

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Ivana Vranić

**Utjecaj tehnike zatvaranja reza cistotomije na
maksimalni intravezikalni tlak u svinjskom
mokraćnom mjehuru**

Zagreb, 2018.

Ovaj rad izrađen je u Laboratoriju za eksperimentalnu mehaniku Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Janoša Kodvanja i Klinici za kirurgiju, ortopediju i oftamologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Dražena Vnuka i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2017./2018.

Popis oznaka

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
b	mm	širina uzorka
E	N/mm^2	modul elastičnosti
F	N	sila
F_{\max}	N	maksimalna sila
h	mm	debljina uzorka
L_0	mm	početna duljina uzorka
ΔL	mm	produljenje uzorka
l	mm	duljina mjehura
p_{\max}	mmHg	maksimalni intravezikalni tlak
S_0	mm^2	početna površina poprečnog presjeka uzorka
ε	-	deformacija
σ	N/mm^2	naprezanje

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Mokraćni mjehur	1
1.2. Cistotomija.....	3
1.2.1 Tehnike zatvaranja reza cistotomije	3
1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	4
1.3.1 Mehaničko ponašanje tkiva svinjskog mjehura.....	4
1.3.2 Tehnike zatvaranja reza cistotomije	7
2. Ciljevi i hipoteza rada	9
3. Materijali i metode	10
3.1. Priprema uzoraka	10
3.1.1 Uzorci za određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka	11
3.1.2 Uzorci za statičko vlačno ispitivanje.....	14
3.1.3 Uzorci za ispitivanje vlačne čvrstoće rane cistotomije	16
3.2. Mjerenje optičkim sustavom <i>Aramis</i>	18
3.2.1 Metoda korelacije digitalne slike (DIC).....	18
3.2.2 Nanošenje stohastičkog uzorka na površinu	20
3.2.3 Podešavanje i kalibracija sustava	21
3.2.4 Snimanje uzoraka	23
3.2.5 Pohrana i obrada digitalnih slika.....	23
3.3. Eksperimentalno ispitivanje	25
3.3.1 Određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka	25
3.3.2 Statičko vlačno ispitivanje	27
3.3.3 Mjerenje optičkim sustavom <i>Aramis</i>	29
3.4. Statistička analiza	31
4. Rezultati	33
4.1. Rezultati ispitivanja maksimalnog intravezikalnog tlaka	33
4.2. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja tkiva mjehura.....	35
4.3. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja čvrstoće rane.....	40
4.4. Rezultati mjerenja pomaka sustavom <i>Aramis</i>	45
5. Rasprava	51
6. Zaključak.....	54
Zahvale	55

Popis literature.....	56
Sažetak	58
Summary	60

Popis slika

Slika 1 Shematski prikaz mokraćnog mjehura [2]	2
Slika 2 Krivulja naprezanje-deformacija za stijenku mokraćnog mjehura s prikazom orijentacije vlakana kolagena [13]	5
Slika 3 Razlika između uzdužnih (plavo) i poprečnih (crveno) uzoraka [13].....	6
Slika 4 Rez na ventralnoj strani uzorka.....	11
Slika 5 Rez cistotomije zatvoren produžnim šavom	11
Slika 6 Weck Visistat® 35R Skin Stapler.....	12
Slika 7 Staplica [19]	12
Slika 8 Rez cistotomije zatvoren staplerima	13
Slika 9 Konac V-Loc™ 90 3-0	13
Slika 10 V-Loc™ uvećani prikaz: a) omče, b) postranih kukica	14
Slika 11 Rez cistotomije zatvoren koncem s postranim kukicama	14
Slika 12 Linija rezanja mokraćnog mjehura	15
Slika 13 Priprema poprečnih i uzdužnih uzoraka: a) prerezani mjehur, b) poprečni uzorak, c) uzdužni uzorak	15
Slika 14 Dimenzije uzoraka	15
Slika 15 Uzorak za statičko vlačno ispitivanje.....	16
Slika 16 Dimenzije uzoraka za ispitivanje vlačne čvrstoće rane.....	16
Slika 17 Priprema uzoraka	17
Slika 18 Uzorak pripremljen za šivanje	17
Slika 19 Uzorci za određivanje vlačne čvrstoće rane: a) standardni šav, b) stapler, c) V-Loc konac	18
Slika 20 Shema mjerenja s dvije kamere primjenom korelacije digitalne slike [20].....	19
Slika 21 Primjer stohastičkog rastera i crveno označena pravokutna faseta: a) faseta u referentnoj konfiguraciji, b) faseta u deformiranoj konfiguraciji [20].....	19
Slika 22 Optički mjerni sustav Aramis [21].....	20
Slika 23 Primjeri stohastičkih uzoraka za različite mjerne volumene [21].....	21
Slika 24 Kalibracijski objekti: a) kalibracijska ploča, b) kalibracijski križ [21].....	21
Slika 25 Sustav Aramis s potrebnim parametrima za podešavanje [20]	22
Slika 26 Faseta veličine 15x15, s 2 preklapajuća piksela [22].....	23

Slika 27 Uzorci pripremljeni za mjerenje optičkim sustavom Aramis	24
Slika 28 Uzorak pripremljen za ispitivanje	25
Slika 29 Postav za određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka	26
Slika 30 Uzorak u trenutku propuštanja – propuštanje na ubodima	26
Slika 31 Uzorak u trenutku propuštanja – propuštanje između uboda.....	27
Slika 32 Statička kidalica Messphysik Beta 50-5	28
Slika 33 Uzorak pozicioniran u prihvatu kidalice	28
Slika 34 Vlačno ispitivanje uzoraka do pucanja: a) uzorak pozicioniran u prihvatu, b) uzorak tijekom opterećivanja i c) uzorak neposredno prije pucanja.....	29
Slika 35 Eksperimentalni postav kod ispitivanja vlačne čvrstoće rane.....	30
Slika 36 Uzorak učvršćen u prihvatu kidalice.....	31
Slika 37 Ispitivanje vlačne čvrstoće rane s popuštanjem uzorka iznad rane.....	31
Slika 38 Dijagram sila-pomak za poprečne uzorke.....	36
Slika 39 Dijagram sila-pomak za uzdužne uzorke	37
Slika 40 Dijagram naprezanje – deformacija za poprečne uzorke	39
Slika 41 Dijagram naprezanje – deformacija za uzdužne uzorke	39
Slika 42 Dijagram sila-pomak kontrolne skupine uzoraka	41
Slika 43 Dijagram sila-pomak uzoraka sa zatvaranjem rane monofilamentnim koncem	42
Slika 44 Dijagram sila-pomak za uzorke sa zatvaranjem rane staplerom.....	43
Slika 45 Dijagram sila-pomak za uzorke sa zatvaranjem rane koncem s postranim kukicama44	44
Slika 46 Sučelje programa Aramis.....	45
Slika 47 Pomak kod uzorka spojenog monofilamentnim koncem.....	46
Slika 48 Dijagram deformacije za uzorke spojene monofilamentnim koncem.....	46
Slika 49 Pomak kod uzorka spojenog staplerom	47
Slika 50 Dijagram deformacija za uzorke zatvorene staplerom.....	48
Slika 51 Pomak kod uzorka spojenog V-Loc koncem	49
Slika 52 Dijagram deformacije za uzorke spojene V-Loc koncem.....	49

Popis tablica

Tablica 1 Standardni šav	33
Tablica 2 Stapler.....	34
Tablica 3 V-Loc	34
Tablica 4 Rezultati ispitivanja poprečnih uzoraka	36
Tablica 5 Rezultati ispitivanja uzdužnih uzoraka	37
Tablica 6 Srednje vrijednosti modula elastičnosti poprečnih i uzdužnih uzoraka	38
Tablica 7 Rezultati ispitivanja kontrolne skupine uzoraka	40
Tablica 8 Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće rane zatvorene monofilamentnim koncem	42
Tablica 9 Rezultati ispitivanja čvrstoće rane zatvorene staplerom	43
Tablica 10 Rezultati ispitivanja čvrstoće rane zatvorene koncem s postranim kukicama	44
Tablica 11 Vrijednosti sile i deformacije za standardni šav za 192. sekundu.....	50
Tablica 12 Vrijednosti sile i deformacije za stapler za 192. sekundu	50
Tablica 13 Vrijednosti sile i deformacije za V-Loc šav za 192. sekundu	50

1. Uvod

Generalni trendovi u ljudskoj i veterinarskoj medicini fokusirani su uglavnom na smanjenje invazivnosti i vremena trajanja operacija, budući da se smanjenjem oba čimbenika indirektno smanjuje i stopa postoperacijskih infekcija. Postoperacijske infekcije značajno povećavaju cijenu liječenja produžavanjem vremena hospitalizacije pacijenta, a mogu dovesti i do smrti pacijenta. U svijetu 400 milijuna ljudi boluje od bolesti i poremećaja mokraćnog sustava [1]. Karakterizacija mehaničkog ponašanja zdravog mokraćnog mjehura potrebna je za određivanje što uspješnijeg operacijskog procesa liječenja bolesti te za razvoj novih materijala i metoda za rekonstrukciju tkiva mokraćnog mjehura. Ispitivanja mehaničkih svojstava tkiva, kao i ispitivanja uspješnosti pojedinih operacijskih zahvata, uglavnom se prvo provode na životinjama i to onim životinjama koje imaju građu pojedinog tkiva sličnu ljudskom tkivu. Tek nakon uspješno provedenih ispitivanja na životinjama, nove tehnike počinju se primjenjivati u humanoj medicini.

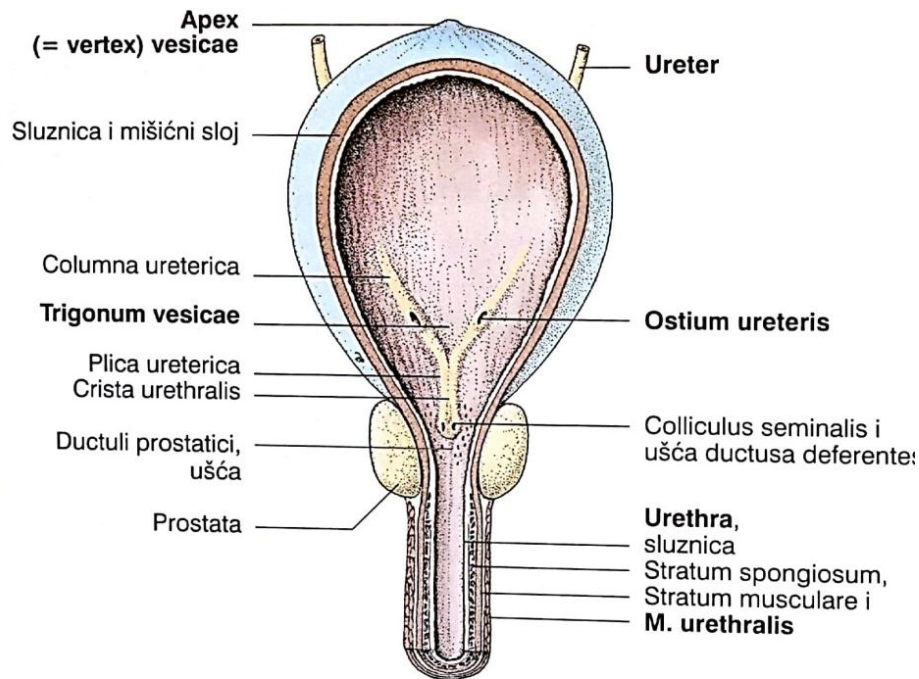
U ovom radu provedeno je istraživanje utjecaja tehnike zatvaranja reza cistotomije na maksimalni intravezikalni tlak. Ispitivanja su provedena na svježim uzorcima svinjskog mokraćnog mjehura. Pored određivanja maksimalnog intravezikalnog tlaka kod različitih tehnika zatvaranja reza cistotomije ispitana je i čvrstoća cistotomske rane pri jednoosnom statičkom vlačnom testu. A kako je tkivo svinjskog mjehura anizotropno, istim testom ispitana su i mehanička svojstva tkiva za dva međusobno okomita smjera.

U uvodnom poglavlju ovog rada dan je opis građe mokraćnog mjehura, objašnjena je cistotomija zajedno s tehnikama zatvaranja te je dan pregled dosadašnjih istraživanja iz područja mehaničkog ponašanja tkiva svinjskog mjehura i tehnika zatvaranja reza cistotomije. Ciljevi i hipoteza rada navedeni su u drugom poglavlju rada. U trećem poglavlju opisani su materijali i metode korištene u ovom istraživanju; opisana je priprema uzoraka za ispitivanje, vrste i načini provedbe eksperimenata te način na koji su dobiveni rezultati statistički analizirani. Rezultati ispitivanja prikazani su u četvrtom, a rasprava je dana u petom poglavlju. Zaključci su navedeni u šestom poglavlju.

1.1. Mokraćni mjehur

Mokraćni mjehur je šuplji sluznično-mišićni organ koji pripada mokraćnom sustavu. Služi kao privremeni spremnik za mokraću (urin) koja mokraćovodima (ureterima) dolazi iz

bubrega, a kroz mokraćnu cijev odlazi iz mjehura. Mokraćni mjehur karakterističan je po svojoj mogućnosti proširivanja odnosno promjeni oblika i veličine ovisno o svom sadržaju. Mokraćni mjehur malen je i kuglast kada je prazan i kontrahiran te u tom slučaju leži u zdjeličnoj šupljini na stidnim kostima. Kako se puni mokraćom, tako polagano mijenja svoj oblik i postaje kruškolikog oblika [2]. U građi mokraćnog mjehura prepoznaju se tri dijela: kranijalni dio tj. vrh (*apex*), srednji dio odnosno tijelo (*corpus vesicae*) i kaudalni dio – vrat mjehura (*cervix vesicae*). Anatomija mokraćnog mjehura prikazana je na slici 1.



Slika 1 Shematski prikaz mokraćnog mjehura [2]

Stijenka mokraćnog mjehura građena je od 4 sloja: *tunica mucosa*, *tela submucosa*, *tunica muscularis*, i *tunica serosa*. Slojevi su pretežno mišiće građe što omogućava promjene oblika i veličine mjehura ovisno o njegovom sadržaju. Mukozni sloj (*tunica mucosa*) najdublji je, odnosno unutrašnji sloj stijenke mokraćnog mjehura, a sastoji se od nekoliko (5-7) prijelaznih slojeva epitelnih stanica koje prilagođavaju svoj oblik ovisno o volumenu tekućine unutar mjehura. Submukozni sloj (*tela submucosa*), poznat još i kao lamina propria, sastoji se od vezivnog tkiva i vlakana elastina između kojih su smješteni živci, krvne te limfne žile. Ponaša se kao klizna ploča koja omogućava mukozu da mijenja svoj oblik ovisno o volumenu tekućine unutar samog mjehura. *Tunica muscularis* sastoji se od tri sloja isprepletenih glatkih mišićnih vlakana koji čine mišić detruzor (*musculus detrusor vesicae*). Serozni sloj pokriva

gornji i stražnji lateralni dio mjehura. Ostali dijelovi stijenke mokraćnog mjehura pokriveni su masnim vlaknastim vezivnim tkivom. [1]

Najčešće bolesti koje se dijagnosticiraju vezano uz mokraćni mjehur su mokraćni kamenci, a obično se liječe cistotomijom ili uretrotomijom [3].

1.2. Cistotomija

Cistotomija je kirurški zahvat pri kojem se izvodi rez stijenke mokraćnog mjehura. Indikacije za cistotomiju su uklanjanje mokraćnih kamenaca, rekonstrukcija mokraćnog mjehura nakon traume, biopsija, korekcija ektopičnih uretera i dr. [4]. Mokraćni mjehur moguće je otvoriti s njegove ventralne i dorzalne strane. Kada je u pitanju prijanjanje tkiva, mogućnost curenja mokraće ili mogućnost nastanka kamenaca ne postoji razlika između ventralne i dorzalne cistotomije, no prednost se daje otvaranju s ventralne strane zbog bolje preglednosti mjehura [3,4]. Cistotomija se najčešće koristi u humanoj i veterinarskoj medicini za kirurško liječenje mokraćnih kamenaca. Rez cistotomije potrebno je i zatvoriti pri čemu se koriste različite kirurške tehnike.

1.2.1 Tehnike zatvaranja reza cistotomije

Standardne tehnike za zatvaranje reza cistotomije podrazumijevaju korištenje resorbirajućih monofilamentnih materijala za šivanje korištenjem pojedinačnog čvorastog ili produžnog šava s čvoranjem na početku i na kraju šava. Pod monofilamentnim materijalima podrazumijevaju se konci sačinjeni od jedne niti, a multifilamentni konci sačinjeni su od više niti. Multifilamentni konci lakši su za rukovanje i čvorovi su mnogo sigurniji, no loša osobina je pojava trenja pri prolasku kroz tkivo što povećava traumu te se stoga ne preporučuje njihovo korištenje kod finih tkiva kao što je tkivo mokraćnog mjehura. Za resorbirajuće materijale je karakteristična mogućnost samorazgradnje. Resorbirajući kirurški konci postupno gube snagu podržavanja tkiva, a većinu čvrstoće izgube unutar 60 dana od implantacije u tkivu. Ukoliko je riječ o mokraćnom mjehuru čvrstoća konaca izgubi se i puno ranije ukoliko je konac u kontaktu s mokraćom, a posebice ako su u mokraći prisutne bakterije poput *Proteus spp.* Nedostaci standardne tehnike zatvaranja reza cistotomije su: produženo vrijeme šivanja te prisutnost čvorova na početku i na kraju šava koji može lokalno dražiti tkivo unutar abdomena.

