about-dr-giroud/biographical-note/>
2. <http://www.jpgiroud.com/statements-of-qualifications/liner-systems/>
3. Barrett R.J. Use of plastic filters in coastal structures, Proceedings of the 16th International Conference On Coastal Engineering, New York, American Society of Civil Engineers, 1048-1067, 1966.
4. Bipin J Agrawal, Geotextile; It's application to civil engineering-overview, National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology, Gujarat, India, 2011.
5. http://www.concreteconstruction.net/how-to/construction/fabric-forms-conform-to-any-shape_o
6. S.K. Bhatia, J.L. Smith, Geotextile characterization and pore size distribution: part I. a review of manufacturing proces, USA, 1996.
7. S.K. Bhatia, J.L. Smith, Geotextile characterization and pore size distribution: part II. a review of test methods and results, USA, 1996.
8. SRPS EN ISO 10318:2015- Geosintetika - Termini i definicije (ISO 10318:2015)
9. A. Rawal, R. Anandjiwala, Relationship between Process Parameters and Properties of Multifuncioal Needlepunched Geotextiles, Journal of Industrial Textiles Vol. 35 n°. 4, 271-285, 2006.
10. Zornberg J.G, Thompson N., Application Guide and Specifications for Geotextiles in Roadway Applications, Center for Transportation Research The University of Texas at Austin, Texas, 2012.
11. Zornberg J.G., Christopher B.R., Chapter 37: Geosynthetics. In: The Handbook of Groundwater Engineering, 2nd Edition, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL. 2006.
12. Priručnik za projektovanje puteva u republici Srbiji (SRDM 8-1), Javno preduzeće putevi Srbije, Projekat rehabilitacije transporta, Zemljani radovi, Beograd, 2012.
13. Abhay Sankar Sahu, Coastal Geosynthetics Protection an environmental appraisal, Indian Journal of Spatial Science Vol - 5.0 No. 2 , 55 - 61, 2014.
14. Sabit Adanur, Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles, Department of Textile Engineering Auburn University, Alabama, U.S.A, 1995.
15. Babić B. i dr. Geosintetici u graditeljstvu, HDGI, 1995.
16. Santvoort G.P.T.M. Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, Balkema, Rotterdam, 1994.

17. Collins B., Holtz R., Long-term performance of geotextile separators. Bucoda test site–phase III. Research Report. Washington State Transportation Center (TRAC). USA. 234, 2005.
18. Hufenus R., Rügger R., Flum D., Geosynthetics for reinforcement: resistance to damage during installation, in Proceedings of the 7th International Conference on Geosynthetic. Nice, France, 2002. Lisse: Balkema Publ., vol. 4, 1387–1390, 2002.
19. T. M. Allen, R.J. Bathurst, Characterization of geosynthetic load-strain behavior after installation damage, Geosynthetics International, USA, 1995.
20. Cvetanović A., Banić B. , Priručnik za radnike iz puteva -drugo izdanje- Beograd, 2008.
21. Mulabdić M., Sesar S., Laboratorijsko ispitivanje geotekstila, Dani ovlaštenih inženjera građevinarstva, Opatija, 2008.
22. http://ustperm.ru/osnovanie_vzletnoi_polosy_moskva_rossiya.html
23. Al-Hussaini M.M., E.B. Perry, Effect of horizontal reinforcement on stability of Earth masses, Technical report no. s-76-11, U.S Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1976.
24. D. Wojtasik, Evaluation of nonwoven geotextile as a filtration layer for internally unstable soils, Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Volume 40, 107–114, 2008.
25. Koerner G. R., “Update on GSI’s Geotextile Highway Separation Study,” Proceedings of the GRI-18 Conference on “Geosynthetics Research & Development In-Progress” at GeoFrontiers, GII Publication, Folsom, PA, 2005.
26. Dewey W. White, Jr. Literature review on geotextiles to improve pavements for general aviation airports, Geotechnical Laboratory, Department of the Army Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Mississippi, U.S.A., 1990.
27. Mulabdić M., Bošnjaković M. , Pojmovnik geosintetika, Građevinski fakultet Osijek, 2011.
28. Gautier K.B, Kocher CW and Drean JY. ,Anisotropic Mechanical Behavior of Nonwoven Geotextiles Stressed by Uniaxial Tension. Textile Research Journal, 77: 20-28., 2007.
29. <http://carthagemills.com/products-geotextiles-woven-percent-open-area-monofilaments.php>
30. <http://www.tikp.co.uk/knowledge/market-sectors/geotextiles/geotextiles/>

31. J. Paul Guyer, P.E., R.A., Introduction to Geotextiles in Pavement & Drainage Applications, Continuing Education and Development, Inc., 2009.
32. <http://www.integraideagroup.rs/pdf/Polimerni%20materijali.pdf>
33. Smernice za poslovanje sa Evropskom unijom-građevinarstvo, Privredna Komora Beograda, 2006.
34. A.B.M Abdullah, Jute geotextiles and their applications, Dhaka, 2008.
35. S.K. Shukla, Geosynthetics and their applications, Thomas Telford, London, G.B., 2002.
36. U. Smolczyk, Geotechnical engineering handbook, Ernst&Sohn, Germany, 555, 2003.
37. <http://files.yapikatalogu.com/Files/Products/7484/file-5288.pdf>
38. S.M. Luetlich, J.P. Giroud, R.C. Bachus, Geotextile filter design guide, Geotextiles and Geomembranes, Volume 11, 355-370, 1992.
39. Giroud J.P, Geosynthetic engineering: successes, failures and lessons learned, The Viena Terzaghi Lecture in Yokohama, 2006.
40. Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu - 3. Poglavlje, Hrvatske vode, Zagreb, 2012.
41. MAG, Code of practice, use of geotextile filters on waterways. Federal Waterways Engineering and Research Institute. Ed: BAW Karlsruhe. In-house publishing, 1993.
42. R.Flos, G. Brau, Design Fundamentals for Geosynthetic Soil Technique, Technische Universität München, Zentrum Geotechnik, Germany, 2004.
43. <http://www.dbkrieginc.com/geotextiles.php>
44. Koerner R.M., Designing with geosynthetics, Third edition, Prentice Hall, 1993.
45. <http://www.geosinindo.co.id/en/application/slope-reinforcement/>
46. Barry R. Christopher, Safdar A. Gill, Jean-Pierre Giroud, Ilan Juran, James K. Mitchel, Francois Schlosser, John Dunicliff, Reinforced soil structures, Volume I. Design and Construction Guidelines, U.S Department of Transportation, U.S.A., 1990.
47. Mitchell J.K., "Soil Improvement: State-of-the-Art", Proceedings of Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Sweden, Vol. 4, pp.509-565, 1981.
48. S. Debnath, M. Madhusoothanan, Studies on compression properties of polyester needle-punched nonwoven fabrics under dry and wet conditions, Journal of Industrial Textiles, 292-308, 2011.
49. S. Adanur, T. Liao, Computer simulation of mechanical properties of nonwoven geotextiles in soil-fabric interaction, Textile Research Journal, 68, 155-162, 1998.

50. Schlosser F., Vidal H., Reinforced Earth, Bull de Liaison des Laboratoires Routiers Ponts at Chaussees, no 41, France, 1969.
51. Broms B.B. ,Triaxial Tests with Fabric-Reinforced Soil. Proc. of the Intl Conf on the use of fabric in Geotechnics Vol. 3. Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, Paris, 129- 134, 1977.
52. Gray D.H., Athanasopoulos G.A., Ohashi H. Internal/External Fabric Reinforcement of Sand. Proceedings of the 2nd International Conference on Geotextiles. Vol. 3, pp. 805-809, 1982.
53. Gray D.H., Al-Refeai T., Behavior of Fabric vs. Fiber-Reinforced Sand. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 8, 804-820, 1986.
54. Chandrasekaran B., Broms B., Wong K. S. Strength of Fabric Reinforced Sand under Axisymmetric Loading. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 8, pp. 293-310, 1989.
55. Ashmawy A.K., Bourdeau P.L., Effect of geotextile reinforcement on the stressstrain and volumetric response of sand. Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics, Atlanta, Vol. 2, pp. 1079-1082., 1998.
56. Haeri S.M., Noorzad R., Oskoorouchi, A.M., Effect of Geotextile Reinforcement on the Mechanical Behavior of Sand. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 18, pp. 385-402, 2000.
57. Elton J. David, Patawaran M.A.B, Mechanically stabilized earth reinforcement tensile strength from tests of geotextile reinforced soil, Auburn University, U.S.A, 2005.
58. <http://www.ravago.rs/Proizvodi/Geosintetika/KATALOG%20geosintetika.pdf>
59. Mitchell J. K., B. Villet, Reinforcement of 230 slopes and embankments, National Cooperative Highway Research Program Report No.290. Transportation Research Board, Washington, 1987.
60. S.K Shukla, Reinforced soil and geosynthetic engineering, Department of Civil Engineering Guru Nanak Dev Engineering College, Ludhiana-141006, Punjab, India, 2012.
61. Zhai H, Mallick SB, Elton D and Adanur S. Performance Evaluation of Nonwoven Geotextiles in Soil-Fabric Interaction. Textile Research Journal 66, 269-276, 1996.
62. Asli Gunes, Ozlem Akat, Handan Cakar, Onder Yucel, Performance analysis of nonwoven polyester geotextiles used for slope stabilization on landscape reclamation applications, Tekstil ve Konfeksiyon, 23(4), İzmir, Turkey, 2013.
63. <http://www.solenotextiles.com/engineering/horizontal-and-vertical-drainage>

64. U. Sharma, A. Kanaoungob, A. Khatic, Application of Geotextiles in Pavement Drainage Systems, International Journal of Civil Engineering Research. ISSN 2278-3652, Volume 5, Number 4, 385-390, 2014.
65. K. a Meccai, E. al Hasan, Geotextiles in transportation applications, Second Gulf Conference on Roads, Abu Dhabi, 2004.
66. Saathoff, F., Cantré, St., Müller, W. The new German filtration criteria for geosynthetics in landfills, 5th European Geosynthetics Congress, Valencia, 264-268, 2012.
67. Yalciner A.C. i dr., Performance of Perforated Breakwaters Constructed With Geotextile Tubes., Journal of Coastal Research, 39, 2006.
68. www.teram.com
69. J.H. Greenwood, H.F. Schroeder, W. Voskamp, Durability of geosynthetics, CUR committee, Netherlands, 2012.
70. Zemljani radovi, Nasipi, predavanje 11- nastavak, Uređenje temeljnog tla geotekstilom i geomrežama, Zagreb.
71. Engeneering use of geotextiles, Departments of the army and the air force, Washington, 1995.
72. AASHTO, Guide for disign of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 1993.
73. Christopher B.R, Holtz R.D, Geotextile Engineering Manual, Federal Highway Administration, Washington, 1044, 1985.
74. Christopher B.R, Holtz R.D, Geotextiles for subgrade stabilization in permanent roads and highways, Proceedings of Geosynthetics `91, Atlanta, 701-713, 1991.
75. Holtz D. Robert, Christoper R. Varry, Berg R. Ryan, Geosintetic Design and Construction Guidelines, National Highway Institute, Virginia, 1998.
76. Perić N, Mulabdić M, Pregled kriterija za izbor kriterija za izbor geotekstila za filter, Br. 7, 43-55, 2013.
77. Mulabdić M, D. Mračković, T. Glavaš, Reinforced soil- a method that deserves improvement, Faculty of Civil Engineering, Universety J.J. Strossmayer, Osijek, Croatia, 2002.
78. Aiban S.A., Ali S.M., Nonwoven Geotextile-Sabkha and -Sand Interface Friction Characteristics Using Pullout Tests, Geosynthetics International, Vol. 8, No. 3, 193-220., 2001.
79. Giroud, J. P., Noiray, L., Geotextile reinforced Unpaved Roads. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 107. No. GT 9. 1981.

80. S.Šunjka, V. Petrović, Tehnologija netkanog tekstila, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin" Zrenjanin, 1996.
81. Jovan Stepanovic, Svetlana Janjić, Mehaničke tekstilne tehnologije, Univerzitet u Banja Luci, Tehnološki fakultet, Banja Luka, 2015.
82. J. Stepanovic, D. Stojiljkovic, D. Trajkovic, Nataša Radmanovac, D. Đorđić, Analiza ponašanja iglanih geotekstila u zoni elastičnih deformacija, XI simpozijum "Savremene tehnologije i privredni razvoj", Leskovac, Zbornik izvoda radova, 165., 2015.
83. Cestotex, Priručnik za primjenu netkanih tekstila cestotex u cestogradnji, Regeneracija Zabok
84. M. Patel, D. Bhramhatt, Needle punching technology, Faculty of Technology and Engineering, The Maharaja Sayajirao University of Baroda, Vadodara, India, 2010.
85. <http://www.slideshare.net/AbdullahMaaz1/nonwovens-slides>
86. <http://web.utk.edu/~mse/Textiles/Needle%20Punched%20Nonwovens.htm>
87. Ali Pak, Zahra Zahmatkesh, Experimental study of geotextile's drainage and filtration properties under different hydraulic gradients and confining pressures, International Journal of Civil Engineering, Iran, 2011.
88. Saidi MA, Drean J.Y. and Adolphe D., Laser Doppler Anemometry for an Experimental Study of Flow Through Geotextiles, Influence of Manufacturing Process. Textile Research Journal, 69: 10-15, 1999.
89. Cincik E. and Koc E. An analysis on air permeability of polyester/viscose blended needle-punched nonwovens. Textile Research Journal , 82: 430-442, 2012.
90. Kukin G. N., Solov'ev A. N., Koblykov A. I., Tekstilnoe materialovedenie, Legprombytizdat, Moscow, 1989.
91. Buzov B. A., Modestova T. A., Alymenkova N. D., Marialovedenie shveynogo proizvodstva, Legprombytizdat, Moscow, 1986.
92. Koblyakov A., Laboratory Practise in the Study of Textile Materials, Mir Publishers, Moscow, 1989.
93. Sadykova F. Kh., Sadykova D. M., Kudryashova N. I., Tekstilnoe materialovedenie i osnovytekstilnykh proizvodstv, Legprombytizdat, Moscow, 1989.
94. Antoine R., Courard, L., Perforation Strength of geosynthetics and Sphericity of coarse grains: a new approach, Geotextiles and geomembranes, Vol.14, 585 – 600., 1996.
95. A. Bolt, A. Duszynska, Static puncture resistance of non-woven geotextiles, The 10 th International Conference, Vilnius, Lithuania, 1083-1088, 2010.

96. http://www.geotex2000.com/test/file_eng/slide3.asp
97. A. Rawal, S. Anand, T. Shah, Optimization of Parameters for the Production of needlepunched nonwoven Geotextiles, Journal of Industrial Textiles Vol. 37 n°. 4, 341-356, 2008.
98. Kukin G. N., Solov'ev A. N., Tekstilnoe materialovedenie-chast II, Leghaya industriya, Moscow, 1964.
99. D. Stojiljković. Ž. Živković, Ž. Tasić, Modelovanje istežanje pređe, Monografija, Leskovac, 1995.
100. Pan N., Composites and Technology, No. 56, pp. 311-327, 1996.
101. Stojiljkovic D., Petrovic V., Djurovic M. Rheological modeling of yarn elongation. Tekstil; 9: 551-561, 2007.
102. ISO 4915 Textiles-Stitch types - Classification and terminology, 1991.
103. SRPS ISO 1130:2003-Tekstilna vlakna - Neke metode uzimanja uzoraka za ispitivanje
104. ISO 6989:1981 (metoda A)-Vlakna - Određivanje srednje dužine tekstilnih vlakana
105. SRPS F.S2.212:1963-Ispitivanje tekstila - Određivanje titra tekstilnih vlakana
106. SRPS ISO 5079:2002-Tekstilna vlakna - Određivanje prekidne sile i prekidnog izduženja pojedinačnih vlakana
107. SRPS EN ISO 9862:2012-Geosintetika - Uzimanje uzoraka i priprema epruveta za ispitivanje.
108. SRPS EN ISO 9864:2005-Geosintetika - Metoda za određivanje mase po jedinici površine geotekstila i geotekstilu sličnih proizvoda
109. <http://www.bmisurplus.com/products/35818-mettler-h311-analytical-balance-scale>
110. SRPS EN ISO 9863-1:2010-Geosintetika - Određivanje debljine pri unapred utvrđenim pritiscima
111. <http://www.geotex2000.com/controlli.asp?lin=eng&sez=1&subsez=3#>
112. SRPS EN ISO 10319:2012-Geotekstil - Ispitivanje zatezanjem metodom širokog laboratorijskog uzorka
113. <http://sigmainstrumentation.blogspot.rs/2009/08/geo-textile-testing-with-tinius-olsen.html>
114. SRPS EN ISO 12236:2012-Geosintetika - Statičko ispitivanje proboja (CBR ispitivanje)
115. ADP doo Mladenovac, interni podaci.

6. СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1. Врсте геосинтетика и главне сврхе употребе [12]

Табела 2. Стандардне ознаке за опис геосинтетика према стандарду SRPS EN ISO 10318:2015 [8]

Табела 3. Карактеристике тканог геотекстила у зависности од његове површинске масе [32]

Табела 4. Основна техничка својства најчешће употребљаваних влакана за неткани текстил

Табела 5. Списак стандарда у оквиру директиве 89/106/ЕЕС за грађевинске производе [33]

Табела 6. Предвиђање оријентације влакана игланих геотекстила [9]

Табела 7. Емпиријски модели геотекстилних карактеристика [9]

Табела 8. Важна својства и својства геосинтетика које треба проверити приликом градње путева према захтевима стандарда SRPS EN 13249 [12]

Табела 9. Минимални захтеви за прекидну силу и истезање у попречном и уздужном смеру за геотекстиле за одвајање, одређени поступком према SRPS EN ISO 10319:2012 [12]

Табела 10. Минимални захтеви за хидрауличне особине геосинтетика за одвајање [12]

Табела 11. Карактеристике ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана коришћених за израду геотекстила

Табела 12. Параметри иглања

Табела 13. Карактеристике геотекстилних материјала [115]

Табела 14. Техничке карактеристике геотекстила од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана [115]

Табела 15. Резултати испитивања ПЕС А, ПЕС Б и ПП геотекстилних материјала

Табела 16. Повезаност силе на граници еластичности и максималне прекидне силе геотекстила

Табела 17. Повезаност рада до максималне силе и рада до границе еластичности геотекстила

Табела 18. Коефицијенти модела до границе еластичности

7. СПИСАК СЛИКА

Слика 1. Подаци о количини уграђених геосинтетика у свету [21]

Слика 2. Геотекстил при уградњи [22]

Слика 3. Подела геосинтетика [27]

Слика 4. Иглани (а) и термички спојени (б) геотекстил, микроскопски приказ [28]

Слика 5. (а) Ткани монофиламентни геотекстили [29], (б) ткани мултифиламентни геотекстили, (в) „tape“ ткани геотекстили, (г) DOS геотекстили (directionally oriented structures) [30]

Слика 6. Разлика у вредностима сила пробијања (а) и прекидних сила (б) између тканог и нетканог геотекстила [30]

Слика 7. Разлика у прекидној сили и издужењу између тканог, нетканог термички везаног и механички везаног геотекстила [30]

Слика 8. Геотекстил као филтар [37]

Слика 9. Примери правилне и неправилне употребе филтарског геосинтетика [12]

Слика 10. Раздвајање различитих слојева материјала са геотекстилом [43]

Слика 11. Насип са и без геотекстилног ојачања [45]

Слика 12. Пример циркуларне анализе клизања ојачаног земљишта на стабилном тлу [58]

Слика 13. Дренажни геотекстил [63]

Слика 14. Геотекстил уграђен у циљу заштите обале [68]

Слика 15. Резултат лабораторијског испитивања песка ојачаног геотекстилом (а) [70] и пример геотекстила у функцији ојачања (б) [68]

Слика 16. Улога геотекстила при изградњи путева [58]

Слика 17. Дубина колотрага са и без геосинтетика [58]

Слика 18. Распоред оптерећења испод саобраћајно оптерећених површина [79]

Слика 19. Формирање пелца са уздужном оријентацијом влакана [81]

Слика 20. Хоризонтални полагаач копрене за попречни положај влакана у пелцу [81]

Слика 21. Шема технолошког поступка за производњу нетканих текстила механичким начином израде [83]