Danas se pri kirurškim zahvatima koristi novi materijal za šivanje s postranim kukicama koje onemogućuju njegovo proklizavanje unatrag i izvlačenje iz kirurške rane. Materijal s postranim kukicama patentiran je u SAD-u 1964. godine [5]. Proizveden je tako da po cijeloj

duljini ima jednosmjerne ili dvosmjerne kukice koje se smještaju u tkivo stvarajući tako mnogo točaka za prenošenje opterećenja duž linije šava. Korištenjem tog novog materijala ne postoji potreba za postavljanjem početnog i završnog kirurškog čvora čime se smanjuje vrijeme šivanja, posebice kod laparoskopskih zahvata. Naime, materijal na svom završetku ima omču kroz koju se provuče igla i na taj način se izbjegava postavljanje početnog kirurškog čvora, dok je umjesto postavljanja završnog čvora dovoljno nit prerezati blizu kože, a postrane kukice sprječavaju proklizavanje materijala unazad i popuštanje kirurške rane [6]. Prednosti materijala s postranim kukicama su: smanjeno vrijeme šivanja rane i smanjenje trajanja operacije, manji broj komplikacija zbog ravnomjernijeg rasporeda opterećenja duž linije šava te jednolik izgled šava [5]. Istraživanja provedena na koži svinja su pokazala da je vlačna čvrstoća ovog materijala slična standardnim monofilamentnim materijalima. Najčešće se koristi za šivanje intrakutanih šavova, popravak tetiva te u plastičnoj kirurgiji kod ljudi [6], a u novije vrijeme sve je više literaturnih podataka o njegovom korištenju pri zatvaranju reza enterotomije, pri gastropeksiji [5,7-9] i dr. Nema dovoljno podataka o korištenju ovog materijala pri šivanju reza cistotomije. Prednost ove metode rekonstrukcije mokraćnog mjehura je izostanak čvorova na početku i kraju šava. Čvorovi su potencijalno opasni jer mogu izazvati lokalnu iritaciju tkiva.

Kožni stapleri koriste se za brzo zatvaranje kožnog reza i uvelike skraćuju vrijeme šivanja. Najveća prednost pred konvencionalnim metodama šivanja je brzina i smanjena mogućnost kontaminacije rane zbog smanjene manipulacije tkivom. Izbacivanjem staplica tkivo se istovremeno buši, a rubovi rane se spajaju. Osim za šivanje kože, opisano je korištenje staplera pri šivanju crijeva (enterotomija) [10-12], ali nije opisano korištenje staplera pri zatvaranju reza cistotomije.

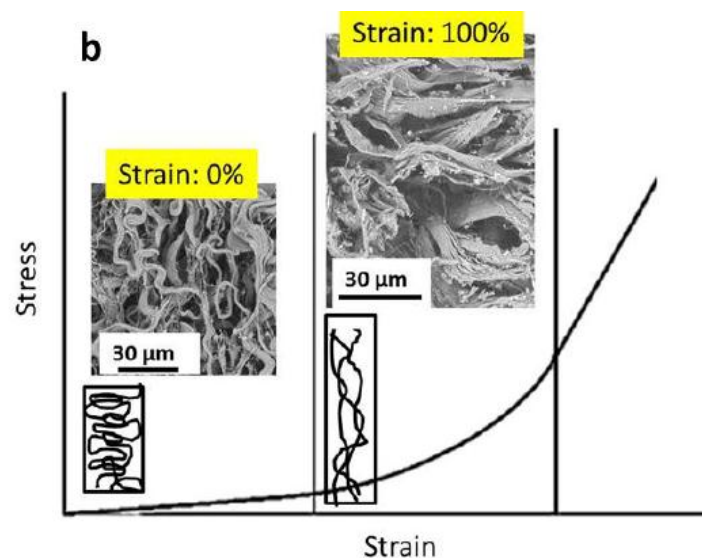
1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja

1.3.1 Mehaničko ponašanje tkiva svinjskog mjehura

Istraživanja su pokazala kako tkivo svinjskog i ljudskog mokraćnog mjehura pokazuje slične mehaničke karakteristike [1,13]. One ovise o povijesti opterećenja, brzini opterećivanja i trajanju opterećenja, također uočene su i razlike u mehaničkim svojstvima tkiva mjehura između mlađih i starijih pacijenata [1]. Podrazumijeva se da je mehaničko ponašanje mokraćnog mjehura anizotropno [1,14] te je preporučljivo, ukoliko se radi o jednoosnom ispitivanju, ispitivati uzorke dobivene iz dva međusobno okomita smjera odnosno uzorke u

uzdužnom i poprečnom smjeru [13]. Ako se uzme u obzir da je mjehur unutar trbušne šupljine tijekom punjenja i pražnjenja urinom složeno opterećen, poželjno je i višeosno ispitivanje uzoraka.

Jednoosno ispitivanje pruža vrijedne informacije o vlačnoj čvrstoći tkiva mokraćnog mjehura i njegovom anizotropnom ponašanju. vlakna od kojih je mjehur sačinjen raspoređena su u različitim smjerovima i taj neravnomjeran raspored vlakana zapravo mjehuru daje anizotropna svojstva. Na slici 2 prikazana je krivulja naprezanje-deformacija za stijenku mokraćnog mjehura. Slično kao i kod ostalih mekih bioloških tkiva (koža, krvne žile itd.) u dijagramu naprezanje-deformacija mogu se prepoznati tri područja. Na početku je vidljivo pretežito linearno područje, to je područje u kojemu se tkivo ponaša elastično – velika promjena deformacije uzrokuje mala naprezanja. Na njega se nastavlja izrazito nelinearan dio dijagrama, odnosno ponašanje tkiva je u tom dijelu nelinearno. Na kraju, u trećem dijelu dijagrama ponovno se prepoznaje linearno područje, no za razliku od prvog dijela, u ovom dijelu male promjene deformacije izazivaju velika naprezanja.

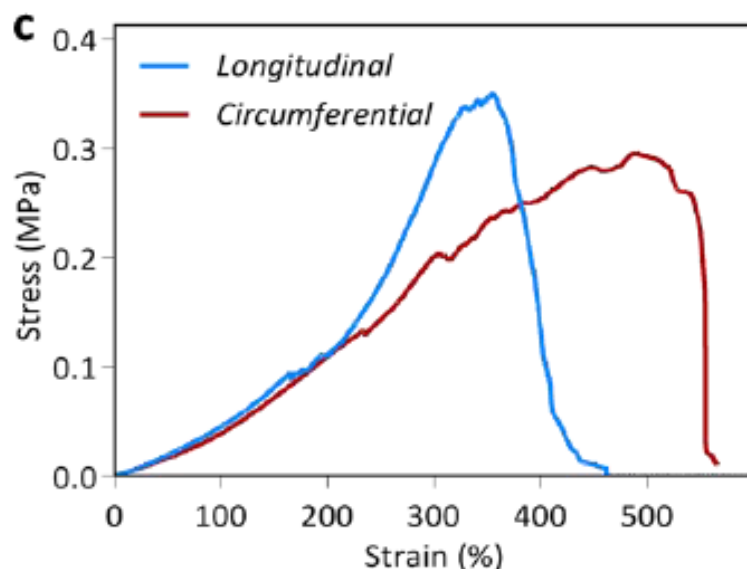


Slika 2 Krivulja naprezanje-deformacija za stijenku mokraćnog mjehura s prikazom orijentacije vlakana kolagena [13]

Nagib krivulje prikazane na slici 2 neznatno se mijenja pri malim vrijednostima deformacije dok kod velikih vrijednosti deformacije eksponencijalno raste, ta promjena osobito je izražena za vrijednosti deformacije veće od 200% početne duljine. Te pojave mogu se objasniti rasporedom i ponašanjem valovitih i uvijenih različitih vrsta vlakana kao što su npr. vlakna kolagena u stijenci mokraćnog mjehura. Poznato je da je stijenka mokraćnog mjehura sačinjena od kompleksne vlaknima ojačane strukture [13]. U relaksiranoj fazi, vlakna

kolagena su umotana u oblik romba. Naime, potrebna je mala vrijednost napreznja kako bi se postigle velike deformacije (tkivo u toj fazi ima malu krutost) i većina energije opterećenja je pohranjena u upetljanim vlaknima. Kao što je vidljivo na Slika 2 u početnom dijelu dijagrama gdje su deformacije male krivulja je približno linearna, kako opterećenje raste, vlakna kolagena se izdužuju, odmotavaju te orijentiraju u smjeru djelovanja vanjskog opterećenja i dalje se rastežu u tom smjeru. Krivudava vlakna kolagena nastavljaju se odmotavati te produljivati u smjeru djelovanja opterećenja sve do trenutka dok nisu potpuno istegnuta. Uspravna vlakna kolagena brzo odgovaraju na narinuto opterećenje odnosno imaju veliku krutost te se stijenka mokraćnog mjehura počinje ponašati kruto. Krivulja napreznje-deformacija ponovno je linearna te raste sve dok ne dostigne krajnju vlačnu čvrstoću odnosno do trenutka u kojem vlakna počinju pucati.

Korrosis i sur. [14] i Jokandan i sur. [13] zaključili su kako se uzorci svinjskih mjehura do određene vrijednosti deformacije ponašaju izotropno, a nakon te vrijednosti krutost je nešto veća u uzdužnom smjeru (Slika 3). Nasuprot tome, Zanetti i sur. [1] opazili su da je krutost uzoraka veća u poprečnom smjeru. Naravno, ova opažanja ovisna su o parametrima samog ispitivanja (brzina opterećivanja, način čuvanja uzoraka, temperatura, spol životinje itd.). Parametri prethodno navedenih istraživanja se razlikuju stoga je dobivene rezultate teško međusobno usporediti.



Slika 3 Razlika između uzdužnih (plavo) i poprečnih (crveno) uzoraka [13]

Kako je cilj samog ispitivanja opisati biomehaniku stijenke mokraćnog mjehura u fiziološkim uvjetima, potrebno je uzeti u obzir podatak da se mokraćni mjehur u normalnim, fiziološkim uvjetima puni brzinom 1-2 mL/min stoga je poželjno u ispitivanjima mehaničkih

svojstava koristiti što manju brzinu opterećenja. Budući da su Jokandan i sur. [13] uzorke ispitivali veoma malom brzinom 0.4%/s njihova opažanja mogu se smatrati mjerodavnima. Osim što su opazili kako se stijenka mokraćnog mjehura ponaša izotropno sve do 200% deformacije, a nakon toga krutost je nešto veća u uzdužnom smjeru, uočili su i da elastičnost stijenke mokraćnog mjehura pada s porastom deformacije. Testovima relaksacije pokazano je kako viskoelastična svojstva stijenke mokraćnog mjehura nisu ovisna o orijentaciji uzoraka [1].

1.3.2 Tehnike zatvaranja reza cistotomije

Problemi koji se mogu javiti kod standardnog načina šivanja korištenjem resorbirajućih monofilamentnih materijala za šivanje korištenjem pojedinačnog čvorastog ili produžnog šava s čvoranjem na početku i na kraju šava su: stvaranje mokraćnih kamenaca, gubitak čvrstoće konca prije nego je to potrebno, prisutnost čvorova koji mogu dražiti tkivo unutar abdomena, produženo vrijeme šivanja [4]. Zbog prethodno navedenih problema postoji potreba za uvođenjem novih materijala i tehnika za zatvaranje reza cistotomije.

U literaturi postoje podaci o korištenju konca s postranim kukicama, a svega nekoliko istraživanja spominje korištenje tog konca pri zatvaranju reza cistotomije [6,15,16]. Gözen i suradnici [16] prvi su usporedili korištenje tradicionalnih materijala i materijala s postranim kukicama za zatvaranje reza cistotomije. Rez na mokraćnim mjehurima zatvarali su laparoskopski, a istraživanje je provedeno na svinjskim mokraćnim mjehurima. Istraživanjem je zaključeno kako je laparoskopski zahvat puno brži i učinkovitiji kada se koristi materijal s postranim kukicama. Montel i sur. [6] uspoređivali su vrijeme šivanja kod otvorenog zahvata i tlak kod kojeg dolazi do popuštanja cistotomske rane ovisno o tome koristi li se standardni monofilamentni resorbirajući konac i produžni šav s čvoranjem na početku i kraju šava ili produžni šav s postranim kukicama čija primjena ne zahtjeva postavljanje početnog i završnog čvora. Rezultati istraživanja pokazali su kako ne postoji značajna razlika u vremenu šivanja kao ni u maksimalnom tlaku između ove dvije tehnike, no kako je broj uzoraka bio relativno malen potrebno je provesti dodatna ispitivanja s većim brojem uzoraka kako bi se dobili što pouzdaniji rezultati. Kieves i sur. [5] u istraživanju provedenom na kadaveričnim psećim mokraćnim mjehurima opazili su kako ne postoji razlika u početnom kao ni u maksimalno postignutom tlaku između uzoraka šivanih tradicionalnim šavom i onih šivanih koristeći materijal s postranim kukicama. Ruzickova i sur. [15] ispitivanja su proveli na kadaveričnim mokraćnim mjehurima konja. Uspoređivali su maksimalni tlak te vrijeme šivanja ovisno o tome je li rez cistotomije zatvaran tradicionalnom tehnikom korištenjem

monofilamentnih resorbirajućih materijala ili upotrebnom materijala s postranim kukicama. Rezultati ispitivanja pokazali su kako ne postoji značajna razlika u maksimalnom tlaku ovisno o materijalu kojim je rez cistotomije zatvoren, a ukoliko se kod šivanja koristi automatski uređaj za laparoskopsko šivanje, vrijeme šivanja je značajno kraće korištenjem materijala s postranim kukicama. Nedostatak ispitivanja je što životinje nisu bile jednake starosti, svi mjehuri nisu od životinja istog spola i postoji velika varijabilnost u veličini samih mjehura.

Omotosho i sur. [8] u provedenom istraživanju zaključili su kako materijal s postranim kukicama ima prednost pred tradicionalnim monofilamentnim šavovima kod gastrotomije i enterotomije u pasa. Do sličnog zaključka došli su i Nemecek i sur. [9]. Budući da korištenjem konca s postranim kukicama (V-Loc) nema potrebe za postavljanjem početnog i završnog čvora vrijeme operacije je značajno kraće, posebice kod laparoskopskih zahvata. Osim toga zaključili su i kako rane zatvorene pomoću V-Loc-a podnose veći tlak u usporedbi sa standardnim materijalom. Zbog gore navedenog Nemecek i sur. također smatraju kako kod kirurških zahvata na probavnom traktu, materijal s postranim kukicama ima prednost pred standardnim monofilamentnim materijalima. Chamsy i sur. [17] u *in vivo* istraživanju primijetili su kako je materijal s postranim kukicama siguran te idealan za rekonstrukciju stijenke mokraćnog mjehura i crijeva, no, kao i ostali istraživači, smatraju da je potrebno provesti dodatna istraživanja i usporedbe tradicionalnih monofilamentnih šavova i novog materijala s postranim kukicama prije opće kliničke upotrebe kako bi se otkrile i uklonile moguće komplikacije.

Gandini i sur. [10] proučavali su utjecaj tehnike zatvaranja reza enterotomije kod konja, a jedna od korištenih tehnika bila je zatvaranje reza pomoću kožnih staplera. Istraživanjem su pokazali kako ne postoji statistički značajna razlika u maksimalnom tlaku između reza zatvorenog pomoću kožnih staplera i reza zašivenog produžnim šavom. Zaključak samog istraživanja je da se stapleri mogu koristiti za zatvaranje reza enterotomije uz odgovarajuća *in vivo* istraživanja prije opće kliničke upotrebe. Rosser i suradnici [11] uočili su kako je vrijeme potrebno za zatvaranje reza enterotomije staplerima značajno manje od vremena potrebnog za zatvaranje istog reza standardnim tehnikama, dok kod vrijednosti maksimalnog tlaka ne postoji statistički značajna razlika između ove dvije tehnike. Također, pokazano je i kako nema značajne razlike u komplikacijama koje se mogu javiti nakon operacije ovisno o tome jesu li korišteni stapleri ili produžni šav [12].

2. Ciljevi i hipoteza rada

Ciljevi rada:

1. utvrditi utječu li alternativne metode zatvaranja reza cistotomije na maksimalni intravezikalni tlak u usporedbi sa standardnom metodom zatvaranja,
2. utvrditi osiguravaju li alternativne metode zatvaranja reza cistotomije dostatnu čvrstoću cistotomske rane,
3. utvrditi skraćuju li alternativne metode zatvaranja reza cistotomije vrijeme zatvaranja rane,
4. utvrditi postoji li razlika u mehaničkim svojstvima uzoraka u uzdužnom i poprečnom smjeru mokraćnog mjehura.

Hipoteza rada:

1. alternativne metode zatvaranja reza cistotomije osiguravaju dostatni maksimalni intravezikalni tlak,
2. nema značajne razlike u vlačnoj čvrstoći rane kod različitih tehnika zatvaranja,
3. korištenje alternativnih metoda ne produljuje vrijeme trajanja operacije,
4. mehanička svojstva svinjskog mokraćnog mjehura različita su u uzdužnom i poprečnom smjeru.

3. Materijali i metode

3.1. Priprema uzoraka

Uzorci svježih svinjskih mjehura dobiveni su iz klaonice PIK Vrbovec M.I. d.d. odmah nakon klanja te su u prijenosnom hladnjaku transportirani na Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Životinje su iz istog tova, starosti šest mjeseci i prosječne mase oko 115 kg. Svi uzorci ispitani su svježi, u roku najviše 12 sati od preuzimanja uzoraka. Za vrijeme transporta mokraćni mjehuri bili su držani u hladnjaku, uronjeni u fiziološku otopinu temperature oko 4°C.

U ovom istraživanju uzorci su s obzirom na način pripreme i ispitivanja podijeljeni u nekoliko skupina i podskupina:

1. Uzorci za određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka. Ukupno 45 uzoraka koji su ovisno o načinu zatvaranja reza cistotomije podijeljeni u 3 podskupine:
 - a) rana cistotomije zatvorena standardnim šavom - 15 uzoraka,
 - b) rana cistotomije zatvorena staplerom – 15 uzoraka,
 - c) rana cistotomije zatvorena koncem s postranim kukicama – 15 uzoraka.
2. Uzorci za statičko vlačno ispitivanje mehaničkog ponašanja tkiva svinjskog mjehura. Ukupno 14 uzoraka koji su ovisno o mjestu uzimanja uzorka podijeljeni u 2 podskupine:
 - a) uzorci izrezani u poprečnom smjeru mjehura – 7 uzoraka,
 - b) uzorci izrezani u uzdužnom smjeru mjehura – 7 uzoraka.
3. Uzorci za statičko vlačno ispitivanje čvrstoće rane cistotomije. Ukupno 22 uzorka podijeljeni u jednu kontrolnu i tri ispitne podskupine:
 - a) kontrolna skupina, intaktni uzorci – 7 uzoraka,
 - b) rana zatvorena standardnim šavom – 5 uzoraka,
 - c) rana zatvorena staplerom – 5 uzoraka,
 - d) rana zatvorena koncem s postranim kukicama – 5 uzoraka.