Слика 22. Фаза иглања нетканог текстила [84]

Слика 23. Приказ основних елемената машине и поступка иглања [85]

Слика 24. Игле са истањеним стаблом коришћене при изради испитиваних геотекстилних материјала

Слика 25 . Процес иглања (лево) и скица (десно) [86]

Слика 26. Угао слагања копрене у пелцу

Слика 27. Ефекат дубине иглања (h_i) (а) и учестаности иглања (n) (б) на оријентацију влакана [15]

Слика 28. Ефекат (а) дубине продирања игле (h_i) и (б) учестаности иглања (n) на величине пора [15]

Слика 29. Утицај површинске масе на пропустљивост ваздуха нетканог текстилног материјала игланог са густином иглања од 225 cm^{-2} и површинске масе за четири узорка: а) $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ б) $75 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ в) $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ г) $125 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ [89]

Слика 30. Утицај различитих густина иглања на пропустљивост ваздуха: а) $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и 75 cm^{-2} б) $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и 150 cm^{-2} в) $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и 225 cm^{-2} [89]

Слика 31. Утицај густине иглања на изглед и структуру нетканог текстилног материјала од вискозе површинске масе од $50 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, са густином иглања: а) 75 cm^{-2} б) 150 cm^{-2} в) 225 cm^{-2} [89]

Слика 32. Промена форме и димензија геотекстила при затезању

Слика 33. Одређивање рада кидања на основу дијаграма сила - издужење

Слика 34. Испитивање прекидне силе и прекидног издужења према SRPS EN ISO 10319:2012

Слика 35. Приказ оптерећења, температуре и издужења током испитивања прекидне силе на динамометру по дужини (а-дијаграм, б-снимак епрувете термовизијском камером) [28]

Слика 36. Приказ оптерећења, температуре и издужења током испитивања прекидне силе на динамометру по ширини (а-дијаграм, б-снимак епрувете термовизијском камером) [28]

Слика 37. Шематски приказ апарата за динамичко пробијање [96] (а) и изглед епрувете након пробијања (б) [97]

Слика 38. Maxwell-ов модел

Слика 39. Модел Kelvin-Voigt-а

Слика 40. Трокомпонентни модел Kelvin-Voigt-а

Слика 41. Frenkel-ов модел

Слика 42. Модел Лесерича

Слика 43. Пример припреме епрувете за испитивање влакана

Слика 44. Типична сила/издужење крива (SRPS ISO 5079:2002) [106]

Слика 45. Аналитичка вага Mettler H311 [109]

Слика 46. Мерење дебљине геотекстила према SRPS EN ISO 9863-1:2010 [111]

Слика 47. Динамометар произвођача Mesdan-испитивање прекидне силе геотекстила према SRPS EN ISO 10319:2012 [113]

Слика 48. Типично оптерећење по јединици ширине/деформације криве (SRPS EN ISO 10319:2012) [112]

Слика 49. График зависност сила-издужење функције $F(\epsilon)$, први $F'(\epsilon)$ и други $F''(\epsilon)$ извод функције

Слика 50. Статичко пробијање-CBR према SRPS EN ISO 12236:2012 [113]

Слика 51. Пример типичне криве - клип-сила наспрам клип-померање (SRPS EN ISO 12236:2012) [114]

Слика 52. Микроскопски приказ ПЕС А влакна при увећању од 1000 пута

Слика 53. Микроскопски приказ ПЕС Б влакна при увећању од 1000 пута

Слика 54. Микроскопски приказ ПП влакна при увећању од 1000 пута

Слика 55. Тачка топљења ПЕС А влакана

Слика 56. Тачка топљења ПЕС Б влакана

Слика 57. Тачка топљења ПП влакана

Слика 58. Прекидна сила ПЕС А влакана

Слика 59. Прекидна сила ПЕС Б влакана

Слика 60. Прекидна сила ПП влакана

Слика 61. Резултати мерења површинских маса геотекстилних узорака

Слика 62. График дебљине геотекстилних материјала

Слика 63. Упоредни преглед прекидне силе по дужини за геотекстиле површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 64. Упоредни преглед прекидне силе по ширини за геотекстиле површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 65. Упоредни преглед прекидне силе по дужини за геотекстиле површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 66. Упоредни преглед прекидне сила по ширини за геотекстиле површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 67. Упоредни преглед прекидне силе по дужини за геотекстиле површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 68. Упоредни преглед прекидне силе по ширини за геотекстиле површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 69. Упоредни преглед прекидне силе по дужини за геотекстиле површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 70. Упоредни преглед прекидне силе по ширини за геотекстиле површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 71. Упоредни преглед прекидне силе по дужини за геотекстиле површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 72. Упоредни преглед прекидне силе по ширини за геотекстиле површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 73. Преглед прекидних сила у правцу дужине геотекстила од ПЕС А влакана

Слика 74. Преглед прекидних сила у правцу ширине геотекстила од ПЕС А влакана

Слика 75. Преглед прекидних сила у правцу дужине геотекстила од ПЕС Б влакана

Слика 76. Преглед прекидних сила у правцу ширине геотекстила од ПЕС Б влакана

Слика 77. Преглед прекидних сила у правцу дужине геотекстила од ПП влакана

Слика 78. Преглед прекидних сила у правцу ширине геотекстила од ПП влакана

Слика 79. Преглед максималних сила у правцу дужине геотекстила површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 80. Преглед максималних сила у правцу ширине геотекстила површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 81. Преглед максималних сила у правцу дужине геотекстила површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 82. Преглед максималних сила у правцу ширине геотекстила површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 83. Преглед максималних сила у правцу дужине геотекстила површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 84. Преглед максималних сила у правцу ширине геотекстила површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 85. Преглед максималних сила у правцу дужине геотекстила површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 86. Преглед максималних сила у правцу ширине геотекстила површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 87. Преглед максималних сила у правцу дужине геотекстила површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 88. Преглед максималних сила у правцу ширине геотекстила површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 89. Преглед силе на граници еластичности у правцу дужине за геотекстиле површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 90. Преглед силе на граници еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 91. Преглед силе на граници еластичности у правцу дужине за геотекстиле површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 92. Преглед силе на граници еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 93. Преглед силе на граници еластичности у правцу дужине за геотекстиле површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 94. Преглед силе на граници еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 95. Преглед силе на граници еластичности у правцу дужине за геотекстиле површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 96. Преглед силе на граници еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 97. Преглед силе на граници еластичности у правцу дужине за геотекстиле површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 98. Преглед силе на граници еластичности у правцу ширине за геотекстиле површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 99. Упоредни преглед силе пробијања за геотекстиле површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 100. Упоредни преглед силе пробијања за геотекстиле површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 101. Упоредни преглед силе пробијања за геотекстиле површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 102. Упоредни преглед силе пробијања за геотекстиле површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 103. Упоредни преглед силе пробијања за геотекстиле површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 104. Преглед сила пробијања геотекстила од ПЕС А влакана

Слика 105. Преглед сила пробијања геотекстила од ПЕС Б влакана

Слика 106. Преглед сила пробијања геотекстила од ПП влакана

Слика 107. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу дужине површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 108. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу ширине површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 109. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу дужине површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 110. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу ширине површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 111. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу дужине површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 112. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу ширине површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 113. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу дужине површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 114. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу ширине површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 115. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу дужине површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 116. Преглед резултата прекидних издужења геотекстила у правцу ширине површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 117. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу дужине

Слика 118. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу ширине

Слика 119. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу дужине

Слика 120. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу ширине

Слика 121. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу дужине

Слика 122. Приказ прекидних издужења геотекстила у правцу ширине

Слика 123. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу дужине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 124. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу ширине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 125. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу дужине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 126. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу ширине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 127. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу дужине геотекстила површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 128. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу ширине геотекстила површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 129. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу дужине геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 130. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу ширине геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 131. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу дужине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 132. Преглед резултата издужења при максималној сили у правцу ширине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 133. Резултати издужења до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 134. Резултати издужења до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 135. Резултати издужења до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 136. Резултати издужења до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 137. Резултати издужења до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 138. Резултати издужења до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 139. Резултати издужења до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 140. Резултати издужења до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 141. Резултати издужења до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 142. Резултати издужења до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 143. Преглед рада до максималне силе у правцу дужине геотекстила површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 144. Преглед рада до максималне силе у правцу ширине геотекстила површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 145. Преглед рада до максималне силе у правцу дужине геотекстила површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 146. Преглед рада до максималне силе у правцу ширине геотекстила површинских маса $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 147. Преглед рада до максималне силе у правцу дужине геотекстила површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 148. Преглед рада до максималне силе у правцу ширине геотекстила површинских маса $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 149. Преглед рада до максималне силе у правцу дужине геотекстила површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 150. Преглед рада до максималне силе у правцу ширине геотекстила површинских маса $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 151. Преглед рада до максималне силе у правцу дужине геотекстила површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 152. Преглед рада до максималне силе у правцу ширине геотекстила површинских маса $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 153. Преглед рада до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 154. Преглед рада до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 155. Преглед рада до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 156. Преглед рада до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 157. Преглед рада до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 158. Преглед рада до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 159. Преглед рада до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 160. Преглед рада до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 161. Преглед рада до границе еластичности у правцу дужине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 162. Преглед рада до границе еластичности у правцу ширине геотекстила површинске масе $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

Слика 163. Утицај дебљине на прекидну силу геотекстила од ПЕС А влакана

Слика 164. Утицај дебљине на прекидну силу геотекстила од ПЕС Б влакана

Слика 165. Утицај дебљине на прекидну силу геотекстила од ПП влакана

Слика 166. Утицај дебљине на издужење при максималној сили затезања геотекстила од ПЕС А влакана

Слика 167. Утицај дебљине на издужење при максималној сили затезања геотекстила од ПЕС Б влакана

Слика 168. Утицај дебљине на издужење при максималној сили затезања геотекстила од ПП влакана

Слика 169. Утицај дебљине на силу пробијања геотекстила од ПЕС А влакана

Слика 170. Утицај дебљине на силу пробијања геотекстила од ПЕС Б влакана

Слика 171. Утицај дебљине на силу пробијања геотекстила од ПП влакана

Слика 172. Веза силе на граници еластичности и максималне силе при прекиду геотекстила од ПЕС А влакана ; a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 173. Веза силе на граници еластичности и максималне силе при прекиду геотекстила од ПЕС Б влакана ; a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 174. Веза силе на граници еластичности и максималне силе при прекиду геотекстила од ПП влакана ; a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 175. Сила на граници еластичности геотекстила од ПЕС А влакана у зависности од: a - од површинске масе, b – угла слагања копрене у пелцу

Слика 176. Сила на граници еластичности геотекстила од ПЕС Б влакана у зависности од: a - од површинске масе, b – угла слагања копрене у пелцу

Слика 177. Сила на граници еластичности геотекстила од ПП влакана у зависности од: a - од површинске масе, b – угла слагања копрене у пелцу

Слика 178. Веза рада до максималне силе и рада до границе еластичности геотекстила од ПЕС А влакана ; a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 179. Веза рада до максималне силе и рада до границе еластичности геотекстила од ПЕС Б влакана ; a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 180. Веза рада до максималне силе и рада до границе еластичности геотекстила од ПП влакана ; a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 181. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 150 ПЕС А a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 182. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 200 ПЕС А a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 183. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 250 ПЕС А a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 184. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 300 ПЕС А a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 185. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 500 ПЕС А a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 186. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 150 ПЕС Б a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 187. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 200 ПЕС Б a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 188. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 250 ПЕС Б a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 189. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 300 ПЕС Б

a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 190. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 500 ПЕС Б

a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 191. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 150 ПП

a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 192. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 200 ПП

a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 193. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 250 ПП

a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 194. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 300 ПП

a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

Слика 195. Зависност сила-издужење (реална и по моделу) геотекстила 500 ПП

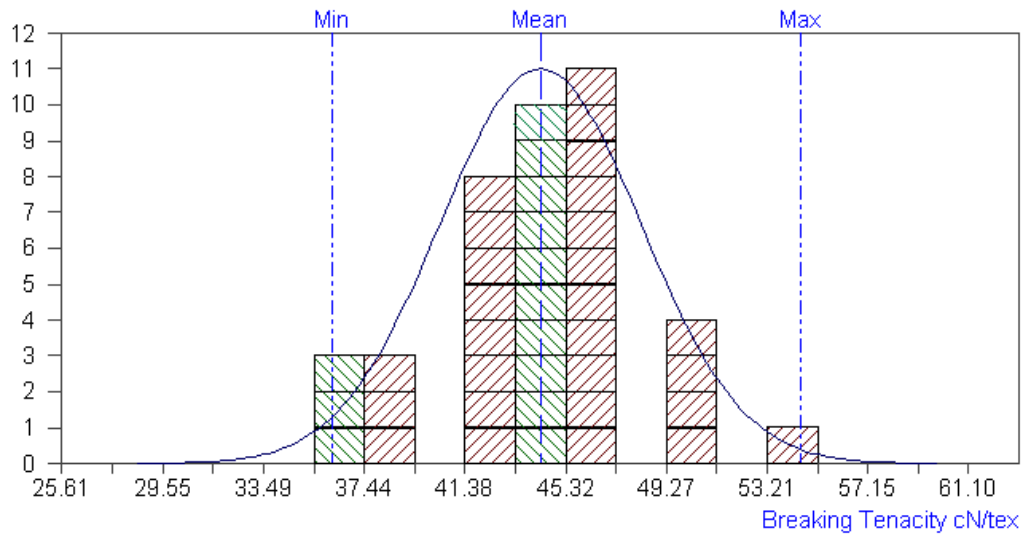
a - у правцу дужине, b - у правцу ширине

8. ПРИЛОГ

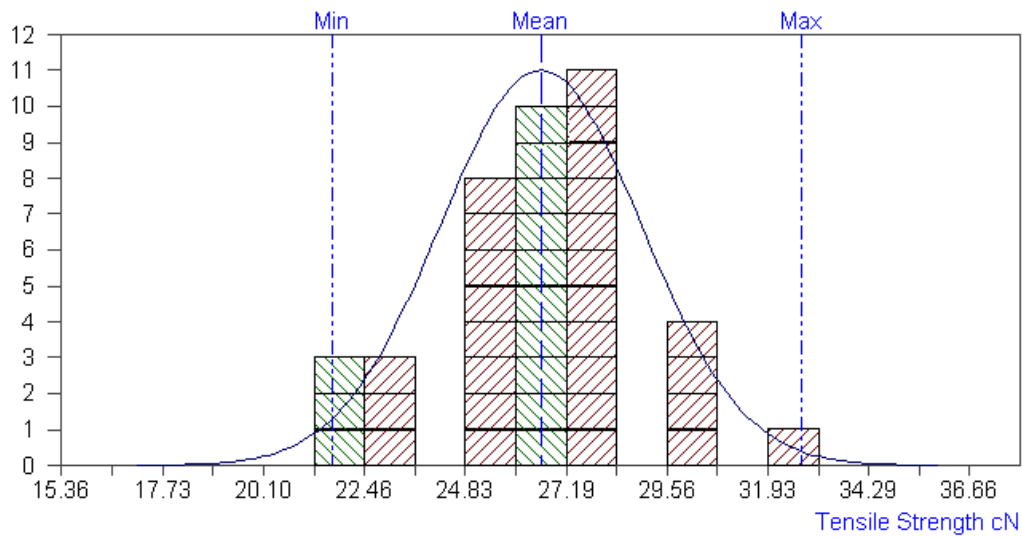
У наставку прилога рада приказане су појединачне вредности испитиваних влакана од регуларног (таб. 19) и рециклираног полиестра (таб. 20) и полипропилена (таб. 21) као и слике хистограма са Гаусовом расподелом за испитивање прекидне силе и издужења.

Табела 19. Резултати испитивања ПЕС А влакана

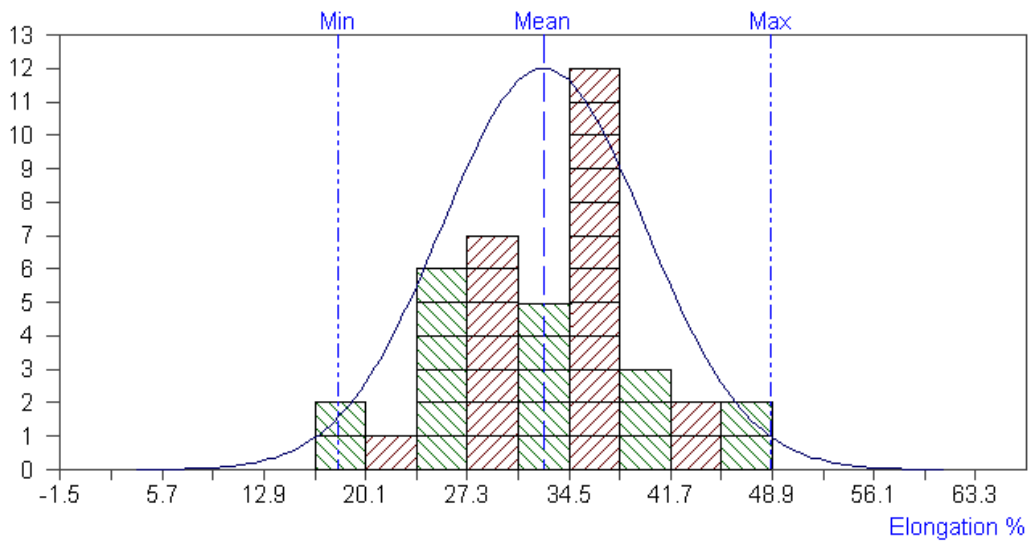
Број мерења	Прекидна сила	Прекидна сила	Издужење	Финоћа
n	cN/tex	cN	%	dtex
1.	50,00	30,00	32,25	6,0
2.	43,83	26,30	27,71	6,0
3.	38,33	23,00	22,05	6,0
4.	46,67	28,00	34,80	6,0
5.	43,33	26,00	35,89	6,0
6.	46,17	27,70	37,80	6,0
7.	49,50	29,70	38,76	6,0
8.	45,00	27,00	25,50	6,0
9.	43,83	26,30	48,75	6,0
10.	38,83	23,30	27,34	6,0
11.	36,67	22,00	37,16	6,0
12.	41,67	25,00	35,44	6,0
13.	49,50	29,70	39,52	6,0
14.	46,67	28,00	41,30	6,0
15.	43,33	26,00	24,05	6,0
16.	47,17	28,30	36,04	6,0
17.	45,50	27,30	27,30	6,0
18.	45,50	27,30	28,84	6,0
19.	45,00	27,00	34,61	6,0
20.	41,67	25,00	31,01	6,0
21.	44,50	26,70	27,04	6,0
22.	43,83	26,30	31,31	6,0
23.	45,00	27,00	35,21	6,0
24.	46,17	27,70	38,00	6,0
25.	46,67	28,00	42,60	6,0
26.	45,00	27,00	29,55	6,0
27.	41,67	25,00	27,26	6,0
28.	50,50	30,30	45,15	6,0
29.	54,50	32,70	45,55	6,0
30.	36,17	21,70	32,81	6,0
31.	45,00	27,00	37,24	6,0
32.	36,67	22,00	18,10	6,0
33.	43,33	26,00	19,16	6,0
34.	38,83	23,30	24,25	6,0
35.	46,17	27,70	23,95	6,0
36.	45,50	27,30	33,71	6,0
37.	44,30	26,30	32,81	6,0
38.	47,17	28,30	30,49	6,0
39.	42,17	25,30	28,65	6,0
40.	42,17	25,30	36,11	6,0
Средња вредност	44,34	26,60	32,70	6,0
C.V	8,89	8,89	22,02	/