Za ovo istraživanje postoji odobrenje Povjerenstva za etiku u veterinarstvu Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Klasa: 640-01/18-17/31, Ur. broj: 251-61-44/168-18-02, Zagreb, 3. svibnja 2018.

3.1.1 Uzorci za određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka

Svaki uzorak postavljen je na kirurški stol gdje je i pripremljen za ispitivanje. Prvo je određena ventralna strana uzorka te je izmjerena duljina od vrha do vrata mokraćnog mjehura. Nakon toga tkivnim hvataljkama zatvoreni su ureteri te je na ventralnoj stijenci uzorka učinjen rez duljine 4 cm (Slika 4).



Slika 4 Rez na ventralnoj strani uzorka

Rez cistotomije zatvaran je različitim kirurškim tehnikama, te su uzorci ovisno o načinu zatvaranja reza podijeljeni u tri skupine. U prvoj skupini uzoraka rez cistotomije zatvaran je korištenjem produžnog šava (Biosyn 3-0, Covidien, SAD). Biosyn je monofilamentni sintetički resorbirajući konac od sintetičkog poliestera (*Glycomer 631*) koji se sastoji od 60% glikolida, 14% dioksanona i 26% trimetil-karbonata [18]. Na početku šava postavljena su dva, a na kraju tri kvadratna čvora. Vrijeme šivanja mjereno je od prvog uboda igle do postavljanja zadnjeg čvora. Duž reza postavljeno je ukupno 15 šavova (Slika 5).



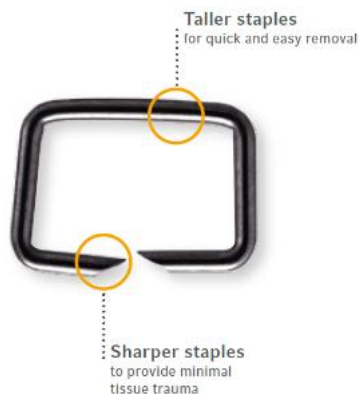
Slika 5 Rez cistotomije zatvoren produžnim šavom

Drugu skupinu uzoraka čine uzorci kod kojih je rez cistotomije zatvaran kožnim staplerima (Weck Visistat® 35R Skin Stapler, Teleflex, SAD) (Slika 6). Kožni stapleri Weck Visistat vrlo su jednostavni za uporabu. Svaki stapler sadrži 35 staplica od nehrđajućeg medicinskog čelika [19]. Kao što je vidljivo na slici 7, staplica je oštra na kraju što je poželjno jer smanjuje traumu tkiva.

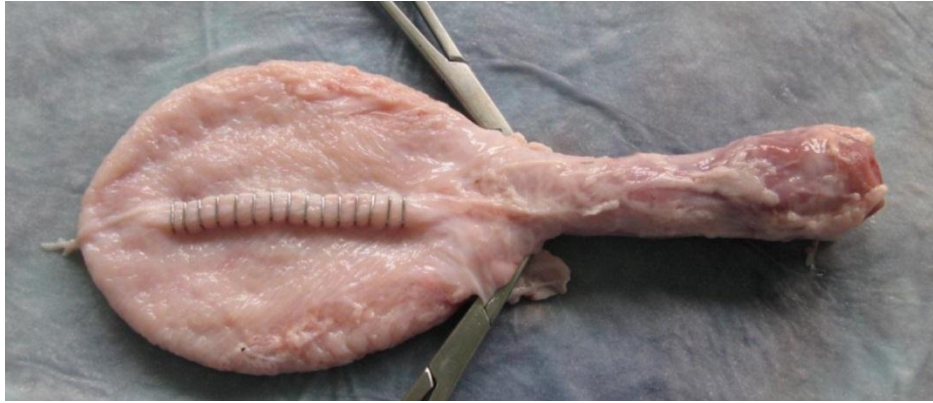


Slika 6 Weck Visistat® 35R Skin Stapler

U ovom istraživanju korištene su staplice dimenzija 5,7 mm x 3,9 mm. Nakon što je na ventralnoj strani uzorka napravljen rez duljine 4 cm, rez se zatvara kožnim staplicama. Na slici 8 prikazan je uzorak kod kojeg je rez cistotomije zatvoren kožnim staplerom. Duž reza postavljeno je 15 staplica ili spajalica. Tijekom zatvaranja reza mjereno je potrebno vrijeme.

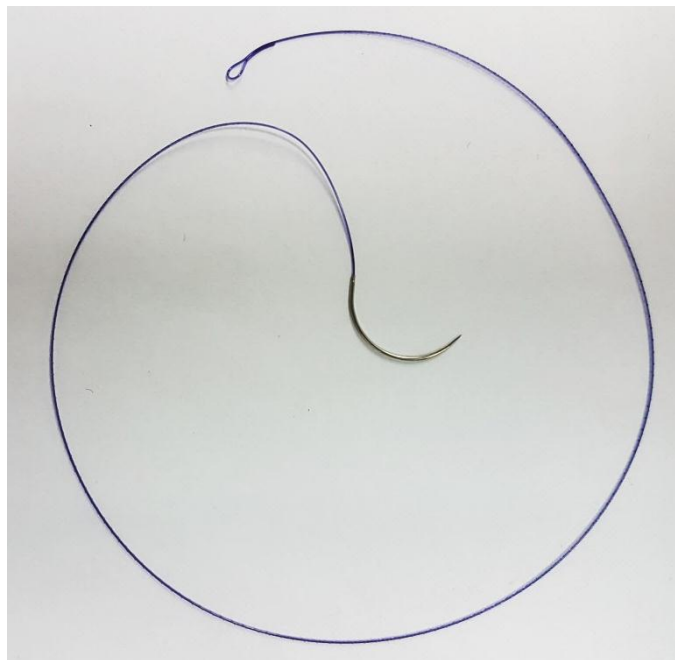


Slika 7 Staplica [19]

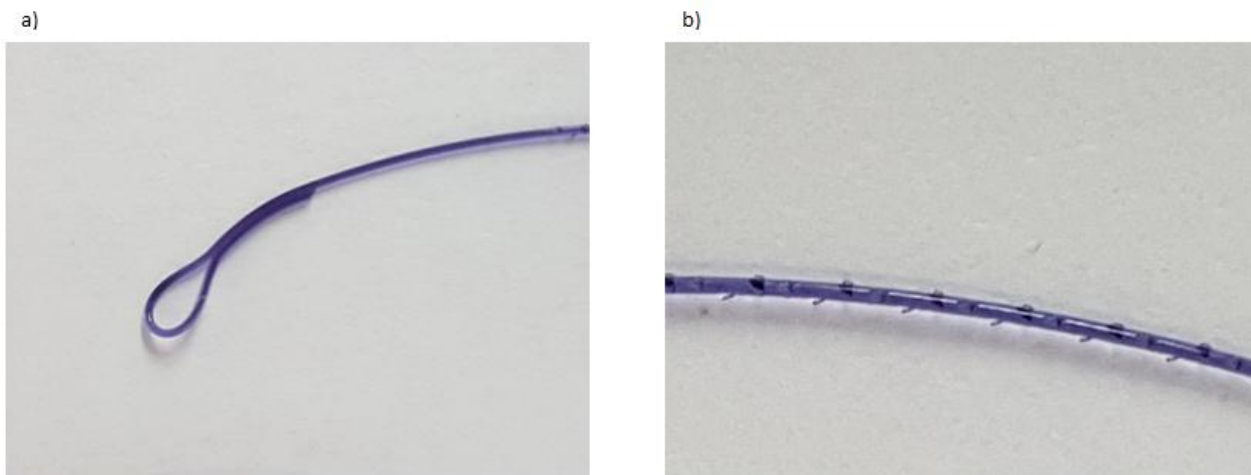


Slika 8 Rez cistotomije zatvoren staplerima

Kod treće skupine uzoraka rez cistotomije zatvaran je korištenjem materijala s postranim kukicama (V-Loc™ 90 3-0, Covidien, SAD) prikazanog na slici 9. Šivanjem pomoću ovog materijala izbjegava se potreba za postavljanjem početnog i završnog kirurškog čvora. Materijal na svom kraju ima omču (Slika 10a) kroz koju se provuče kirurška igla te se na taj način izbjegava postavljanje početnog kirurškog čvora.

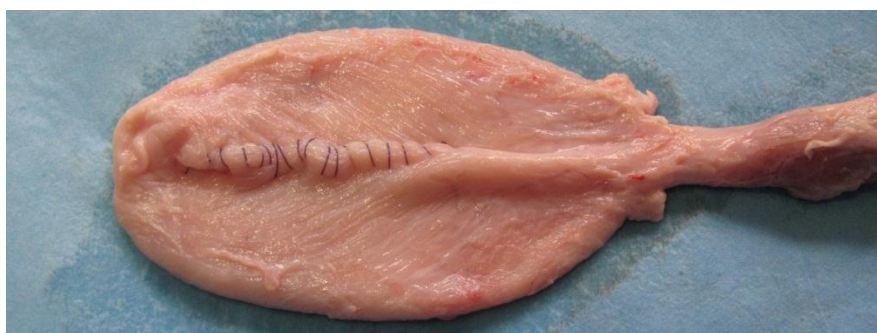


Slika 9 Konac V-Loc™ 90 3-0



Slika 10 V-LocTM uvećani prikaz: a) omče, b) postranih kukica

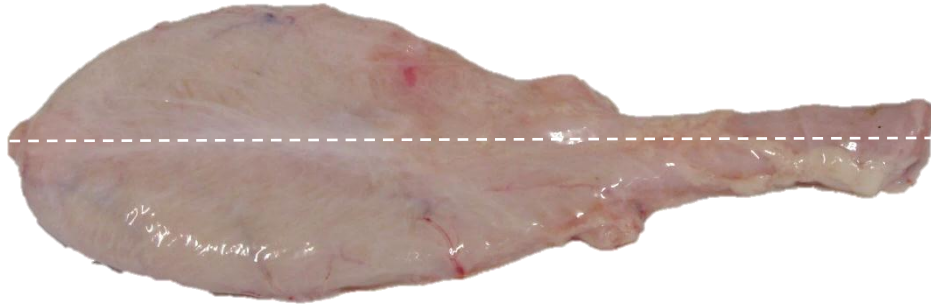
Na kraju šava dovoljno je samo prerezati materijal blizu tkiva, a postrane kukice (Slika 10b) sprječavaju proklizavanje konca unatrag i izvlačenje iz kirurške rane te se na taj način izbjegava potreba za postavljanjem završnog kirurškog čvora. Uzorak kod kojeg je za zatvaranje reza cistotomije korišten materijal s postranim kukicama prikazan je na slici 11.



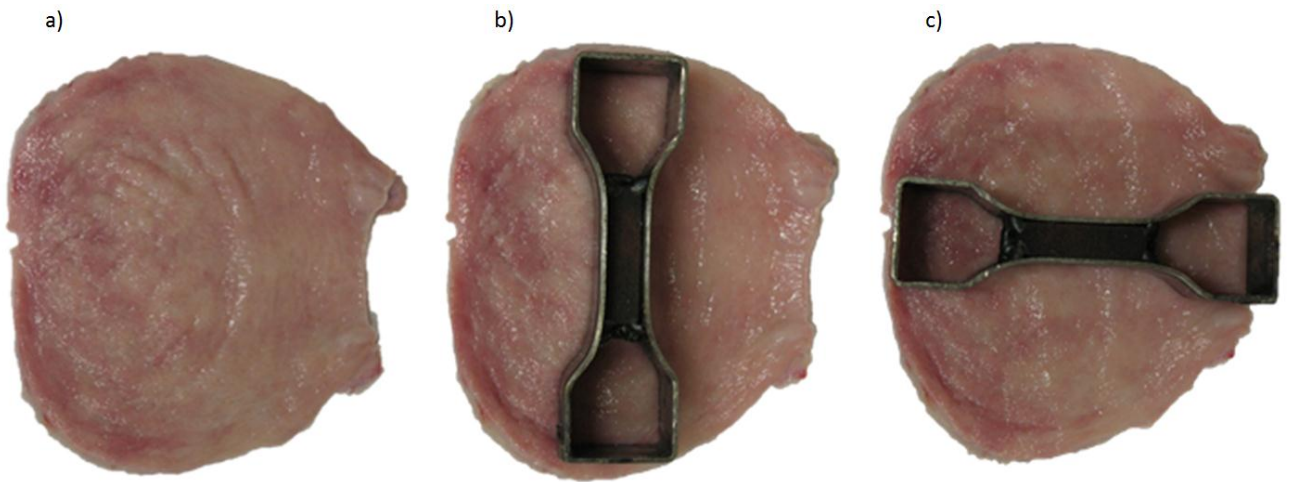
Slika 11 Rez cistotomije zatvoren koncem s postranim kukicama

3.1.2 Uzorci za statičko vlačno ispitivanje

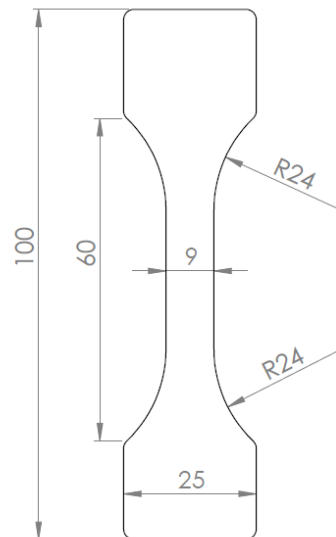
Za statičko vlačno ispitivanje korišteni su uzorci iz svježeg svinjskog mjehura izrezani u oblik klasičnih epruveta za vlačno ispitivanje. Mjehur je prerezan s dorzalne strane po dužini i pomoću noža-kalupa ekscidiran je iz svakog mjehura po jedan uzorak. Ekscidiranjem uzoraka pomoću noža-kalupa osiguran je isti oblik i dimenzije svih ispitnih uzoraka. Uzdužni rez na dorzalnoj strani mjehura prikazan je bijelom crtkanom linijom na slici 12. Nakon što je prerezan, mjehur se rastvori te se iz njega ekscidiraju poprečni ili uzdužni uzorci kao što je prikazano na slici 13. Bitno je napomenuti da je iz svakog mokraćnog mjehura ekscidiran samo jedan uzorak odnosno svi uzorci u pojedinoj skupini su zapravo iz istog dijela mjehura. Dimenzije uzoraka prikazane su na slici 14 i izražene su u milimetrima. Gotovi uzorak dobiven na opisani način prikazan je na slici 15.



Slika 12 Linija rezanja mokraćnog mjehura



Slika 13 Priprema poprečnih i uzdužnih uzoraka: a) prerezani mjehur, b) poprečni uzorak, c) uzdužni uzorak



Slika 14 Dimenzije uzoraka

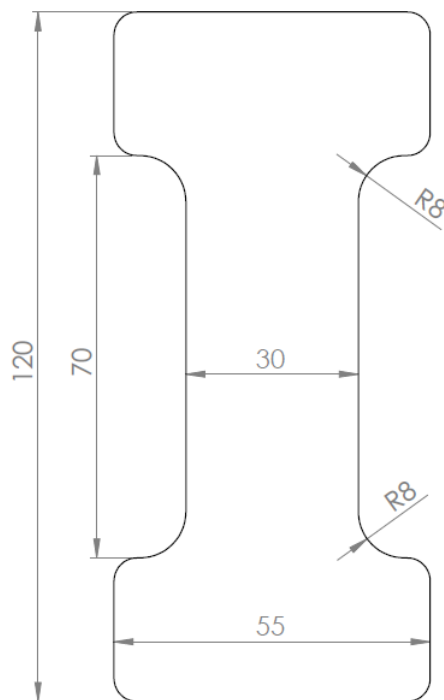


Slika 15 Uzorak za statičko vlačno ispitivanje

Svakom uzorku prije ispitivanja izmjerena je debljina. Budući da je tkivo mokraćnog mjehura nejednolike debljine, debljina je mjerena na četiri mjesta na središnjem ispitnom dijelu uzorka te je izračunata srednja vrijednost. Mjerenje debljine kod mekih tkiva nije jednostavno provesti. U ovom slučaju, debljina je mjerena tako da je uzorak na ravnoj podlozi postavljen između dvije ravne pločice te je pomičnom mjerkom izmjerena udaljenost između pločica. Debljine uzoraka prikazane su zajedno s rezultatima u poglavlju 4.

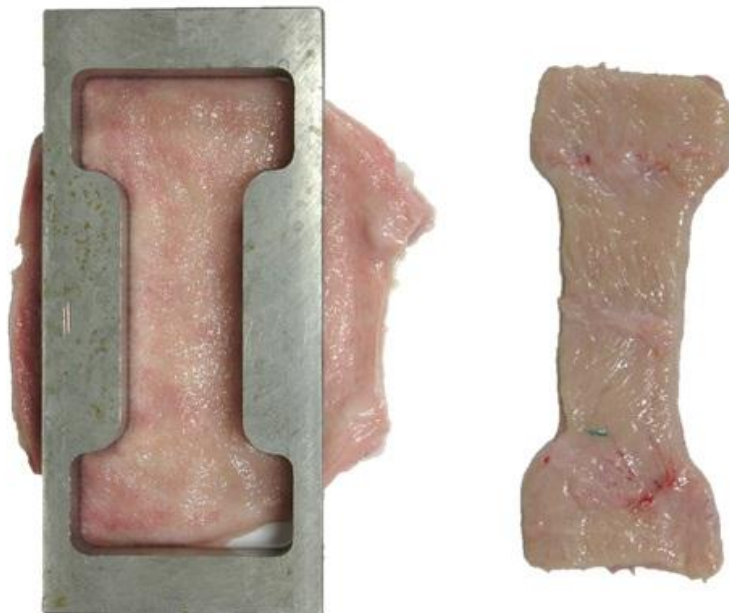
3.1.3 Uzorci za ispitivanje vlačne čvrstoće rane cistotomije

Osim ispitivanja intaktnih uzoraka za dva međusobno okomita smjera, dio uzoraka pripremljen je za ispitivanje čvrstoće rane cistotomije zatvorene sa sve tri tehnike. Kod pripreme uzoraka za ova ispitivanja također je korišten nož-kalup, no ovaj put nešto većih dimenzija od prethodnog. Dimenzije uzoraka u milimetrima prikazane su na slici 16.



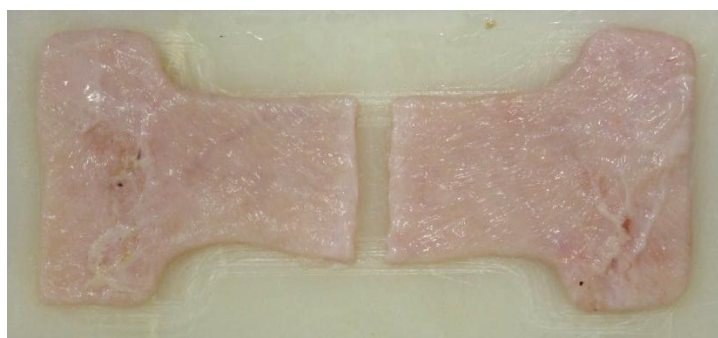
Slika 16 Dimenzije uzoraka za ispitivanje vlačne čvrstoće rane

Mjehur je prerezan kako je već opisano i prikazano na slici 12, zatim je kalup postavljen u poprečnom smjeru te je ekscidiran uzorak (Slika 17). Debljina uzoraka mjerena je na prethodno opisan način.



Slika 17 Priprema uzoraka

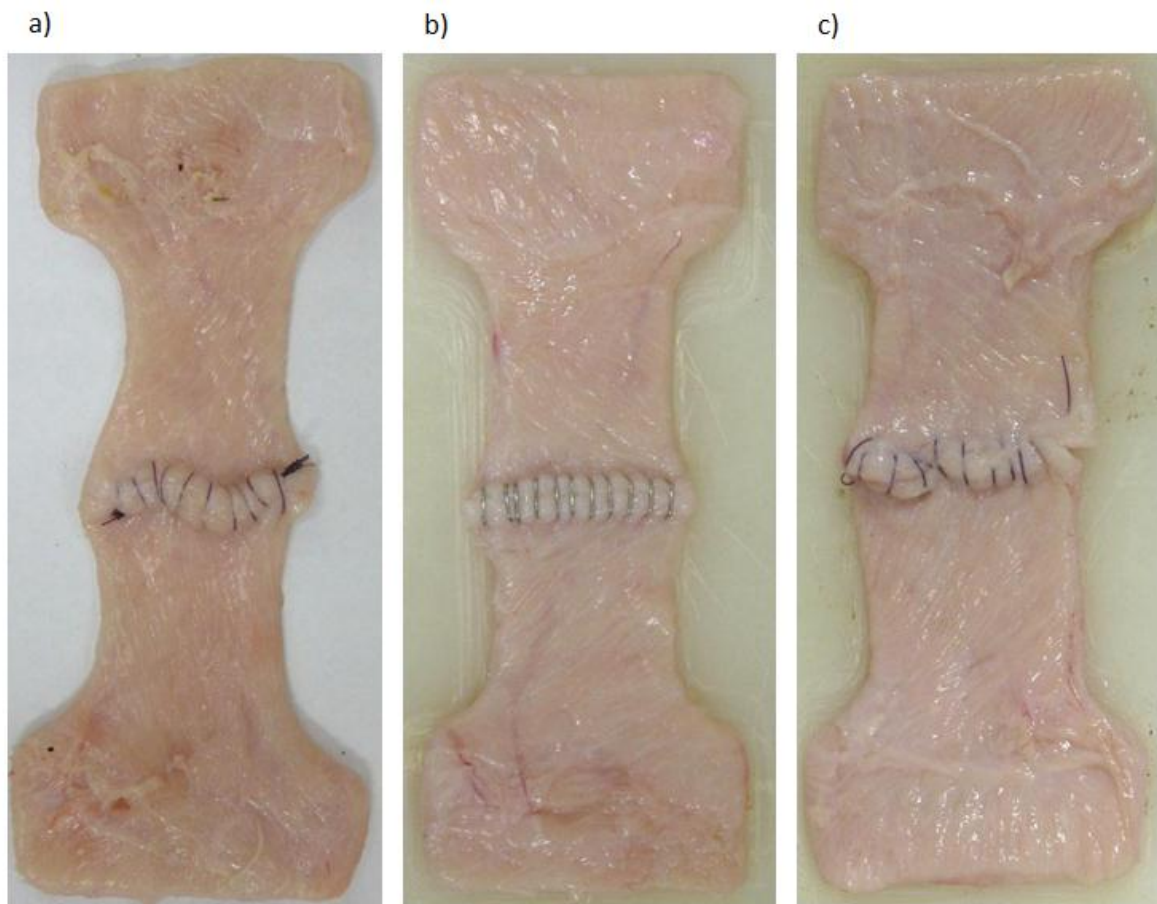
Intaktni uzorci pripremljeni za ispitivanje kako je prikazano na slici 17 predstavljali su kontrolnu skupinu, dok su uzorci prerezani prema slici 18 te šivani prethodno opisanim tehnikama činili ispitne skupine uzoraka. Prilikom izrezivanja ovakvih uzoraka potrebno je obratiti posebnu pažnju da se rez i šav naprave na istom mjestu kao i kod mjehura prilikom ispitivanja maksimalnog intravezikalnog tlaka, a za samo vlačno ispitivanje neophodno je da je rana, odnosno šav, na sredini uzorka.



Slika 18 Uzorak pripremljen za šivanje

Na slici 19 prikazani su uzorci pripremljeni za ispitivanje vlačne čvrstoće rane ovisno o tehnici šivanja. Slika 19 a) prikazuje uzorak šivan standardnom tehnikom – monofilamentnim

resorbirajućim koncem, b) rana zatvorena pomoću staplera, c) rana zatvorena materijalom s postranim kukicama (V-Loc).



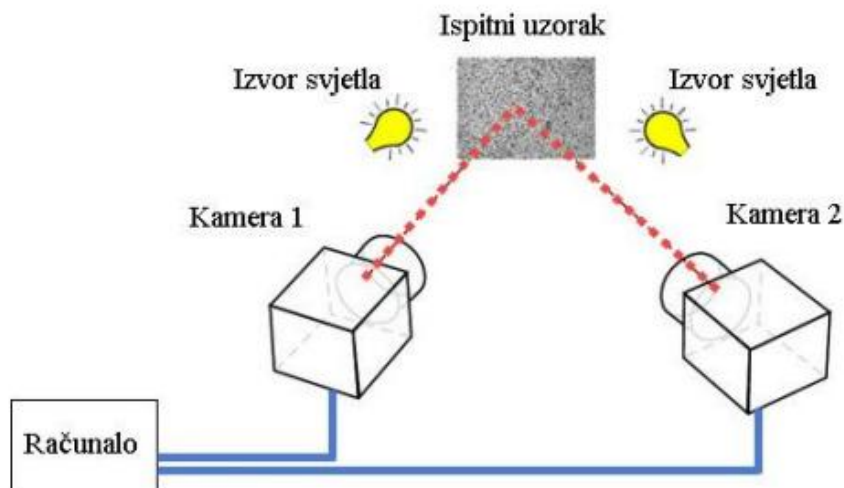
Slika 19 Uzorci za određivanje vlačne čvrstoće rane: a) standardni šav, b) stapler, c) V-Loc konac

Tijekom provedbe eksperimentalnog ispitivanja uzorci pripremljeni prema slici 19 snimani su beskontaktnim optičkim mjernim sustavom *Aramis* (GOM GmbH, Njemačka) koji omogućuje dobivanje polja pomaka na cijeloj mjernoj površini uzorka. Provedba mjerenja optičkim sustavom *Aramis* zahtijeva dodatnu pripremu uzoraka pokazanih na slici 19. Mjerni sustav, priprema uzoraka i sama provedba mjerenja detaljno su opisani u poglavlju 3.2.

3.2. Mjerenje optičkim sustavom *Aramis*

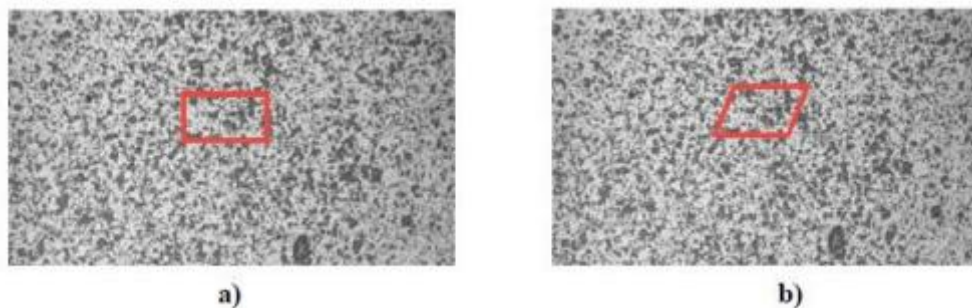
3.2.1 Metoda korelacije digitalne slike (DIC)

Optički sustav sastoji se od dvije CCD kamere (engl. *charge-coupled device*), izvora svjetla i odgovarajućeg algoritma koji se temelji na lokalnom pristupu metode korelacije digitalne slike (engl. *Digital Image Correlation* - DIC). Shematski prikaz mjerenja s dvije kamere dan je na slici 20.



Slika 20 Shema mjerenja s dvije kamere primjenom korelacije digitalne slike [20]

Metoda se svodi na praćenju promjena položaja točaka na površini ispitnog uzorka usporedbom položaja mjernih točaka u deformiranom stanju s njihovim položajem u nedeformiranom stanju. Tijekom mjerenja snimaju se digitalne slike pri čemu je prva slika referentna i predstavlja nedeformirano stanje uzorka. Digitalne slike diskretiziraju se manjim poljima piksela koje se nazivaju fasetama (Slika 21), pri čemu središte svake fasete predstavlja mjernu točku.



Slika 21 Primjer stohastičkog rastera i crveno označena pravokutna faseta: a) faseta u referentnoj konfiguraciji, b) faseta u deformiranoj konfiguraciji [20]

Fasete su obično pravokutnog ili kvadratičnog oblika i svaka faseta ima jedinstvenu raspodjelu intenziteta sive boje koja ih čini međusobno različitim. Iz tog je razloga poželjno da površina ispitnog uzorka ima raznoliku teksturu po pitanju intenziteta nijansi sive boje. To kod većine uzoraka nije slučaj, te je neophodna dodatna priprema ispitnog uzorka s ciljem dobivanja stohastičkog uzorka (rastera) na površini. Raster se najčešće postiže nanošenjem nereflektirajuće mat bijele boje te naknadnim nanošenjem crne boje, kako bi se na površini uzorka dobio raster u obliku crnih točkica na bijeloj podlozi. Gustoća i veličina nanesenih točkica prvenstveno ovisi o veličini mjernog volumena koji se analizira [20].

Aramis je beskontaktni optički 3D mjerni sustav koji se temelji na lokalnom pristupu korelacije digitalne slike. Sustav omogućuje određivanje cijelog polja pomaka i deformacija na mjernom području čime se dobiva bolji uvid u mehanički odziv materijala na narinuto opterećenje.

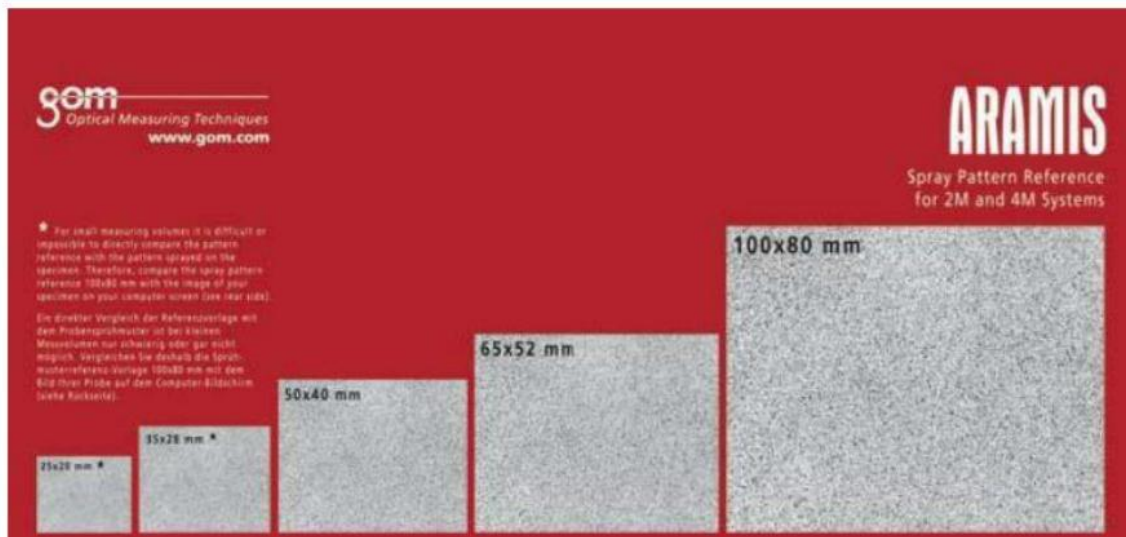


Slika 22 Optički mjerni sustav Aramis [21]

Sustav je prikazan na slici 22, a sastoji se od podesivog stakla, dvije kamere, izvora svjetla i računala za obradu rezultirajućih digitalnih slika. Postupak mjerenja optičkim sustavom *Aramis* sastoji se od: nanošenja stohastičkog uzorka na površinu mjerenog objekta, podešavanja i kalibracije sustava za željeni mjerni volumen, provedbe snimanja te pohrane i obrade digitalnih slika.

3.2.2 Nanošenje stohastičkog uzorka na površinu

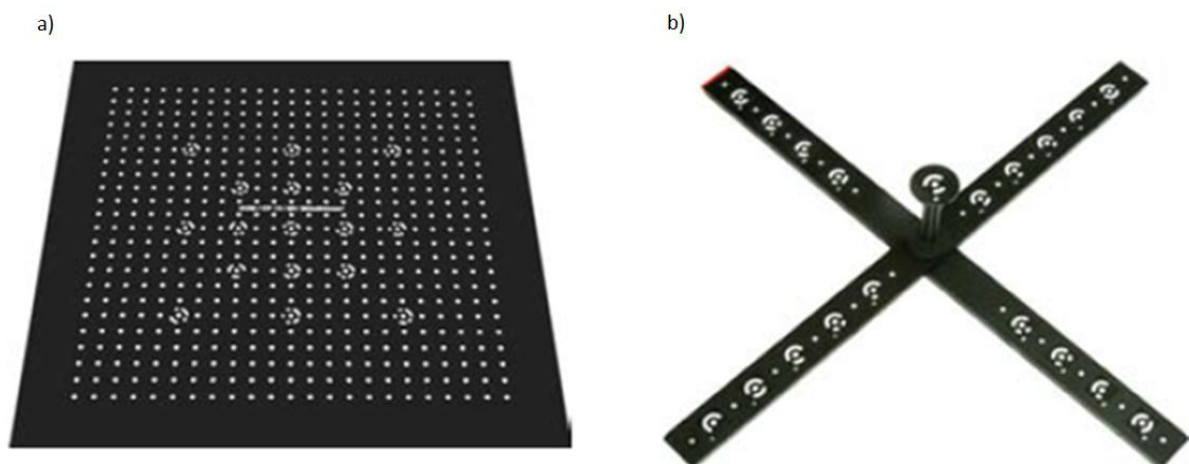
Budući da metoda korelacije digitalne slike zahtijeva što nepravilniju teksturu na površini mjernog objekta, prije samog mjerenja uzorke je potrebno adekvatno pripremiti – nanijeti stohastički uzorak (raster) prepoznatljiv sustavu. Raster se, kao što je već rečeno, najčešće postiže nanošenjem nereflektirajuće mat bijele boje te naknadnim nanošenjem crne boje s ciljem dobivanja crnih točkica na bijeloj podlozi. Za dobivanje rastera najčešće se koriste klasični sprejevi. Bitno je napomenuti da gustoća i veličina nanesenih točkica uglavnom ovise o veličini mjernog volumena. Mali mjerni volumeni zahtijevaju finiji i gušći raster. Primjeri stohastičkih uzoraka za različite mjerne volumene prema preporuci proizvođača prikazani su na slici 23.