Слика 196. Хистограм прекидне силе ПЕС А влакана cN/tex



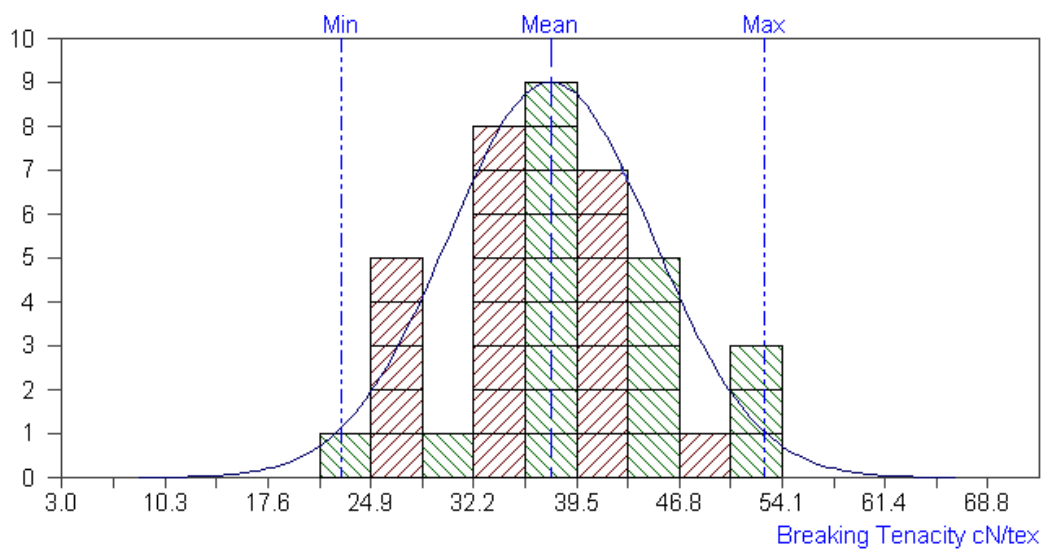
Слика 197. Хистограм прекидне силе ПЕС А влакана cN



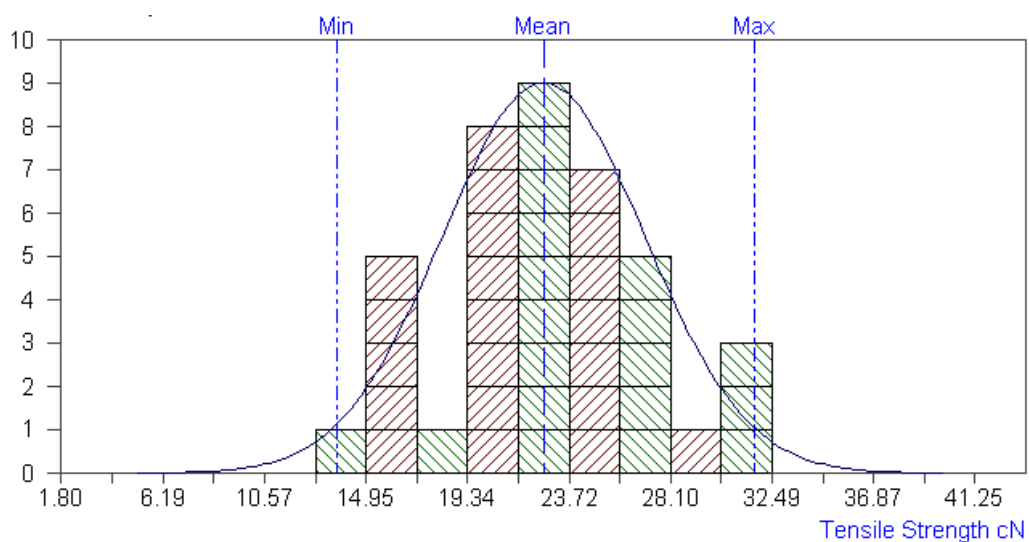
Слика 198. Хистограм прекидног издужења ПЕС А влакана

Табела 20. Резултати испитивања ПЕС Б влакана

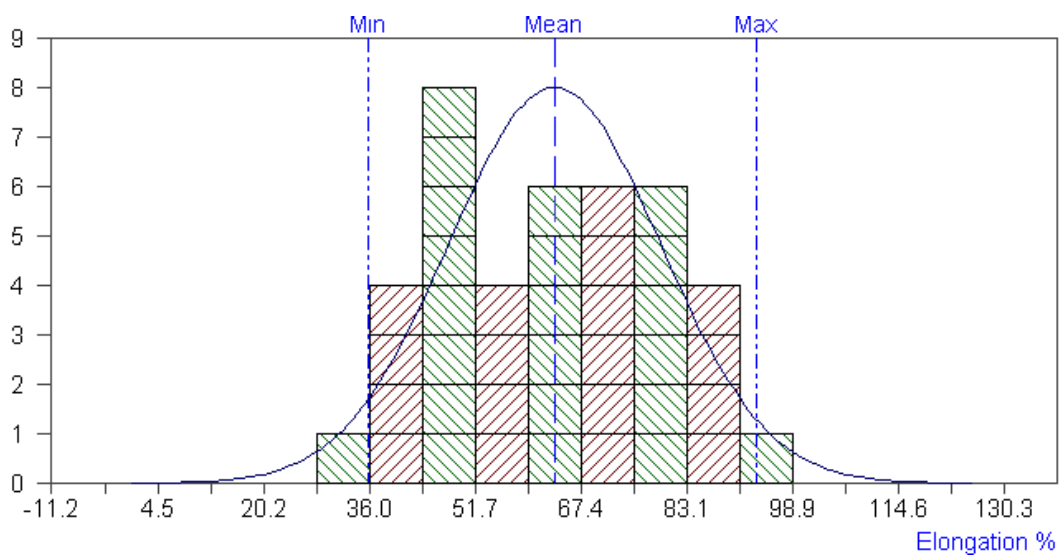
Број мерења	Прекидна сила	Прекидна сила	Издужење	Финоћа
n	cN/tex	cN	%	dtex
1.	52,80	31,70	76,00	6,0
2.	36,17	21,70	93,50	6,0
3.	27,17	16,30	57,00	6,0
4.	41,67	25,00	49,94	6,0
5.	40,50	24,30	57,00	6,0
6.	39,50	23,70	86,00	6,0
7.	32,83	19,70	59,00	6,0
8.	22,83	13,70	35,70	6,0
9.	51,70	31,00	81,00	6,0
10.	51,70	31,00	77,50	6,0
11.	29,50	17,70	60,00	6,0
12.	36,17	21,70	55,00	6,0
13.	43,83	26,30	79,50	6,0
14.	42,83	25,70	66,00	6,0
15.	40,50	24,30	76,50	6,0
16.	28,33	17,00	47,50	6,0
17.	43,83	26,30	88,00	6,0
18.	45,00	27,00	86,00	6,0
19.	35,50	21,30	73,50	6,0
20.	32,83	19,17	51,00	6,0
21.	36,67	22,00	76,00	6,0
22.	46,17	27,70	70,50	6,0
23.	27,17	16,30	43,80	6,0
24.	33,83	20,30	51,00	6,0
25.	40,00	24,00	61,00	6,0
26.	28,33	17,00	72,00	6,0
27.	37,83	22,70	63,50	6,0
28.	25,00	15,00	45,15	6,0
29.	38,83	23,30	42,70	6,0
30.	32,83	19,70	47,55	6,0
31.	35,00	21,00	74,00	6,0
32.	37,08	22,59	63,51	6,0
33.	35,50	21,30	46,00	6,0
34.	33,83	20,30	65,50	6,0
35.	45,50	27,30	45,60	6,0
36.	36,67	22,00	43,75	6,0
37.	37,17	22,30	42,30	6,0
38.	47,83	28,70	87,50	6,0
39.	37,17	22,30	68,00	6,0
40.	40,00	24,00	74,00	6,0
Средња вредност	37,71	22,62	63,48	6,0
C.V	19,38	19,38	24,74	/



Слика 199. Хистограм прекидне силе ПЕС Б влакана cN/tex



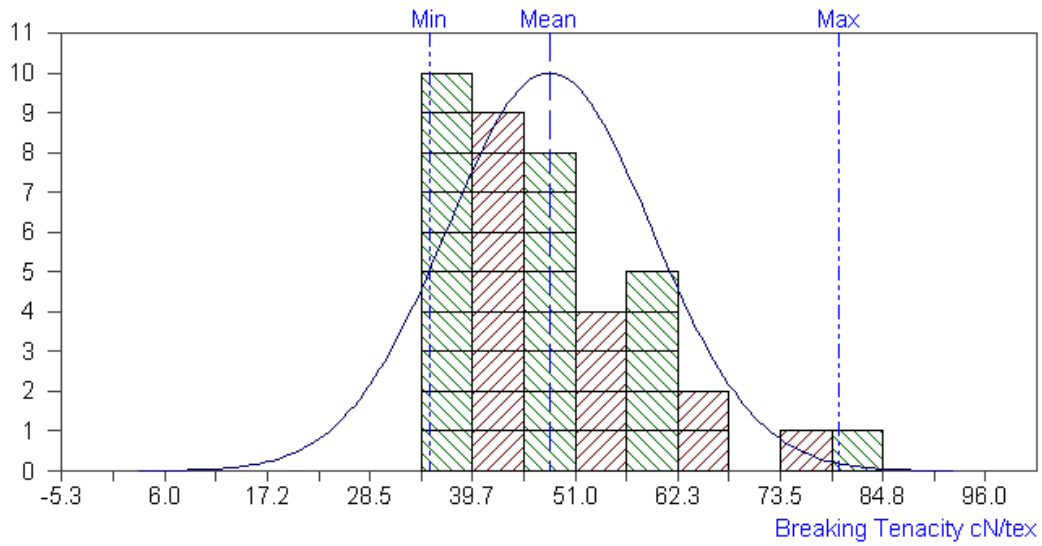
Слика 200. Хистограм прекидне силе ПЕС Б влакана cN