Slika 23 Primjeri stohastičkih uzoraka za različite mjerne volumene [21]

3.2.3 Podešavanje i kalibracija sustava

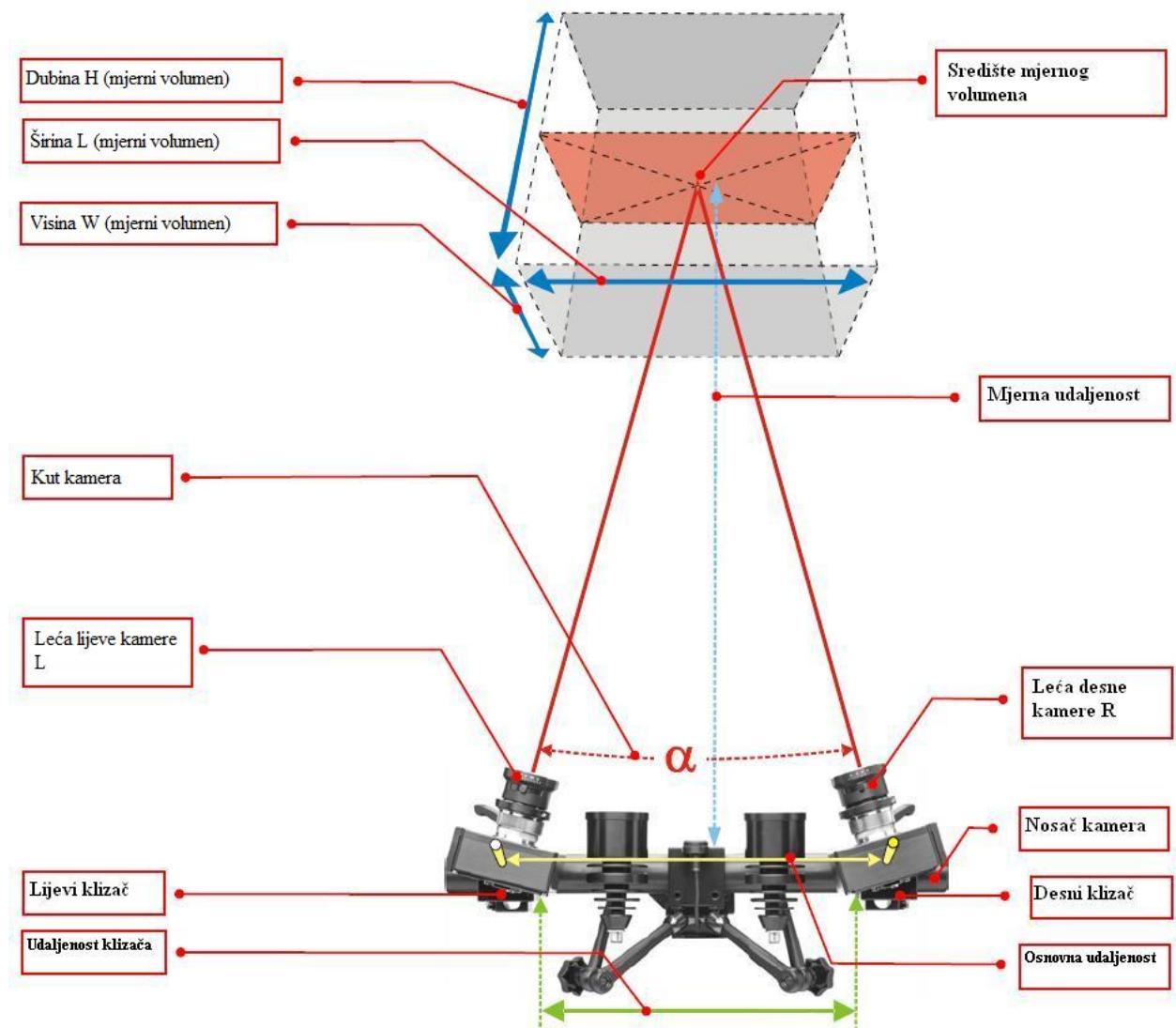
Prije početka mjerenja potrebno je podesiti optički sustav. Podešavanje sustava podrazumijeva definiranje udaljenosti sustava od mjernog objekta, osvjetljenja objekta i kalibraciju kamere. Kalibracija služi kako bi se podesili vanjski i unutarnji parametri kamere, te da bi se poništile sve nepravilnosti u kameri koje mogu biti uzrokovane okolinom. Mjerni sustav *Aramis* kalibrira se pomoću odgovarajućih kalibracijskih objekata: za male volumene koriste se kalibracijske ploče, dok se za veće mjerne volumene koriste kalibracijski štapovi. Na slici 24 prikazani su primjeri kalibracijskih objekata.



Slika 24 Kalibracijski objekti: a) kalibracijska ploča, b) kalibracijski križ [21]

Prilikom mjerenja i kalibracije vrlo je važna mjerna udaljenost, parametri kao što su udaljenost i kut između kamere važni su radi bolje triangulacije točke u prostoru te se nakon

kalibracije ne smiju mijenjati. Slika 25 prikazuje dijelove sustava i parametre koji se podešavaju prilikom kalibracije.



Slika 25 Sustav Aramis s potrebnim parametrima za podešavanje [20]

U slučaju loše postavljene kamera, promjena udaljenosti i kuta između kamera, odabira krivog kalibracijskog objekta ili krivo provedenog procesa kalibracije dolazi do dekalibracije sustava što rezultira velikim odstupanjima u rezultatima mjerenja. Algoritam radi na način da se iz 2D koordinata referentne točke svake kamere triangulacijom izračunaju prostorne koordinate. Nakon toga, prostorne se koordinate preračunaju nazad u 2D koordinate i uspoređuju se s prvobitnim položajem što se naziva odstupanjem referentnih točaka. Kada se na taj način obuhvate sve točke snimljene prilikom kalibracije i izračuna njihovo prosječno odstupanje dobiva se greška kalibracije. Sustav jednadžbi triangulacije je sustav koji je predefiniран i preko njega se dobiva skup rješenja na osnovu čije standardne devijacije se procjenjuje je li sustav ispravno kalibriran. Za ispravnu kalibraciju očekivana greška

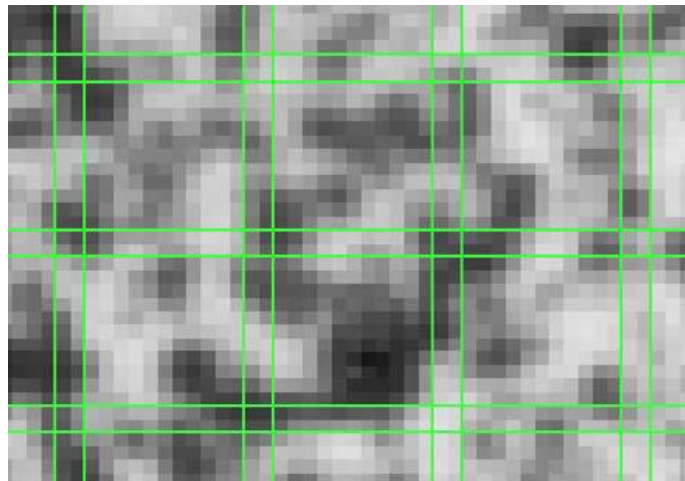
kalibracije može iznositi od 0,01 do 0,04 piksela. Kada se sustav jednom kalibrira za određeni mjerni volumen, podaci o kalibraciji se pohranjuju u memoriju te kalibraciju nije potrebno više ponavljati ukoliko nema potrebe za povećanjem ili smanjenjem mjernog volumena [20].

3.2.4 Snimanje uzoraka

Kad je sustav kalibriran znači da je definirana veličina piksela, odnosno definirano je koliko piksela odgovara jednom milimetru. Nakon kalibracije sustav je spreman za mjerenje te se pozicionira ispred mjernog objekta na odgovarajuću udaljenost i ukoliko je potrebno dodatno se podešavaju izvori svjetla kako bi se dobila oštra slika bez neželjenih refleksija. Neposredno prije snimanja potrebno je podesiti parametre kamere, a to prvenstveno podrazumijeva brzinu snimanja slika i vrijeme ekspozicije. Oba parametra ovisna su o tehničkim specifikacijama kamere, ali direktno ovise i o količini svjetla na mjernom objektu.

3.2.5 Pohrana i obrada digitalnih slika

Nakon snimanja rezultirajuće digitalne slike pohranjuju se u memoriju sustava. Budući da se algoritam sustava temelji na lokalnom pristupu metode korelacije digitalne slike, digitalne slike se diskretiziraju fasetama. Veličina fasete i korak definiraju se softverski prilikom obrade digitalnih slika.



Slika 26 Fasete veličine 15x15, s 2 preklapajuća piksela [22]

Slika 26 prikazuje primjer fasete veličine 15x15 piksela s korakom 13 piksela, odnosno s 2 piksela preklapanja. Kako je već prije spomenuto, fasete se identificiraju i prate pomoću stupnja intenziteta nijansi sive boje kroz različite korake opterećenja. Veličina fasete direktno utječe na mjernu nesigurnost mjerenja pomaka i deformacija. Povećanjem fasete smanjuje se mjerna nesigurnost, no izračun postaje računalno zahtjevniji. Također, u takvom slučaju nemoguće je odrediti pomake i deformacije u zonama manjima od veličine fasete. Smanjenje

veličine fasete eliminira navedene nedostatke, no uzrokuje povećanje mjerne nesigurnosti. Povećanjem koraka fasete smanjuje se gustoća mjernih točaka što rezultira kraćim trajanjem izračuna pomaka i deformacija. S druge strane, smanjenjem koraka gustoća mjernih točaka se povećava čime izračun postaje zahtjevniji. Općenito na mjernu nesigurnost utječe nekoliko čimbenika: karakteristike rastera (veličina i jednolika raspodjela crno-bijelih točkica), parametri analize (kriteriji korelacije, funkcije oblika implementirane u algoritam, veličina i korak fasete), parametri kamere (rezolucija, šum, optička distorzija), utjecaj okoline (temperatura, vibracije stalka, osvjetljenje).

Mjerni sustav *Aramis* ima mogućnost mjerenja malih i velikih objekata (veličine od 1 mm do 2000 mm) s istim senzorom, a deformacije koje se mogu mjeriti su u rasponu od 0,01% do 100 %. Kao rezultat mjerenja dobiva se cijelo polje pomaka i deformacija te u tom smislu *Aramis* predstavlja iznimno moćan alat za validaciju numeričkih proračuna.

Uzorci prikazani na slici 19 za određivanje vlačne čvrstoće rane pripremljeni za mjerenje optičkim sustavom *Aramis* na način opisan u ovom poglavlju prikazani su na slici 27.



Slika 27 Uzorci pripremljeni za mjerenje optičkim sustavom *Aramis*

3.3. Eksperimentalno ispitivanje

3.3.1 *Određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka*

Nakon zatvaranja reza cistotomije, u sve uzorke neovisno o tehnici zatvaranja, kroz vrat mjehura postavljena su dva katetera, a oko vrata mjehura postavljena je ligatura. Jedan kateter spojen je s komoricom manometra pomoću koje se prati tlak unutar uzorka, a drugi kateter služi za punjenje mjehura tekućinom. Uzorak pripremljen za ispitivanje prikazan je na slici 28.



Slika 28 Uzorak pripremljen za ispitivanje

Mjehur se puni vodom s dodatkom tinte kako bi se što preciznije mogao odrediti trenutak u kojemu dolazi do propuštanja šava. Tlak se cijelo vrijeme prati na zaslonu komorice manometra (Slika 29). U trenutku kada dođe do curenja tekućine iz rane očitava se tlak na manometru i taj tlak smatra se maksimalnim intravezikalnim tlakom. Sve skupine uzoraka ispitivane su na jednak način.



Slika 29 Postav za određivanje maksimalnog intravezikalnog tlaka

Kod većine uzoraka je do propuštanja tekućine došlo na mjestima uboda kao što je prikazano na slici 30. Kod malog je broja uzoraka (4 uzorka) kritično mjesto bilo između dva uboda kao što je prikazano na slici 31.



Slika 30 Uzorak u trenutku propuštanja – propuštanje na ubodima



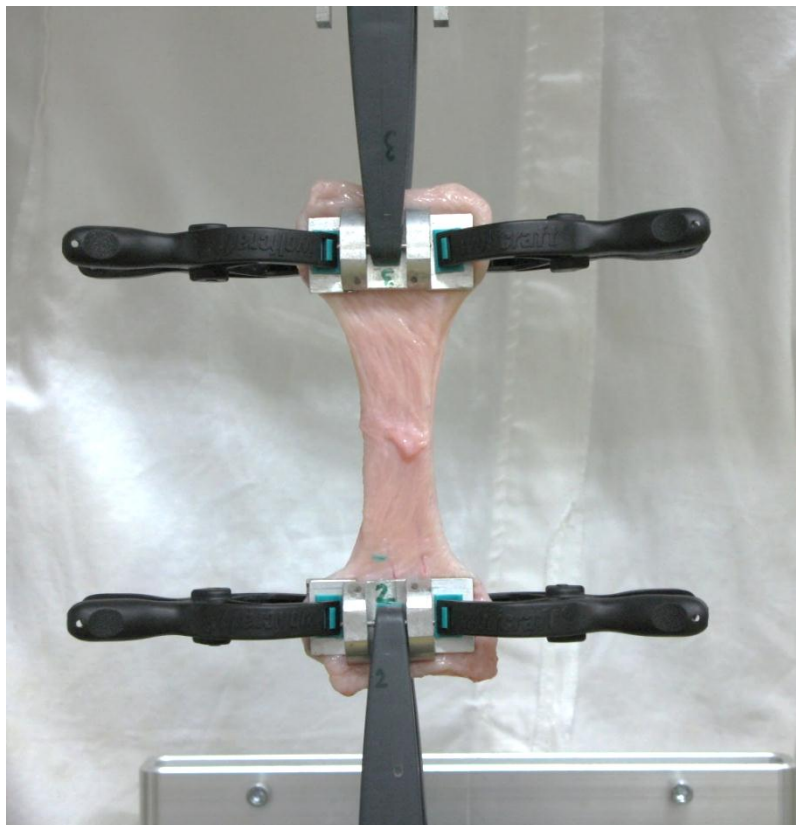
Slika 31 Uzorak u trenutku propuštanja – propuštanje između uboda

3.3.2 Statičko vlačno ispitivanje

Nakon pripreme uzoraka za statičko vlačno ispitivanje opisane u poglavlju 3.1.2, uzorci su ispitani u Laboratoriju za eksperimentalnu mehaniku Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Za ispitivanje korištena je kidalica Beta 50-5 (Messphysik, Austrija) (Slika 32). Kidalica je pogonjena elektromotorom i postiže maksimalnu silu od 50 kN. Tijekom ispitivanja kidalicom se upravlja s upravljačkom jedinicom EDC25 (Doli Elektronik GmbH, Njemačka). Kod ispitivanja mekih tkiva najveći problem predstavlja prihvat samog uzorka u čeljusti kidalice. Ukoliko je površina prihvata glatka ili nedovoljno narovašena može doći do izvlačenja uzorka iz čeljusti. Poželjno je da prihvat bude hrapava, po mogućnosti nazubljena površina kako ne bi došlo do izvlačenja uzorka. Također, poželjno je i da prihvat može kompenzirati smanjenje debljine tkiva do kojeg dolazi tijekom rastezanja, odnosno da osigurava konstantnu silu prihvata tijekom cijelog ispitivanja. Uzorci su pričvršćeni na kidalicu pomoću posebnog prihvata za meka tkiva (Slika 33) koji tijekom provedbe ispitivanja osigurava konstantnu silu prihvata. Ispitivanja su provedena kvazi-statičkim opterećenjem brzinom 10 mm/min koja je uobičajena u literaturi [13,14] pri sličnim ispitivanjima uzoraka mekog biološkog tkiva. Opterećivanje uzoraka se vrši tako što je donja čeljust nepomična dok se gornja giba zadanom brzinom vertikalno prema gore. Svi uzorci su ispitivani do pucanja. Tijekom cijelog ispitivanja bilježi se sila i vertikalni pomak kidalice.

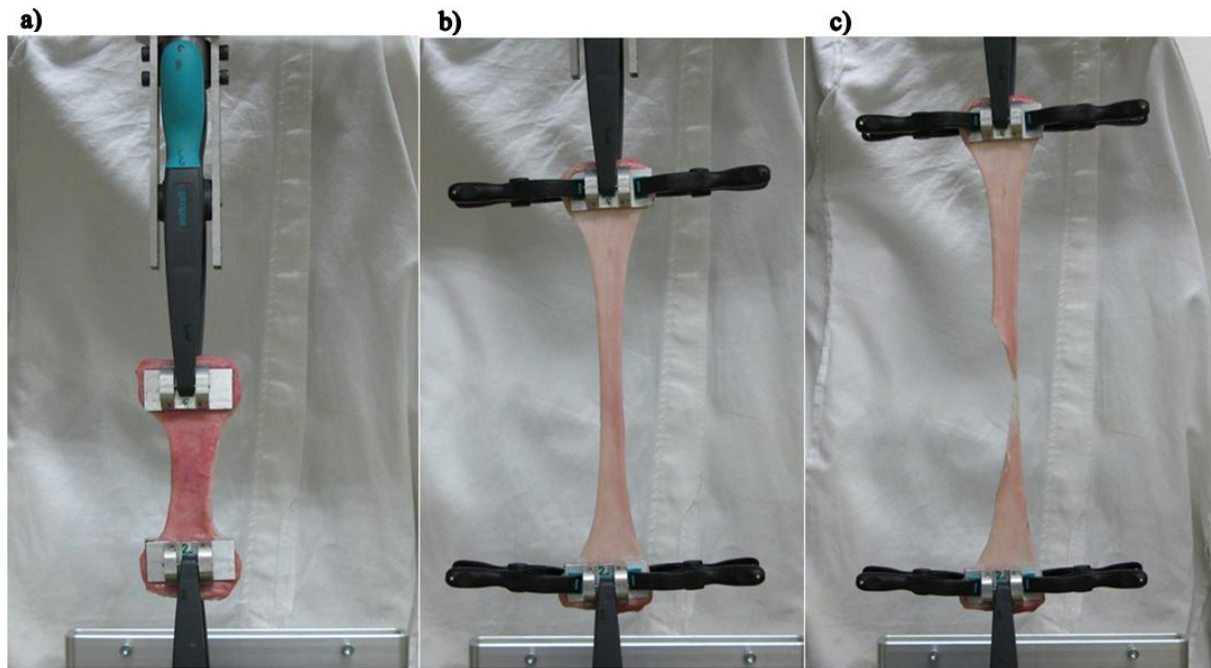


Slika 32 Statička kidalica Messphysik Beta 50-5



Slika 33 Uzorak pozicioniran u prihvat u kidalice

Uzorci iz mekih tkiva u pravilu imaju jako veliku istezljivost što je i vidljivo kod ispitivanja intaktnog uzorka iz skupine za određivanje utjecaja tehnike zatvaranja na vlačnu čvrstoću rane (Slika 34).



Slika 34 Vlačno ispitivanje uzorka do pucanja: a) uzorak pozicioniran u prihvatima, b) uzorak tijekom opterećivanja i c) uzorak neposredno prije pucanja

Izrezivanjem uzorka u oblik klasičnih epruveta za statičko vlačno ispitivanje sprječava se pucanje uzorka u prihvatima ili u neposrednoj blizini prihvata što rezultate ispitivanja čini nepouzdanima. Svi ispitani uzorci pukli su kao što je to vidljivo i na slici 33 u području vrata, kao što je i očekivano.

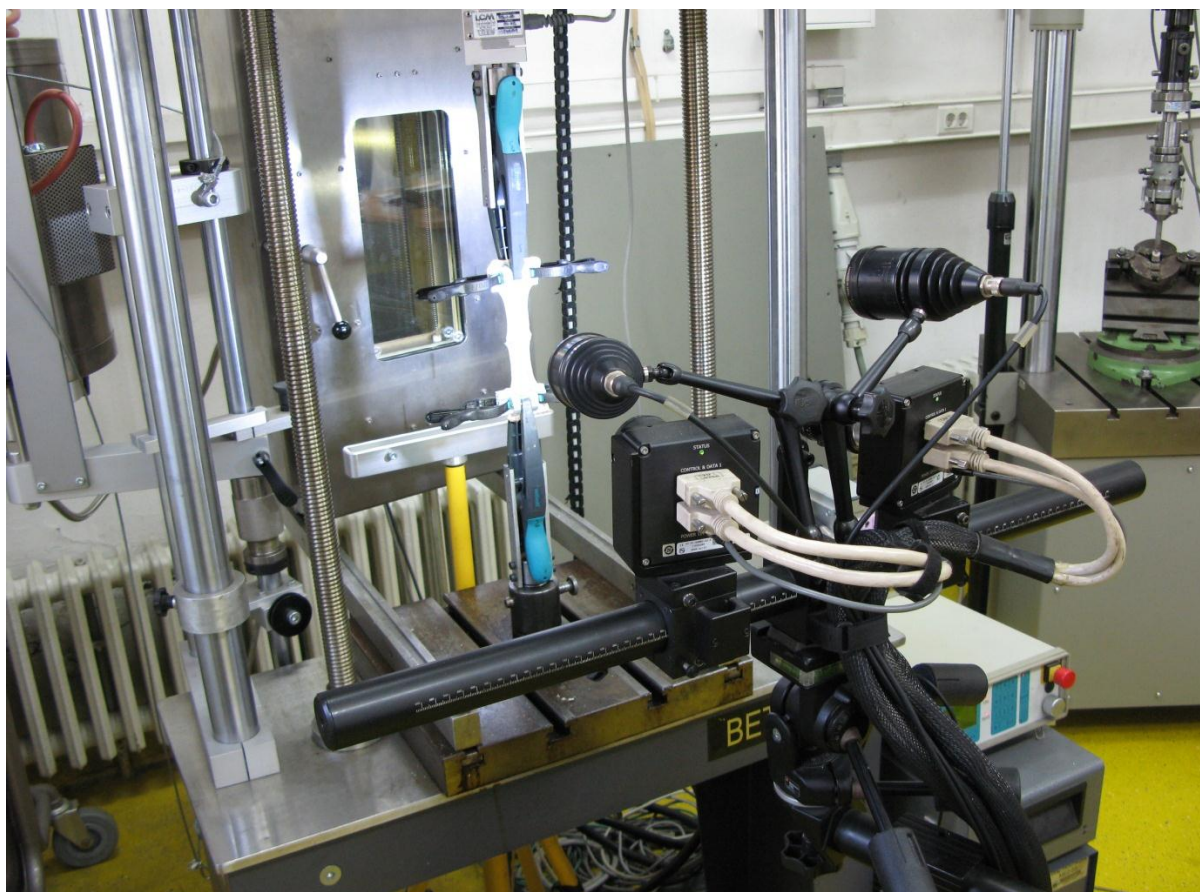
3.3.3 Mjerenje optičkim sustavom Aramis

Zbog velike istezljivosti uzorka (kod nekih uzorka više od 1000%) optički sustav *Aramis* nije korišten za mjerenje polja pomaka kod uzorka za određivanje mehaničkih svojstava u poprečnom i uzdužnom smjeru mjehura, kao niti kod intaktnih uzorka za određivanje vlačne čvrstoće. Drugi razlog zbog kojeg sustav *Aramis* nije korišten kod spomenutih uzorka je taj što je cilj mjerenjem cijelog polja pomaka bio da se dobije bolji uvid u način popuštanja šava što ovi uzorci nisu imali. Sustav je korišten samo kod ispitivanja vlačnih uzorka spojenih standardnim šavom, staplerom i V-Loc koncem.

Mjerenja optičkim sustavom su provedena sa sljedećim parametrima:

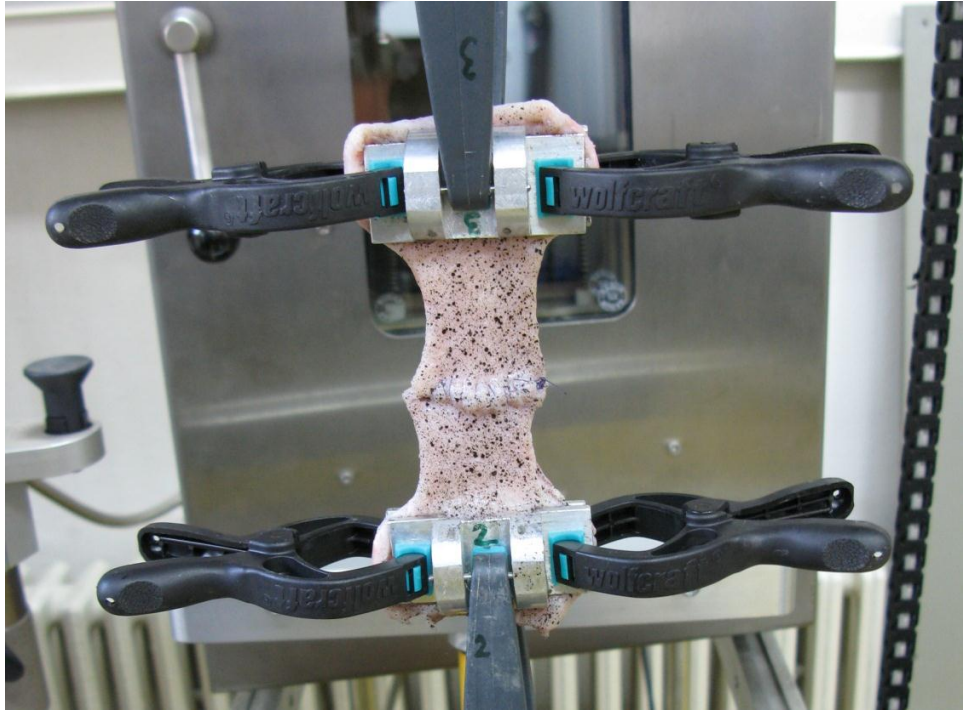
- objektiv: 50 mm,
- mjerni volumen: 125x90 mm

- mjerna udaljenost: 475 mm,
- međusobna udaljenost kamera: 184 mm,
- kut kamera: 25°,
- frekvencija slikanja: 0,25 Hz.

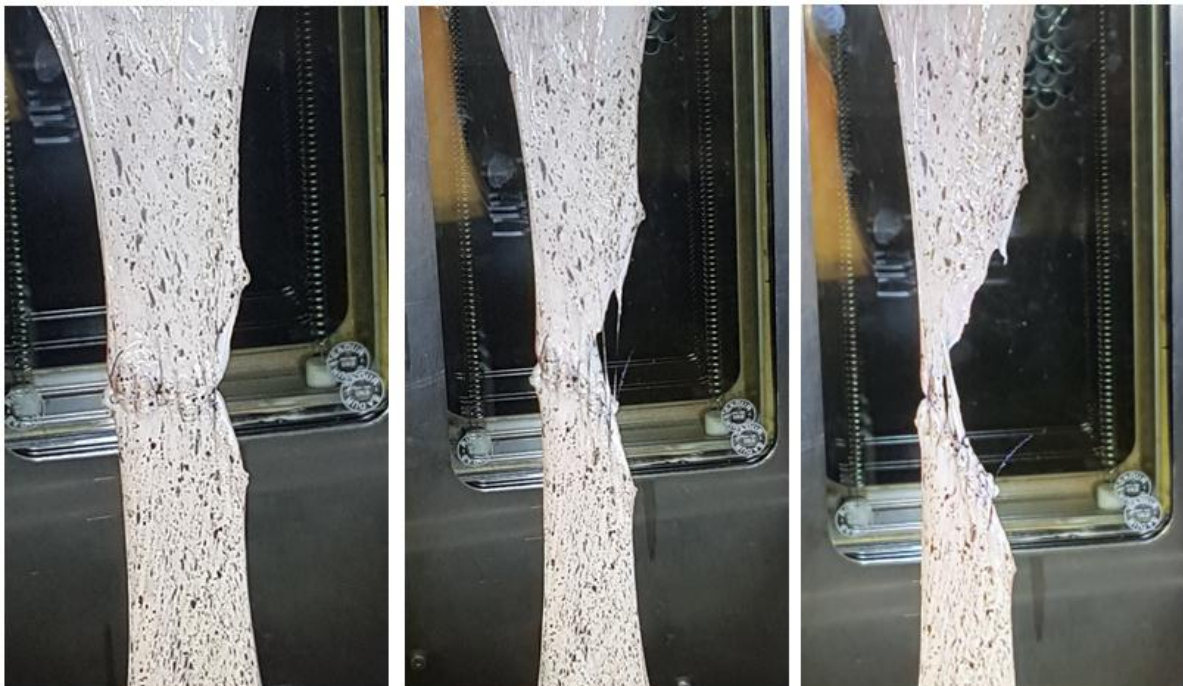


Slika 35 Eksperimentalni postav kod ispitivanja vlačne čvrstoće rane

Eksperimentalni postav kod ispitivanja vlačne čvrstoće rane prikazan je na slici 35. Kao što je već prije navedeno, tijekom mjerenja uzorci su slikani svake četvrte sekunde što je približno iznosilo 200 slika po uzorku. Na slici 36 prikazan je uzorak sa stohastičkim rasterom u prihvatu kidalice. Način popuštanja uzoraka prikazan je na slici 37 na primjeru uzorka s ranom cistotomije zatvorenom koncem s postranim kukicama. Kod svih ispitanih uzoraka popustilo je tkivo mjehura iznad ili ispod rane i niti kod jednog uzorka nije došlo do izvlačenja ili popuštanja materijala za spajanje.



Slika 36 Uzorak učvršćen u prihvatu kidalice



Slika 37 Ispitivanje vlačne čvrstoće rane s popuštanjem uzorka iznad rane

3.4. Statistička analiza

Kako bi se utvrdilo postoje li razlike između pojedinih grupa uzoraka, dobiveni rezultati statistički su analizirani. Statistička obrada podataka provedena je u programu *R*. Za testiranje normalnosti podataka korišten je Lilliefors test (inačica Kolmogorov-Smirnov testa). Nulta

hipoteza tog testa je da podaci dolaze iz normalno distribuirane populacije. Za razliku od Kolmogorov-Smirnov testa Lilliefors test ne zahtjeva specificiranje iz “koje” normalne distribucije potječu podaci, tj. ne zahtjeva specificiranje aritmetičke sredine i varijance populacije, što je i glavni razlog zašto je odabrana baš ta inačica. Normalno distribuirani podaci su testirani pomoću ANOVA-e ili t-testa uz razinu značajnosti od 5%, a kako se ANOVA dobro ponaša i s kontinuiranim varijablama koje nisu normalno distribuirane korištena je i u slučaju kada podaci nisu normalno distribuirani ali su dovoljno veliki. U slučaju kada je bilo potrebno odrediti koje skupine uzoraka se razlikuju korišten je Tukey HSD test.

4. Rezultati

4.1. Rezultati ispitivanja maksimalnog intravezikalnog tlaka

Tijekom ispitivanja maksimalnog intravezikalnog tlaka bilježeni su podaci o duljini uzorka i to od vrha do vrata mokraćnog mjehura, vrijeme potrebno za šivanje reza cistotomije i maksimalni intravezikalni tlak, odnosno tlak kod kojeg je došlo do popuštanja tekućine kroz ranu. Kao što je već spomenuto, uzorci su ovisno o tehnici šivanja podijeljeni u 3 skupine, a svaka od skupina sadrži 15 uzoraka. Rezultati ispitivanja prikazani su u tablicama od 1 do 3.

Tablica 1 Standardni šav

<i>Br. uzorka</i>	<i>Duljina l, mm</i>	<i>Vrijeme šivanja t, min</i>	<i>p_{max}, mmHg</i>
1	130	8	22
2	110	6	26
3	110	8	19
4	115	8	17
5	115	6,49	17
6	120	6,47	16
7	110	6,51	14
8	115	7,1	19
9	95	5,3	20
10	120	7,12	17
11	100	6,35	18
12	100	6,53	18
13	100	7,01	12
14	110	5,45	14
15	110	6,06	12
<i>Srednja vrijednost</i>	110,6	6,69	17,4

Tablica 2 Stapler

<i>Br. uzorka</i>	<i>Duljina l, mm</i>	<i>Vrijeme šivanja t, min</i>	<i>p_{max}, mmHg</i>
1	110	1	11
2	110	2,2	12
3	100	1,3	8
4	95	1,27	8
5	115	1,25	11
6	100	1,3	11
7	105	1,3	9
8	115	0,55	7
9	95	1,16	10
10	90	0,45	12
11	90	0,58	12
12	85	1,07	20
13	105	1,13	12
14	115	1,26	11
15	90	1,17	10
<i>Srednja vrijednost</i>	101,3	1,13	10,9

Tablica 3 V-Loc

<i>Br. uzorka</i>	<i>Duljina l, mm</i>	<i>Vrijeme šivanja t, min</i>	<i>p_{max}, mmHg</i>
1	125	5,42	10
2	110	5,31	8
3	105	7,1	8
4	125	6,4	11
5	110	7,15	8
6	110	5,21	8
7	115	7,06	8
8	115	6,5	7
9	105	7	9
10	105	7,08	8
11	115	7	8
12	115	6,5	13
13	125	6,02	9
14	100	5,43	10
15	105	5,53	6
<i>Srednja vrijednost</i>	112,3	6,31	8,7

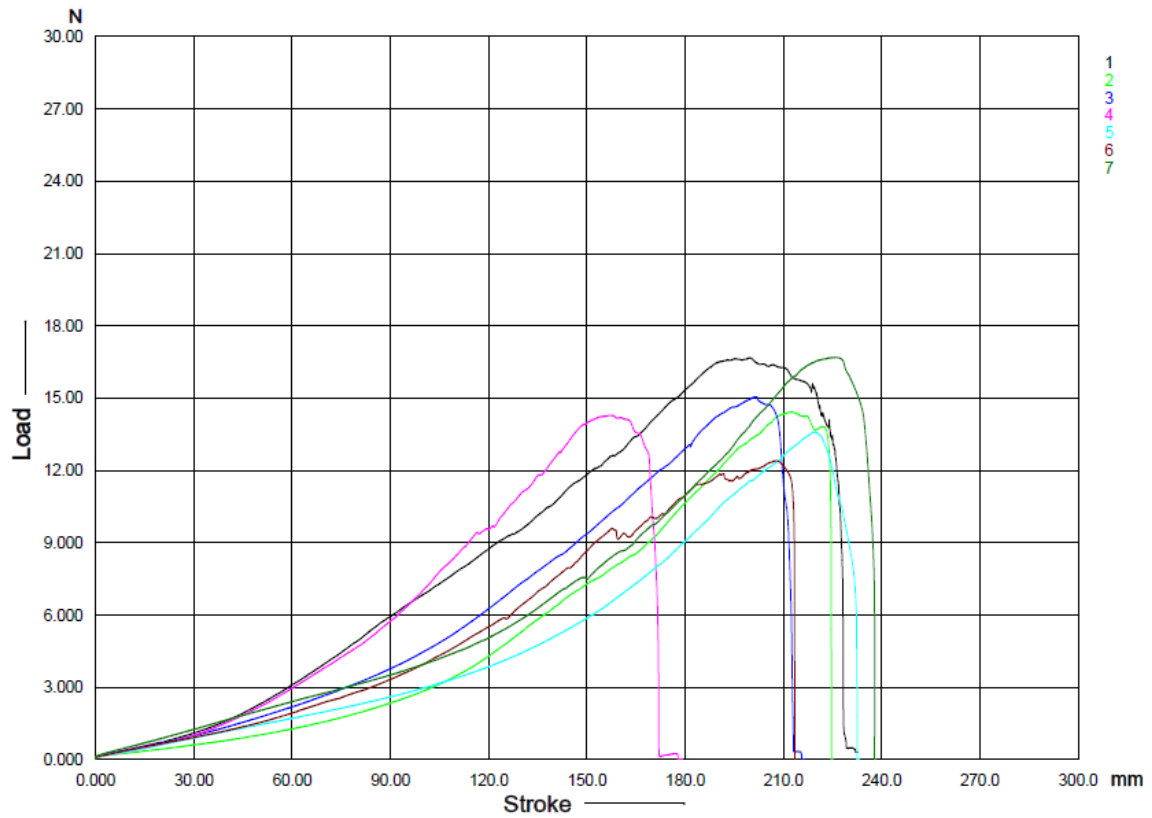
Kako je jedan od ciljeva istraživanja pokazati postoji li razlika u maksimalnom intravezikalnom tlaku i vremenu šivanja između pojedinih skupina uzoraka dobiveni su

rezultati statistički analizirani. Rezultati ispitivanja maksimalnog intravezikalnog tlaka testirani su pomoću ANOVA-e. Provedena statistička analiza pokazuje da postoji statistički značajna razlika među skupinama ($p=8,52 \times 10^{-10}$). Zbog postojanja razlika među skupinama, proveden je i Tukey HSD test kako bi se pokazalo koji načini zatvaranja reza cistotomije se razlikuju (u parovima). Rezultati ovog testa pokazuju kako ne postoji razlika između maksimalnog intravezikalnog tlaka postignutog kod uzoraka zatvorenih koncem s postranim kukicama i staplera (interval pouzdanosti sadrži nulu), a značajna razlika postoji između uzoraka zatvorenih standardnom tehnikom i staplerom te između V-Loc šava i standardne tehnike. Analizom vremena potrebnog za zatvaranje reza cistotomije t-testom uz razinu značajnosti 5% utvrđeno je da ne postoji statistička razlika između skupine uzoraka zatvorenih standardnim šavom i V-Loc koncem ($p=0,2090$).

4.2. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja tkiva mjehura

Uzorci za jednoosno statičko vlačno ispitivanje tkiva svinjskog mjehura podijeljeni su u dvije skupine, a svaka od skupina sadrži sedam uzoraka. Obje skupine ispitane su kako je opisano u poglavlju 3.3.2. Prije ispitivanja, izmjerena je i zabilježena duljina i debljina svakog uzorka, a vrijednosti su prikazane u tablicama 4 i 5. Sila i pomak vertikalne osi kidalice bilježeni su tijekom cijelog ispitivanja, a grafički prikaz ovisnosti sile i pomaka za sve uzorke dan je dijagramom. Vrijednost maksimalne sile (F_{max}) odnosno sile kod koje dolazi do pucanja uzorka, prikazana je u tablicama zajedno s duljinom i debljinom uzorka.