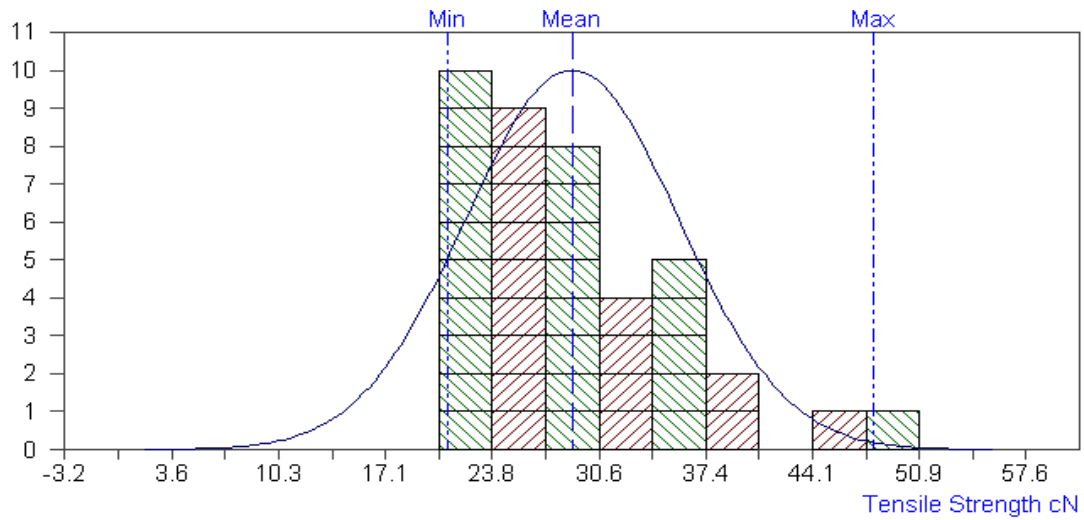
Слика 201. Хистограм прекидног издужења ПЕС Б влакана

Табела 21. Резултати испитивања ПП влакана

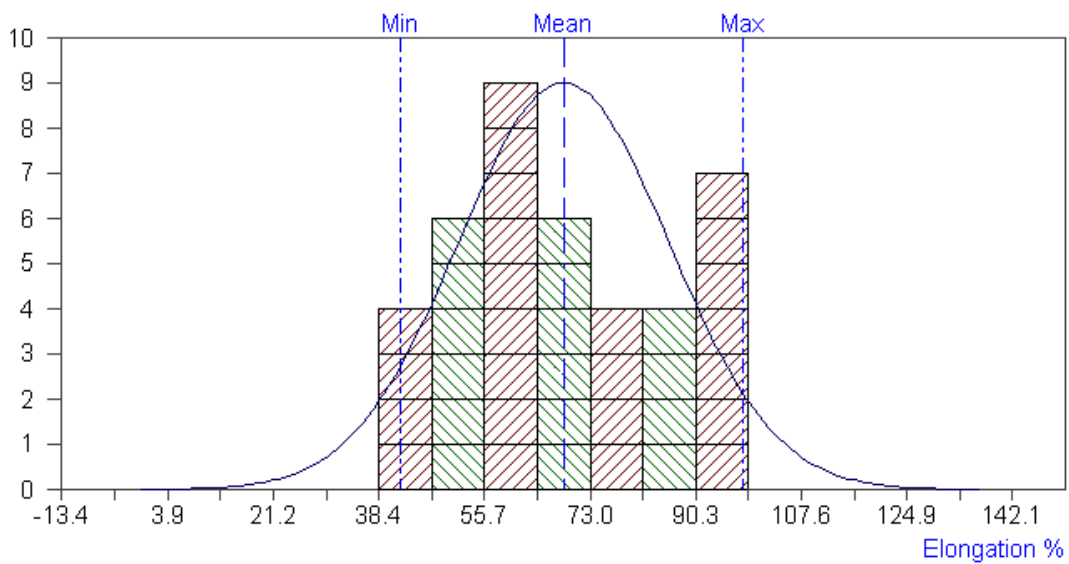
Број мерења	Прекидна сила	Прекидна сила	Издужење	Финоћа
n	cN/tex	cN	%	dtex
1.	39,50	23,70	49,94	6,0
2.	38,33	23,00	75,50	6,0
3.	46,17	27,70	57,00	6,0
4.	58,80	35,30	75,50	6,0
5.	35,00	21,00	68,50	6,0
6.	47,17	28,30	93,50	6,0
7.	42,17	25,30	50,50	6,0
8.	52,20	31,30	91,50	6,0
9.	54,50	32,70	63,50	6,0
10.	48,83	29,30	82,50	6,0
11.	36,17	21,70	98,00	6,0
12.	45,00	27,00	51,00	6,0
13.	38,83	23,30	54,50	6,0
14.	42,83	25,70	57,00	6,0
15.	40,00	24,00	93,50	6,0
16.	40,50	24,30	42,75	6,0
17.	40,50	24,30	54,50	6,0
18.	36,67	22,00	56,50	6,0
19.	76,70	46,00	70,50	6,0
20.	52,80	31,70	59,00	6,0
21.	60,50	36,30	67,50	6,0
22.	41,17	24,70	80,00	6,0
23.	61,70	37,00	90,00	6,0
24.	37,83	22,70	60,00	6,0
25.	46,67	28,00	58,50	6,0
26.	53,80	32,30	97,00	6,0
27.	35,50	21,30	53,50	6,0
28.	48,33	29,00	63,00	6,0
29.	59,50	35,70	97,00	6,0
30.	38,33	23,00	76,50	6,0
31.	65,00	39,00	92,50	6,0
32.	63,80	38,30	71,00	6,0
33.	48,11	29,01	68,74	6,0
34.	41,67	25,00	44,80	6,0
35.	35,00	21,00	66,00	6,0
36.	49,50	29,70	42,90	6,0
37.	42,17	25,30	41,95	6,0
38.	80,00	48,00	61,00	6,0
39.	46,67	28,00	83,00	6,0
40.	59,50	35,70	87,50	6,0
Средња вредност	48,19	28,91	68,69	6,0
C.V	23,35	23,35	25,16	/



Слика 202. Хистограм прекидне силе III влакана cN/tex



Слика 203. Хистограм прекидне силе III влакана cN



Слика 204. Хистограм прекидног издужења III влакана

У табели 22 приказани су резултати испитивања површинске масе, прекидне силе, издужења при највећем оптерећењу, максималне силе, максималног издужења, рада до максималне силе, силе на граници еластичности, издужења на граници еластичности, рада до границе еластичности, силе пробијања и дебљине геотекстила за по пет узорака ПЕС А, ПЕС Б и ПП геотекстила површинских маса $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ и $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Табела 22. Резултати испитивања геотекстилних материјала од ПЕС А, ПЕС Б и ПП влакана

Геотекстил		Т-150 А					Т-150 Б				
Број узорка		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Површинска маса [gm ²]		143	149	149	150	152	135	139	141	143	144
Прекидна сила, [kN]	Д	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
	CV (%)	10,0	12,1	19,3	6,0	3,3	26,8	23,6	20,6	11,5	15,7
	Ш	1,0	0,9	1,1	0,9	1,0	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4
	CV (%)	11,6	9,1	9,4	13,8	10,2	10,2	7,5	13,6	13,0	9,6
Издужење при највећем оптерећењу, [%]	Д	99,1	99,9	101,2	99,3	127,5	66,5	131,7	139,4	106,3	98,6
	CV (%)	6,9	17,5	15,3	11,1	5,4	41,4	3,8	14,7	16,8	20,2
	Ш	71,8	74,4	85,7	64,5	97,1	60,3	106,9	106,9	74,8	90,5
	CV (%)	6,8	3,8	9,8	11,2	8,1	5,3	1,9	13,5	8,7	7,9
Максимална сила, [kN]	Д	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2
	Ш	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4
Максимално издужење, [%]	Д	99,9	88,2	97,6	76,8	120,3	60,6	123,0	131,1	96,0	84,4
	Ш	67,0	73,1	83,2	59,4	97,9	61,0	107,4	101,4	78,1	94,0
Рад до максималне силе, [J]	Д	23,8	19,1	18,7	13,1	23,6	8,9	18,9	10,7	8,6	5,6
	Ш	18,7	26,4	26,0	15,5	28,3	12,3	20,8	16,9	15,2	17,0
Сила на граници еластичности, [kN]	Д	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
	Ш	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
Издужење на граници еластичности, [%]	Д	62,6	60,7	76,5	44,4	89,6	36,4	78,1	97,9	70,6	55,7
	Ш	58,0	51,2	62,1	49,3	77,6	33,5	79,7	72,5	59,6	55,7
Рад до границе еластичности, [J]	Д	6,8	7,3	9,3	3,8	9,7	2,7	6,4	4,7	3,6	2,0
	Ш	12,2	9,6	10,5	8,9	13,0	2,6	9,0	6,5	7,2	3,8
Сила пробијања (CBR)	[N]	694	650	637	710	850	435	450	377	420	410
Дебљина при 2 kPa	[mm]	1,63	1,66	1,72	1,71	1,75	1,60	1,52	1,52	1,55	1,65

Наставак табеле 22:

Геотекстил		Т-150 ПП				
Број узорка		1	2	3	4	5
Површинска маса [gm ²]		142	147	149	156	157
Прекидна сила, [kN]	Д	0,7	0,8	1,1	0,6	0,8
	CV (%)	21,9	23,9	12,0	12,8	40,0
	Ш	2,4	2,2	2,3	2,5	2,2
	CV (%)	11,2	11,4	9,6	7,6	12,3
Издужење при највећем оптерећењу, [%]	Д	123,7	173,3	94,3	204,9	142,6
	CV (%)	9,7	14,6	11,2	9,0	20,5
	Ш	105,9	106,7	77,1	119,1	111,9
	CV (%)	7,6	7,3	4,6	6,0	5,4
Максимална сила, [kN]	Д	0,6	0,8	1,1	0,6	0,6
	Ш	2,5	2,1	2,3	2,4	2,1
Максимално издужење, [%]	Д	126,1	161,7	99,3	188,9	124,3
	Ш	104,5	106,1	77,6	117,7	109,3
Рад до максималне силе, [J]	Д	35,7	56,6	46,0	43,1	35,0
	Ш	128,3	102,3	81,8	131,9	105,8
Сила на граници еластичности, [kN]	Д	0,3	0,4	0,6	0,4	0,4
	Ш	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0
Издужење на граници еластичности, [%]	Д	74,6	97,2	60,5	142,5	79,4
	Ш	48,7	55,6	41,5	61,1	55,8
Рад до границе еластичности, [J]	Д	9,5	14,2	12,6	18,8	10,7
	Ш	18,1	17,8	16,9	21,8	17,7
Сила пробијања (CBR)	[N]	1254	1490	1455	1384	1448
Дебљина при 2 kPa	[mm]	2,00	2,02	2,20	2,10	2,20

Наставак табеле 22:

Геотекстил		T-200 A					T-200 Б				
Број узорака		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Површинска маса [gm ⁻²]		184	188	190	204	211	203	204	207	215	220
Прекидна сила, [kN]	Д	0,9	0,8	0,8	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
	CV (%)	8,4	6,7	8,0	6,3	7,1	5,1	7,2	15,7	5,4	32,6
	Ш	1,6	1,5	1,4	1,6	1,9	1,4	1,3	1,3	1,5	1,5
	CV (%)	5,1	3,1	7,7	3,9	4,8	7,7	10,6	8,1	5,3	4,9
Издужење при највећем оптерећењу, [%]	Д	72,6	106,1	116,0	101,1	93,9	101,2	94,3	117,1	84,7	76,7
	CV (%)	4,7	5,6	9,7	3,6	5,8	4,9	3,7	7,0	8,7	20,7
	Ш	67,4	81,1	89,5	84,7	91,7	84,6	78,9	97,5	71,7	69,6
	CV (%)	2,0	3,9	5,4	2,4	5,7	2,8	4,4	5,1	4,4	5,7
Максимална сила, [kN]	Д	0,7	0,8	0,8	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8	1,0	0,9
	Ш	1,5	1,5	1,3	1,6	1,6	1,4	1,2	1,3	1,6	1,5
Максимално издужење, [%]	Д	64,1	108,3	121,4	99,6	87,0	99,1	95,8	109,7	89,7	83,8
	Ш	60,6	79,6	88,8	79,5	81,2	84,6	80,6	94,5	72,9	67,9
Рад до максималне силе, [J]	Д	18,7	37,2	37,8	42,0	28,9	35,3	34,7	36,8	38,3	32,8
	Ш	35,6	46,4	42,3	46,8	45,6	49,7	42,5	46,0	49,1	45,2
Сила на граници еластичности, [kN]	Д	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	Ш	1,0	1,0	0,8	1,0	1,1	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7
Издужење на граници еластичности, [%]	Д	47,7	71,9	83,5	64,2	62,9	63,3	64,7	73,1	52,4	52,6
	Ш	46,4	59,3	66,6	60,7	64,5	49,8	46,9	59,7	41,5	37,6
Рад до границе еластичности, [J]	Д	8,6	12,8	13,5	13,1	12,7	10,5	11,6	11,7	9,2	9,6
	Ш	17,1	20,7	18,2	21,5	22,9	10,5	9,1	10,8	10,9	9,6
Сила пробијања (CBR)	[N]	1089	1037	1014	1153	1161	598	637	615	659	700
Дебљина при 2 kPa	[mm]	1,72	1,87	2,10	2,20	2,10	2,10	2,10	2,10	1,85	1,90

Наставак табеле 22:

Геотекстил		Т-200 ПП				
Број узорка		1	2	3	4	5
Површинска маса [gm ²]		192	193	200	209	211
Прекидна сила, [kN]	Д	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4
	CV (%)	5,6	9,6	6,1	13,9	5,5
	Ш	3,1	3,1	3,4	3,4	3,7
	CV (%)	7,9	11,8	7,9	10,5	16,3
Издужење при највећем оптерећењу, [%]	Д	150,0	137,4	143,2	119,4	133,5
	CV (%)	12,8	10,1	8,5	24,6	3,9
	Ш	101,3	97,0	108,9	92,0	94,3
	CV (%)	6,8	9,2	14,0	6,7	14,2
Максимална сила, [kN]	Д	1,2	1,1	1,3	1,4	1,5
	Ш	3,2	3,5	3,1	3,6	3,8
Максимално издужење, [%]	Д	158,9	139,4	141,1	129,5	132,4
	Ш	104,6	97,7	121,4	94,4	102,1
Рад до максималне силе, [J]	Д	97,7	76,8	98,8	88,9	99,8
	Ш	200,2	207,4	263,8	201,9	261,6
Сила на граници еластичности, [kN]	Д	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
	Ш	1,2	1,3	1,1	1,3	1,4
Издужење на граници еластичности, [%]	Д	68,1	63,9	57,8	55,4	54,5
	Ш	31,2	28,1	29,2	27,6	25,5
Рад до границе еластичности, [J]	Д	13,6	12,4	13,1	13,1	13,7
	Ш	14,7	14,9	13,7	15,1	15,5
Сила пробијања, (CBR)	[N]	1452	1589	1751	1694	1805
Дебљина при 2 kPa	[mm]	2,10	2,20	2,20	2,20	2,20

Наставак табеле 22:

Геотекстил		T-250 A					T-250 Б				
Број узорака		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Површинска маса [gm ²]		243	255	260	269	269	231	237	238	249	275
Прекидна сила, [kN]	Д	1,5	1,7	1,6	1,7	1,7	0,8	0,7	0,9	0,8	0,9
	CV (%)	13,0	3,8	9,9	6,5	12,9	5,2	6,5	9,4	11,8	5,1
	Ш	1,9	2,1	2,0	2,2	2,3	1,6	1,3	1,5	1,2	1,3
	CV (%)	8,1	8,5	10,5	8,1	6,2	4,3	4,5	7,3	15,1	12,5
Издужење при највећем оптерећењу, [%]	Д	75,2	57,8	68,5	72,2	71,0	107,7	102,8	83,3	93,3	102,5
	CV (%)	4,6	6,1	3,3	2,2	9,2	9,1	9,8	4,4	3,4	3,4
	Ш	78,6	75,1	76,3	77,4	77,9	80,5	84,9	81,1	83,4	81,2
	CV (%)	4,6	8,7	1,7	3,1	4,3	3,6	3,6	2,9	6,9	5,1
Максимална сила, [kN]	Д	1,4	1,6	1,8	2,0	1,7	0,8	0,7	1,0	0,9	0,9
	Ш	1,7	2,0	2,2	2,3	2,1	1,5	1,3	1,6	1,2	1,3
Максимално издужење, [%]	Д	72,2	53,5	68,5	64,0	70,9	110,6	109,0	83,4	95,6	101,1
	Ш	73,2	70,7	73,0	72,1	77,9	81,4	85,8	78,8	77,9	82,4
Рад до максималне силе, [J]	Д	45,8	37,6	56,2	57,6	52,4	43,8	34,3	38,3	35,7	35,9
	Ш	49,9	56,2	68,6	68,8	67,0	64,7	51,6	53,8	34,7	43,8
Сила на граници еластичности, [kN]	Д	0,9	1,0	1,1	1,3	1,0	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5
	Ш	1,1	1,2	1,4	1,5	1,3	0,7	0,6	0,9	0,6	0,7
Издужење на граници еластичности, [%]	Д	47,3	37,8	43,6	42,4	46,1	61,9	65,6	51,9	63,4	69,0
	Ш	54,8	50,8	51,9	51,3	55,1	37,6	43,5	51,0	52,7	53,4
Рад до границе еластичности, [J]	Д	16,3	16,5	18,4	20,5	17,9	11,5	10,3	12,7	12,5	12,9
	Ш	23,1	22,9	28,3	28,7	27,2	11,0	9,7	17,9	11,1	13,5
Сила пробијања (CBR)	[N]	1228	1384	1337	1487	1452	724	701	758	780	801
Дебљина при 2 kPa	[mm]	2,18	2,15	2,30	2,37	2,30	1,82	1,85	2,30	2,20	2,35

Наставак табеле 22:

Геотекстил		T-250 ПП				
Број узорака		1	2	3	4	5
Површинска маса [gm ²]		225	247	248	249	253
Прекидна сила, [kN]	Д	1,5	1,9	1,7	1,5	1,8
	CV (%)	13,4	5,3	11,4	8,1	7,5
	Ш	4,1	4,7	4,3	3,0	4,5
	CV (%)	7,7	4,5	7,9	26,4	7,3
Издужење при највећем оптерећењу, [%]	Д	101,3	94,8	100,9	160,1	99,6
	CV (%)	7,2	7,0	3,8	10,3	8,5
	Ш	70,9	60,4	64,9	99,7	65,3
	CV (%)	5,5	5,7	9,9	20,9	6,5
Максимална сила, [kN]	Д	1,7	1,8	1,6	1,6	1,8
	Ш	4,3	4,9	4,4	3,3	4,2
Максимално издужење, [%]	Д	103,3	97,6	101,9	143,9	97,3
	Ш	72,4	59,2	60,3	100,8	63,5
Рад до максималне силе, [J]	Д	76,7	83,6	79,8	97,8	78,5
	Ш	155,9	141,0	128,4	148,5	114,6
Сила на граници еластичности, [kN]	Д	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0
	Ш	1,9	2,3	2,0	1,6	1,4
Издужење на граници еластичности, [%]	Д	64,6	52,7	58,7	90,5	58,2
	Ш	33,5	28,8	29,3	56,3	47,0
Рад до границе еластичности, [J]	Д	23,8	19,6	22,1	29,2	22,6
	Ш	25,6	26,9	24,3	33,0	27,1
Сила пробијања (CBR)	[N]	2107	2250	2204	2158	2209
Дебљина при 2 kPa	[mm]	2,10	2,31	2,20	2,40	2,40

Наставак табеле 22:

Геотекстил		T-300 A					T-300 Б				
Број узорака		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Површинска маса [gm ²]		289	294	299	302	310	285	292	297	301	302
Прекидна сила, [kN]	Д	1,6	1,5	1,5	2,2	1,7	1,5	1,3	1,5	1,2	1,5
	CV (%)	4,7	4,9	5,9	13,5	4,7	9,4	4,2	6,7	10,4	5,8
	Ш	2,6	2,7	2,5	2,6	2,7	2,2	1,8	2,0	1,5	2,2
	CV (%)	3,7	5,1	6,2	3,0	6,8	11,5	5,0	9,8	35,2	5,0
Издужење при највећем оптерећењу, [%]	Д	84,3	87,8	91,9	66,9	81,6	82,3	82,4	81,1	71,0	74,9
	CV (%)	3,4	4,71	3,76	2,02	2,72	6,60	3,27	6,61	4,65	3,55
	Ш	76,0	76,5	84,2	90,5	67,8	66,9	74,9	66,2	60,6	65,9
	CV (%)	4,99	3,71	1,84	3,38	4,86	5,20	1,79	7,40	40,90	4,34
Максимална сила, [kN]	Д	1,7	1,5	1,4	2,7	1,8	1,4	1,3	1,4	1,1	1,4
	Ш	2,5	2,7	2,6	2,5	2,8	2,3	1,9	1,8	1,6	2,3
Максимално издужење, [%]	Д	81,7	89,1	86,9	68,5	79,4	84,9	81,3	83,7	72,7	76,1
	Ш	79,7	73,3	83,8	85,6	67,6	66,0	74,4	63,4	69,9	65,3
Рад до максималне силе, [J]	Д	61,5	60,3	50,2	85,0	60,5	54,4	45,2	56,9	37,5	56,1
	Ш	84,2	82,0	86,9	81,5	75,5	67,8	57,7	49,4	51,9	77,4
Сила на граници еластичности, [kN]	Д	1,0	0,9	1,0	1,6	1,1	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7
	Ш	1,6	1,7	1,6	1,8	1,8	1,3	1,1	1,0	0,9	1,2
Издужење на граници еластичности, [%]	Д	52,3	56,6	65,9	42,5	55,3	45,7	50,0	45,8	40,5	34,6
	Ш	55,3	51,6	60,2	67,9	50,4	40,0	48,9	40,4	42,7	31,8
Рад до границе еластичности, [J]	Д	20,6	19,3	24,1	27,6	24,4	12,0	12,8	13,7	10,4	10,6
	Ш	32,1	33,0	35,2	42,9	35,1	19,3	18,9	15,5	16,0	16,1
Сила пробијања (CBR)	[N]	1395	1357	1415	1508	1489	1108	1075	1150	1105	1227
Дебљина при 2 kPa	[mm]	2,40	2,55	2,99	2,60	2,98	2,20	2,40	2,20	2,50	1,75

Наставак табеле 22:

Геотекстил		Т-300 ПП				
Број узорака		1	2	3	4	5
Површинска маса [gm ⁻²]		275	290	291	291	298
Прекидна сила, [kN]	Д	2,3	2,2	2,5	2,5	2,5
	CV (%)	10,4	4,6	9,2	15,3	18,4
	Ш	4,7	4,7	5,1	4,8	4,7
	CV (%)	16,9	7,1	8,6	8,1	3,1
Издужење при највећем оптерећењу, [%]	Д	92,3	133,6	88,9	109,3	135,7
	CV (%)	7,1	3,1	5,2	8,1	7,8
	Ш	65,5	117,5	60,6	88,3	111,6
	CV (%)	7,9	13,7	8,6	12,0	7,4
Максимална сила, [kN]	Д	2,5	2,2	3,1	2,8	2,7
	Ш	4,5	4,8	4,8	4,5	4,7
Максимално издужење, [%]	Д	90,0	132,7	85,2	109,3	143,7
	Ш	62,1	122,7	70,7	94,7	109,9
Рад до максималне силе, [J]	Д	117,3	151,3	125,6	150,6	210,7
	Ш	138,3	360,8	180,2	255,7	318,3
Сила на граници еластичности, [kN]	Д	1,4	0,9	1,6	1,3	1,0
	Ш	2,2	1,6	2,2	1,9	1,7
Издужење на граници еластичности, [%]	Д	47,8	54,5	46,2	52,9	49,0
	Ш	30,7	30,5	30,9	34,3	29,0
Рад до границе еластичности, [J]	Д	28,4	21,4	30,2	28,7	21,6
	Ш	27,8	21,6	29,8	28,4	22,2
Сила пробијања (CBR)	[N]	2467	2624	2595	2744	3058
Дебљина при 2 kPa	[mm]	2,30	2,75	2,50	2,70	2,90

Наставак табеле 22:

Геотекстил		T-500 А					T-500 Б				
Број узорака		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Површинска маса [gm ⁻²]		494	500	514	529	536	454	464	466	471	499
Прекидна сила, [kN]	Д	3,4	3,4	3,3	3,5	3,6	2,3	2,6	2,6	2,4	2,3
	CV (%)	5,0	2,8	4,9	4,2	3,2	4,9	2,8	6,9	8,4	4,1
	Ш	3,9	4,4	3,5	3,7	4,4	3,3	3,9	3,3	3,2	3,2
	CV (%)	3,9	8,1	5,3	2,3	5,9	6,1	6,5	9,5	2,6	4,2
Издужење при највећем оптерећењу, [%]	Д	59,7	66,8	65,2	62,8	71,2	66,1	75,5	59,8	62,9	76,1
	CV (%)	1,2	5,1	4,7	4,8	2,9	6,7	4,2	3,6	4,1	5,4
	Ш	64,8	68,0	72,9	69,6	66,8	60,0	72,8	56,4	59,0	64,6
	CV (%)	5,4	6,3	8,0	3,5	4,6	4,4	7,4	4,8	3,1	4,3
Максимална сила, [kN]	Д	3,4	3,4	4,9	3,6	3,6	2,4	2,6	2,7	2,3	2,3
	Ш	3,9	4,7	3,7	3,7	4,6	3,4	4,2	3,5	3,2	3,1
Максимално издужење, [%]	Д	59,4	65,1	61,9	66,6	71,3	67,5	75,5	62,2	63,7	76,2
	Ш	63,1	70,9	79,8	69,6	68,4	53,3	75,1	54,1	59,0	65,7
Рад до максималне силе, [J]	Д	99,8	106,5	103,3	115,0	126,3	82,2	106,4	89,4	73,4	92,4
	Ш	112,5	159,2	141,6	122,6	148,7	100,0	160,8	94,7	95,8	103,4
Сила на граници еластичности, [kN]	Д	1,9	2,0	1,9	2,0	2,1	1,3	1,4	1,5	1,3	1,2
	Ш	2,4	2,8	2,1	2,1	2,9	1,8	1,8	2,0	1,8	1,6
Издужење на граници еластичности, [%]	Д	33,9	39,5	35,6	38,5	42,9	35,8	36,5	32,7	34,8	37,3
	Ш	41,5	43,1	46,7	41,4	44,6	33,5	32,1	31,2	32,1	32,9
Рад до границе еластичности, [J]	Д	29,5	34,4	29,6	33,0	40,9	20,7	25,2	24,8	19,9	20,7
	Ш	42,0	51,8	40,9	37,6	57,0	25,4	26,6	29,1	24,4	22,3
Сила пробијања, (CBR)	[N]	2791	2805	2820	2843	2850	2234	2241	2235	2301	2229
Дебљина при 2 kPa	[mm]	3,10	2,80	3,68	3,46	2,98	2,50	2,30	2,50	2,40	2,45

Наставак табеле 22:

Геотекстил		T-500 ПП				
Број узорака		1	2	3	4	5
Површинска маса [gm ²]		484	493	506	522	527
Прекидна сила, [kN]	Д	4,8	5,4	5,0	5,6	4,8
	CV (%)	11,3	9,2	10,9	3,8	3,6
	Ш	7,3	7,9	7,8	8,6	8,4
	CV (%)	1,2	5,2	11,8	5,6	6,8
Издужење при највећем оптерећењу, [%]	Д	86,2	90,3	95,6	96,4	102,3
	CV (%)	12,9	8,6	4,7	6,8	18,2
	Ш	68,0	71,7	65,6	73,8	69,1
	CV (%)	4,9	5,9	13,2	8,2	9,3
Максимална сила, [kN]	Д	4,6	5,4	5,0	5,5	4,7
	Ш	7,3	7,8	7,7	8,6	8,4
Максимално издужење, [%]	Д	90,2	90,3	97,3	96,3	95,2
	Ш	68,0	71,9	67,4	73,4	66,7
Рад до максималне силе, [J]	Д	230,9	266,1	270,3	290,9	220,9
	Ш	265,0	301,0	291,8	345,4	313,1
Сила на граници еластичности, [kN]	Д	2,2	2,5	2,4	2,5	2,4
	Ш	3,2	3,5	3,5	3,6	3,5
Издужење на граници еластичности, [%]	Д	38,7	39,2	41,2	39,9	49,4
	Ш	27,4	29,8	26,6	28,1	24,6
Рад до границе еластичности, [J]	Д	38,1	44,5	44,6	44,8	51,3
	Ш	40,2	47,5	43,6	47,3	41,7
Сила пробијања (CBR)	[N]	3907	4105	4082	4207	4250
Дебљина при 2 kPa	[mm]	3,50	3,70	3,60	3,90	3,80

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Драган Ђорђевић је рођен 1982. године у Београду. Основну и средњу електро-машинску школу је завршио у Београду. 2007. године дипломирао је на Вишој техничко текстилној школи у Београду, на смеру за механичко инжењерство, исте године уписао је трећу годину студија на Техничком факултету “Михајло Пупин” у Зрењанину, на смеру за дизајн и пројектовање текстилних производа где је и дипломирао 2010. године. Дипломски рад под називом „Анализа поступка кројења одеће“ одбранио је са оценом 10.

По завршетку факултета исте 2010. године уписао је докторске студије на Технолошком факултету у Лесковцу, студијски програм технолошко инжењерство, школске 2010/2011 године. Успешно је положио све испите (са просечном оценом 9,6) предвиђене планом и програмом.

Од 2009. године је запослен у ЦИС Институту у Београду где и данас ради на радној позицији инспектор и испитивач текстилних производа прве групе и инспектор и испитивач производа од коже.

У досадашњем научном и стручном раду објавио је више радова у иностраним и домаћим часописима и на научним међународним и националним скуповима (М21-1, М22-1, М23-2, М33-6, М53-3, М64-3). Има три техничка решења.



Универзитет у Нишу

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

Истраживање деформационих карактеристика нетканих геотекстилних материјала од полиестарских и полипропиленских влакана

која је одбрањена на Технолошком факултету 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 Нишу, 28.10.2016

Аутор дисертације: Драган Ђорђевић

Потпис аутора дисертације:

Драган М Ђорђевић
(Име, средње слово и презиме)



Универзитет у Нишу

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

Име и презиме аутора: Драган Ђорђевић

Наслов дисертације: Истраживање деформационих карактеристика нетканних геотекстилних материјала од полиестарских и полипропиленских влакана

Ментор: Проф. др Јован Степановић

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

У Нишу, 28.10.2016

Потпис аутора дисертације:

Драган М Ђорђевић
(Име, средње слово и презиме)



Универзитет у Нишу

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

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

Истраживање деформационих карактеристика нетканних геотекстилних материјала од полиестарских и полипропиленских влакана

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 Нишу, 28.10.2016

Аутор дисертације: Драган Ђорђевић

Потпис аутора дисертације:

Драган М Ђорђевић
(Име, средње слово и презиме)