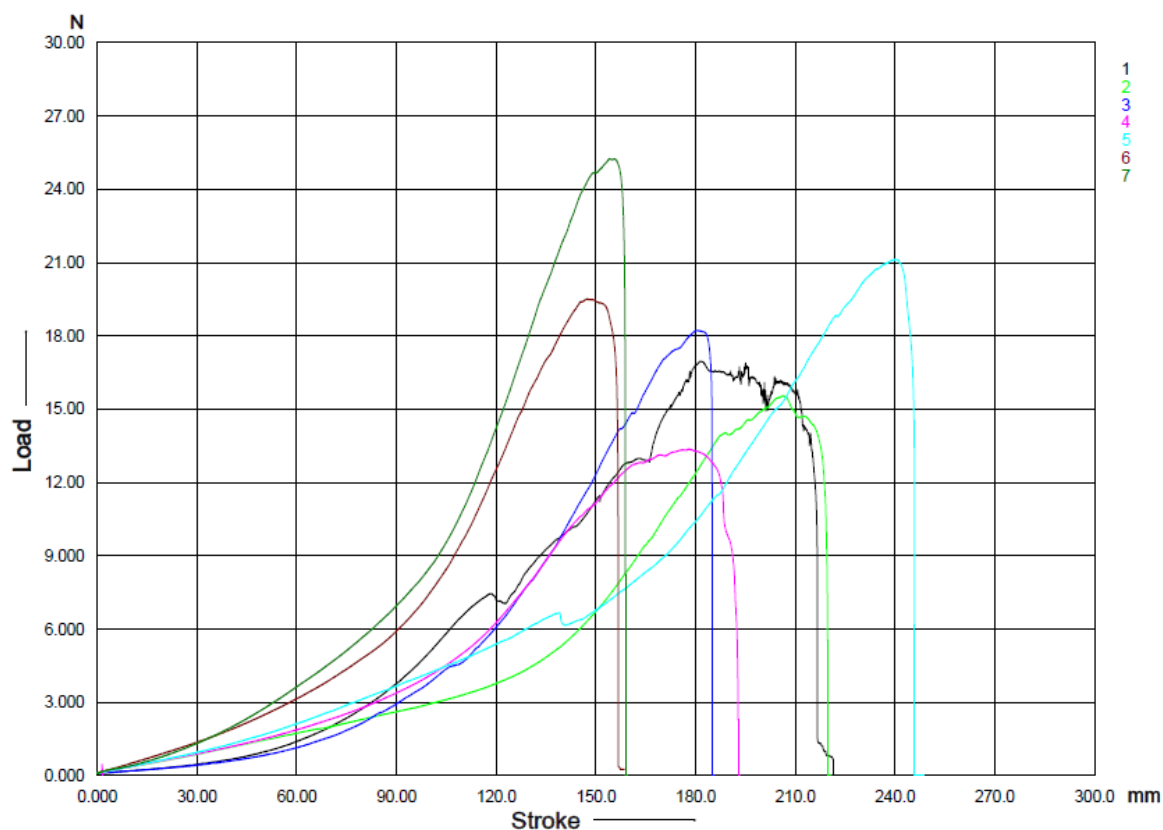
Uzorci su jednakih dimenzija 60x9 mm, prema slici 14. Prva skupina uzoraka ekscidirana je u poprečnom smjeru mokraćnog mjehura, dok je druga skupina ekscidirana u uzdužnom smjeru. Budući da su uzorci iz ove dvije skupine jednakih dimenzija, a razlikuju se ovisno o mjestu uzimanja iz tkiva svinjskog mjehura pomoću dobivenih rezultata analizirano je anizotropno ponašanje mokraćnog mjehura. Odnosno, ispitano je postoji li razlika u svojstvima tkiva mokraćnog mjehura ovisno o mjestu uzimanja uzoraka. Dijagram na slici 38 prikazuje rezultate jednoosnog statičkog vlačnog ispitivanja poprečnih uzoraka, dok su u dijagramu na slici 39 prikazani rezultati istog ispitivanja uzdužnih uzoraka.



Slika 38 Dijagram sila-pomak za poprečne uzorke

Tablica 4 Rezultati ispitivanja poprečnih uzoraka

<i>Br. uzorka</i>	<i>Duljina l, mm</i>	<i>Debljina h, mm</i>	F_{\max} , N
1	90	6,36	16,68
2	85	6,02	14,43
3	90	5,94	15,06
4	90	6,26	14,29
5	85	6,00	13,6
6	85	5,90	12,41
7	85	7,13	16,69
<i>Srednja vrijednost</i>	87	6,23	14,73



Slika 39 Dijagram sila-pomak za uzdužne uzorke

Tablica 5 Rezultati ispitivanja uzdužnih uzoraka

Br. uzorka	Duljina l , mm	Debljina h , mm	F_{\max} , N
1	105	4,62	16,96
2	110	4,08	15,56
3	105	4,59	18,23
4	95	3,78	13,37
5	100	5,35	21,13
6	95	3,44	19,52
7	100	4,8	25,25
<i>Srednja vrijednost</i>	101	4,38	18,57

Iz prethodnih dijagrama vidljivo je da su rezultati ispitivanja poprečnih uzoraka ujednačeni, što kod uzoraka u uzdužnom smjeru nije slučaj. Iz tablica 4 i 5 vidljivo je da srednja vrijednost sile kod koje dolazi do pucanja poprečnih uzoraka iznosi $F_{\max}=14,73$ N, a kod uzdužnih uzoraka sila je iznosila $F_{\max}=18,57$ N. Statističkom analizom Lilliefors-ovim testom utvrđeno je da su podaci obje grupe normalno distribuirani, a kako je broj uzoraka u skupini mali, za analizu je korišten t-test. Uz razinu značajnosti od 5% dobiveno je kako postoji statistički značajna razlika u vrijednostima maksimalne sile kod ove dvije skupine

uzoraka ($p=0,04225$). Budući da je iz prethodnih tablica vidljivo kako se debljina uzoraka razlikuje kod ove dvije skupine, također je ispitano postoji li povezanost između debljine mjehura i sile kod koje dolazi do pucanja. Ovdje je korišten korelacijski test, a rezultati pokazuju da na silu kod koje dolazi do pucanja uzoraka ne utječe debljina mjehura.

Kako bi se razlike između ove dvije skupine uzoraka mogle što preciznije utvrditi potrebno je prethodne dijagrame sila-pomak pretvoriti u dijagrame naprezanje-deformacija. Naprezanje je dobiveno dijeljenjem sile s početnom površinom poprečnog presjeka uzorka S_0

$$\sigma = \frac{F}{S_0}, \quad (1)$$

$$S_0 = h \cdot b, \quad (2)$$

gdje h predstavlja debljinu, a b širinu uzorka. Širina je zbog korištenja noža – kalupa jednaka kod svih uzoraka i iznosi 9 mm. Debljina je mjerena na prethodno opisan način, a vrijednosti debljine za svaki uzorak dane su u tablicama 4 i 5. Deformacija ε je izračunata tako da je produljenje ΔL podijeljeno s početnom duljinom uzorka L_0

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}. \quad (3)$$

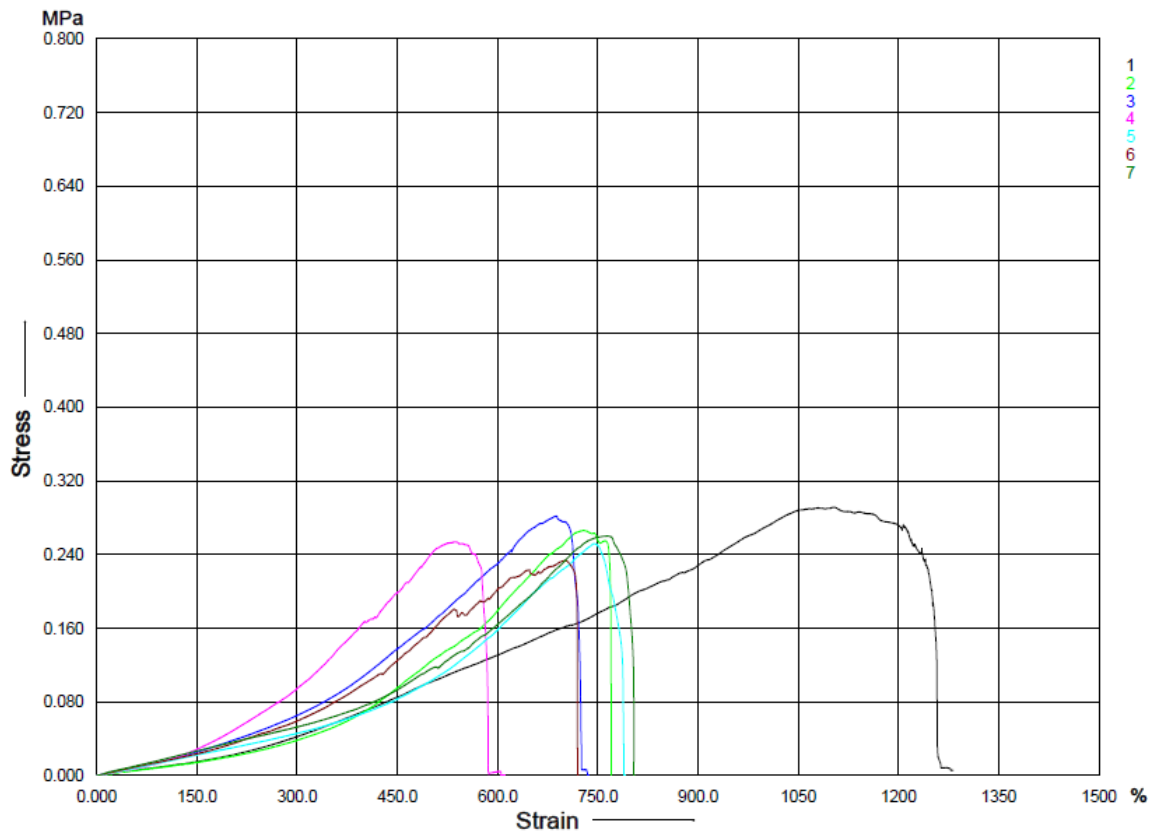
Početna duljina L_0 zbog korištenja noža-kalupa ista je kod svih uzoraka i iznosi 60 mm, a produljenje je jednako pomaku gornje čeljusti kidalice. Modul elastičnosti predstavlja mjeru krutosti materijala. Za linearan dio dijagrama naprezanje-deformacija definiran je kao nagib tangente na krivulju budući da u tom području vrijedi Hooke-ov zakon

$$\sigma = E \cdot \varepsilon. \quad (4)$$

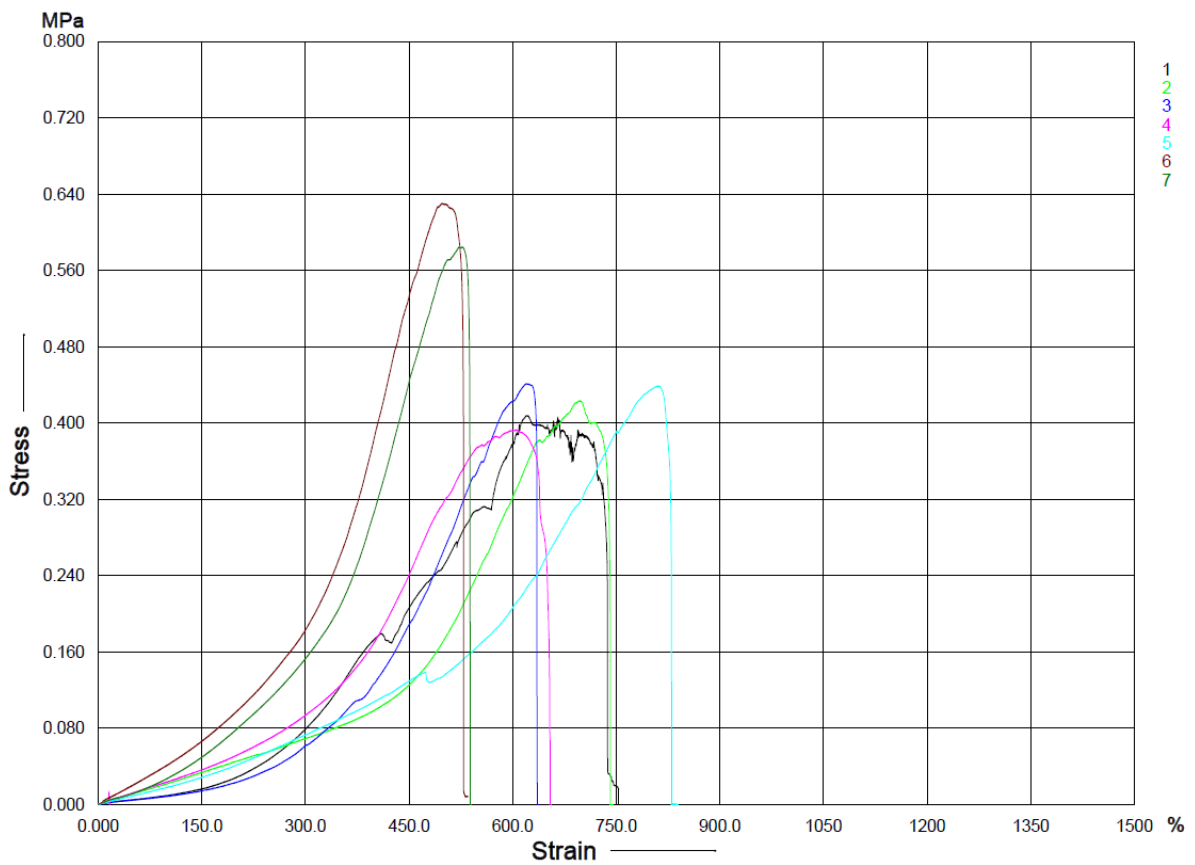
Za svaki uzorak izračunata je vrijednost modula elastičnosti na dva približno linearna dijela, prema slici 2 modul elastičnosti određen je u prvom i trećem dijelu dijagrama, stoga su vrijednosti označene s E_1 i E_3 . Srednje vrijednosti modula elastičnosti E_1 i E_3 za poprečne i uzdužne uzorke dane su u tablici 6, a dijagrami naprezanje – deformacija prikazani su slikama 40 i 41.

Tablica 6 Srednje vrijednosti modula elastičnosti poprečnih i uzdužnih uzoraka

	E_1 , MPa	E_3 , MPa
<i>Poprečni uzorci</i>	0,0134	0,0571
<i>Uzdužni uzorci</i>	0,0201	0,1819



Slika 40 Dijagram naprezanje – deformacija za poprečne uzorke



Slika 41 Dijagram naprezanje – deformacija za uzdužne uzorke

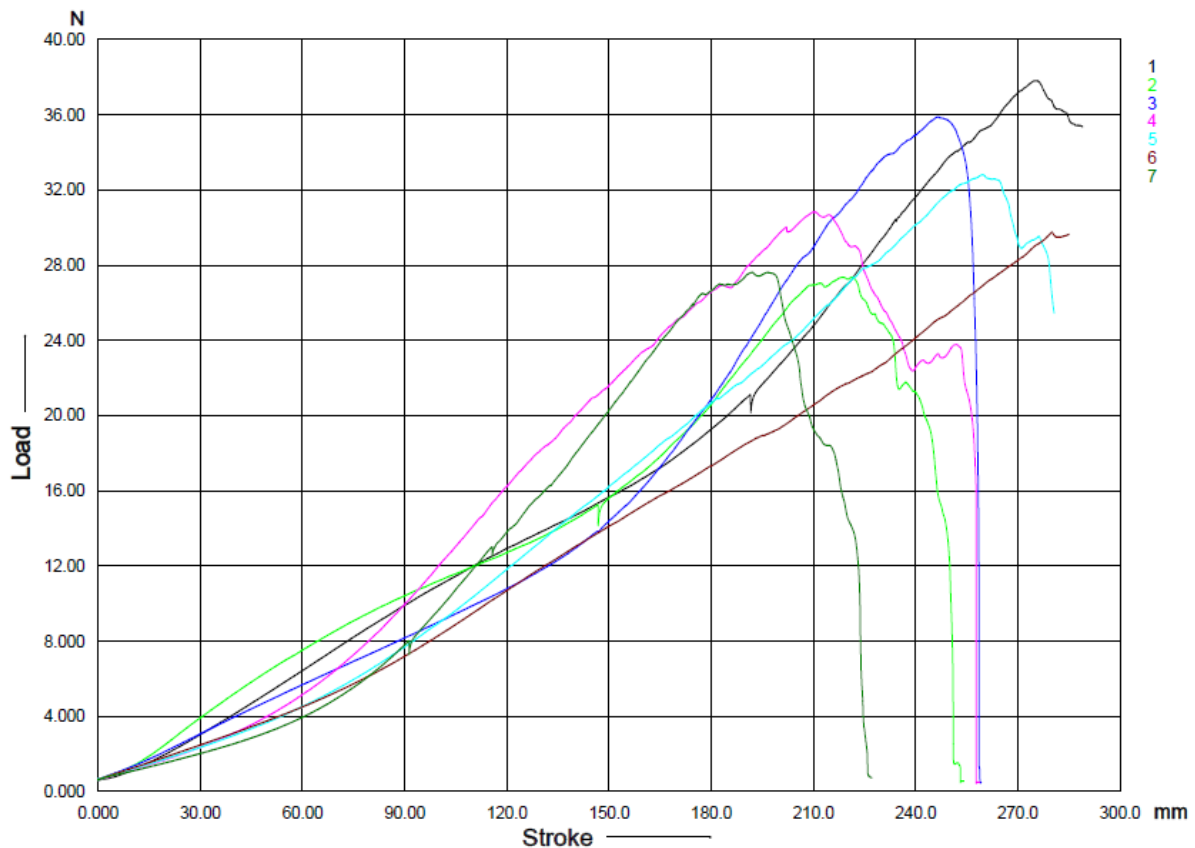
Dobivene vrijednosti modula elastičnosti u prvom i trećem dijelu dijagrama statistički su analizirane. Za testiranje razlike kod vrijednosti E_1 korišten je Mann-Withney U test. Rezultati korištenog testa pokazuju da uz razinu značajnosti od 5% ne postoji značajna razlika u vrijednosti modula elastičnosti u prvom dijelu dijagrama (E_1) između uzdužnih i poprečnih uzoraka ($p=0,07284$). Budući da su vrijednosti modula elastičnosti u trećem dijelu dijagrama (E_3) normalno distribuirane, za testiranje razlike između uzdužnih i poprečnih uzoraka korišten je t-test koji pokazuje da uz razinu značajnosti od 5% postoji statistički značajna razlika u vrijednostima modula elastičnosti između uzoraka dobivenih iz uzdužnog i poprečnog smjera ($p=0,003516$). Provedena analiza ukazuje da se tkivo mokraćnog mjehura u početnom dijelu ponaša izotropno – ne postoji razlika u vrijednostima modula elastičnosti ovisno o mjestu uzimanja uzoraka, dok se kod većih deformacija tkivo ponaša anizotropno. Odnosno s porastom postotka deformacije vrijednosti modula elastičnosti značajno se razlikuju kod uzoraka dobivenih iz uzdužnog i poprečnog smjera svinjskog mokraćnog mjehura.

4.3. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja čvrstoće rane

Treća skupina uzoraka je dimenzija 70x30 mm prema slici 16, a uzorci su ekscidirani u poprečnom smjeru mjehura. U dijagramu na slici 42 je prikaz ovisnosti sile i pomaka kontrolne skupine uzoraka (intaktni uzorci). U tablici 7 dane su vrijednosti duljine, debljine i maksimalne sile svakog uzorka. Ova skupina uzoraka koristit će se za usporedbu s uzorcima kod kojih je ispitivana čvrstoća rane ovisno o tehnici šivanja.

Tablica 7 Rezultati ispitivanja kontrolne skupine uzoraka

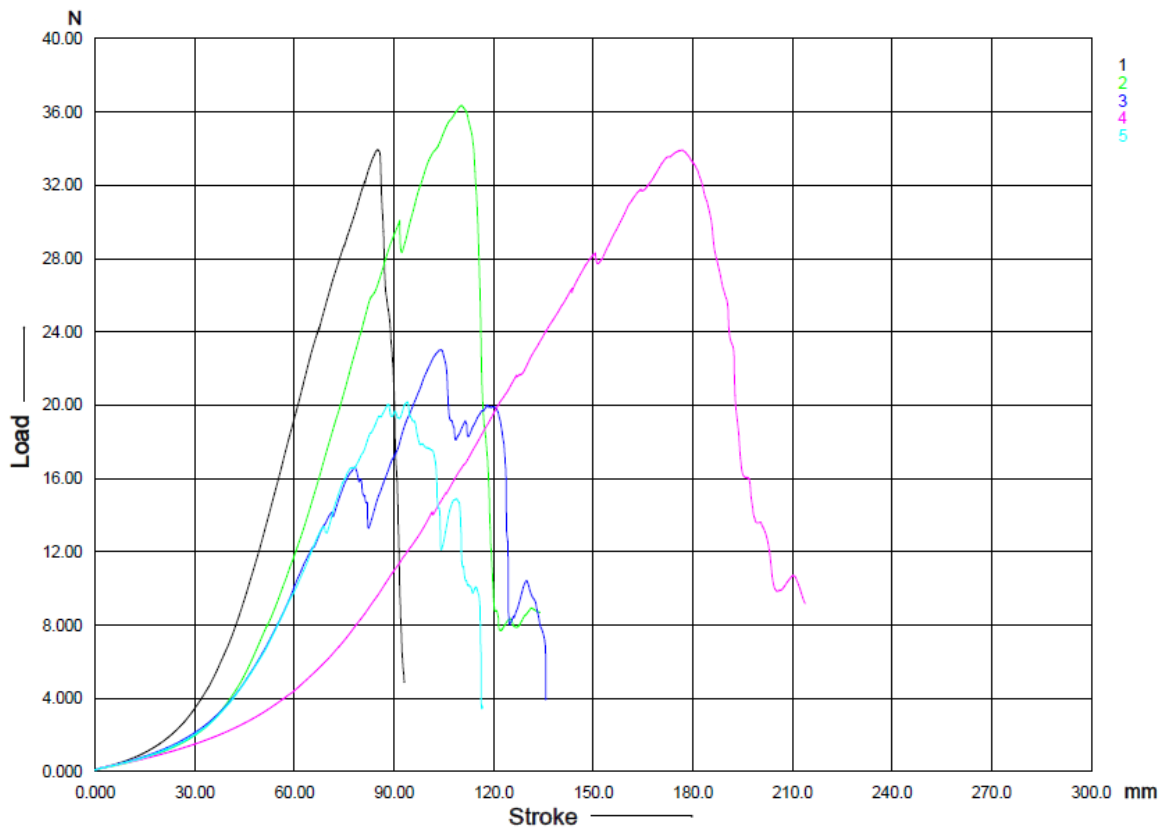
<i>Br. uzorka</i>	<i>Duljina l, mm</i>	<i>Debljina h, mm</i>	<i>F_{max}, N</i>
1	115	3,68	37,82
2	100	6,14	27,37
3	100	4,63	35,89
4	105	5,55	30,83
5	115	6,84	32,82
6	105	6,18	29,76
7	110	4,90	27,62
<i>Srednja vrijednost</i>	107	5,41	31,73



Slika 42 Dijagram sila-pomak kontrolne skupine uzoraka

Kako bi se utvrdilo jesu li alternativne tehnike za zatvaranje reza cistotomije dobre i mogu li se koristiti provedeno je, osim ispitivanja maksimalnog intravezikalnog tlaka, i jednoosno statičko vlačno ispitivanje cistotomske rane. Rezultati su podijeljeni u tri skupine, ovisno o načinu zatvaranja rane cistotomije: standardnim načinom – koristeći monofilamentni konac, staplerima i koristeći konac s postranim kukicama (V-Loc). Svaka skupina sadrži 5 uzoraka.

Dijagram na slici 43 prikazuje krivulje sila – pomak za 5 uzoraka kod kojih je rez cistotomije zatvoren na standardni način – produžnim šavom s čvoranjem na početku i na kraju šava, a kao materijal korišten je monofilamentni resorbirajući konac. Iz dijagrama je vidljivo kako su rezultati veoma neujednačeni. Razlog tome može biti velik broj utjecajnih parametara prisutnih kod šivanja ovom tehnikom. Iz tablice 8 vidljiva je prosječna vrijednost maksimalne sile koja iznosi $F_{\max}=29,48$ N što nije značajno manje od prosječne vrijednosti kontrolne skupine uzoraka – intaktnih uzoraka (Tablica 7).

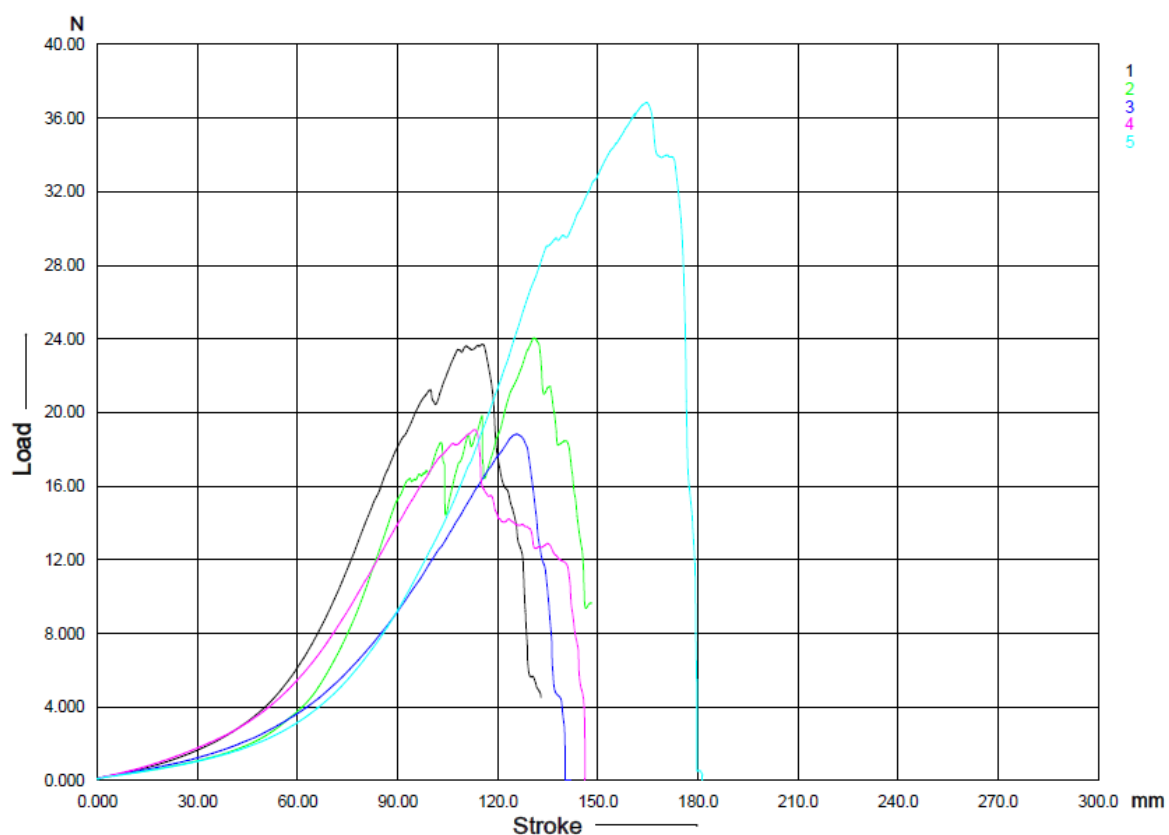


Slika 43 Dijagram sila-pomak uzoraka sa zatvaranjem rane monofilamentnim koncem

Tablica 8 Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće rane zatvorene monofilamentnim koncem

Br. uzorka	Duljina l , mm	Debljina h , mm	F_{\max} , N
1	115	2,60	33,93
2	115	3,63	36,35
3	105	3,58	23,02
4	115	4,63	33,92
5	105	3,88	20,19
<i>Srednja vrijednost</i>	111	3,66	29,48

U dijagramu na slici 44 prikazane su krivulje sila – pomak za uzorke kod kojih je rez zatvoren staplerom.

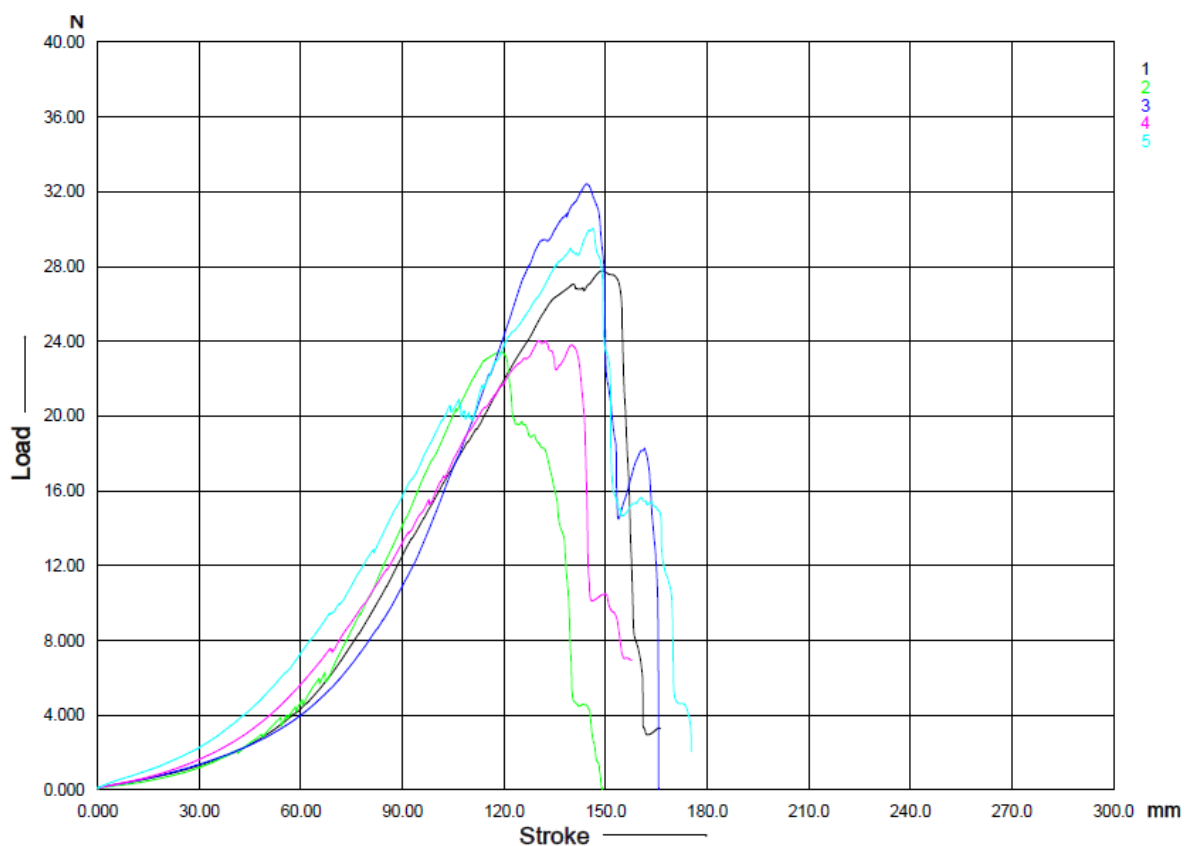


Slika 44 Dijagram sila-pomak za uzorke sa zatvaranjem rane staplerom

Tablica 9 Rezultati ispitivanja čvrstoće rane zatvorene staplerom

Br. uzorka	Duljina l , mm	Debljina h , mm	F_{\max} , N
1	125	3,53	23,71
2	115	3,26	24,06
3	123	3,76	18,84
4	150	4,97	19,07
5	135	3,70	36,85
<i>Prosječna vrijednost</i>	130	3,84	24,51

Dijagram na slici 45 i tablica 10 prikazuju rezultate dobivene jednoosnim statičkim vlačnim ispitivanjem uzoraka kod kojih je rana cistotomije zavorena koncem s postranim kukicama.



Slika 45 Dijagram sila-pomak za uzorke sa zatvaranjem rane koncem s postranim kukicama

Tablica 10 Rezultati ispitivanja čvrstoće rane zatvorene koncem s postranim kukicama

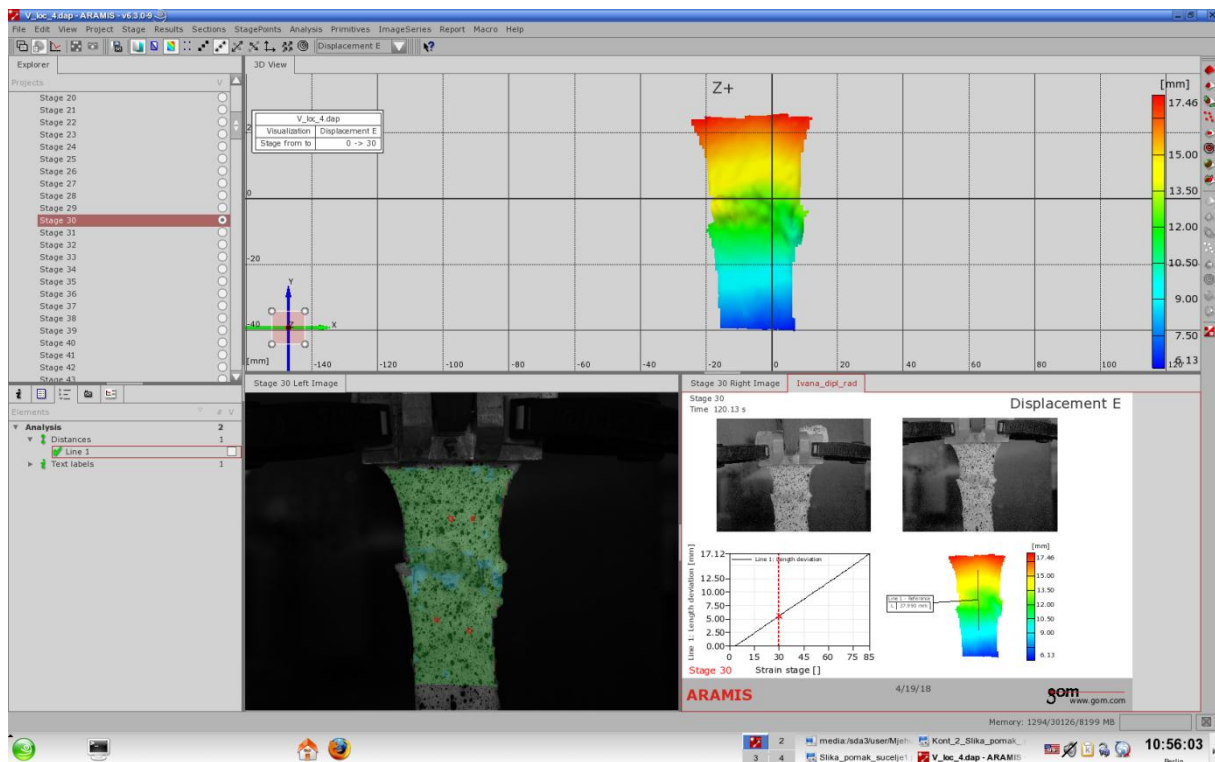
Br. uzorka	Duljina l , mm	Debljina h , mm	F_{\max} , N
1	105	3,63	27,78
2	125	3,18	23,41
3	105	3,68	32,41
4	135	3,43	24,03
5	115	4,94	30,06
<i>Srednja vrijednost</i>	117	3,77	27,54

Cilj ovih ispitivanja bio je odrediti postoji li statistički značajna razlika među pojedinim skupinama uzoraka ovisno o tehnici zatvaranja reza. Budući da su uzorci normalno distribuirani, rezultati su testirani pomoću ANOVA-e. Rezultati pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika između skupina kod kojih je rez zatvaran različitim tehnikama, a

razlika ne postoji niti između kontrolnih, intaktnih uzoraka i ispitnih uzoraka sa zatvorenom ranom cistotomije ($p=0,2112$).

4.4. Rezultati mjerenja pomaka sustavom Aramis

Tijekom jednoosnoga statičkoga vlačnog ispitivanja čvrstoće rane cistotomije pomaci su snimani optičkim mjernim sustavom Aramis kako bi se dobio bolji uvid u način popuštanja rane. Za sve ispitne uzorke slike su diskretizirane fasetama veličine 20x20 piksela. U ovom poglavlju prikazani su pomaci i deformacije određeni korelacijom digitalne slike primjenom optičkog sustava Aramis za tri skupine uzoraka. Na slici 46 prikazano je sučelje programa Aramis.

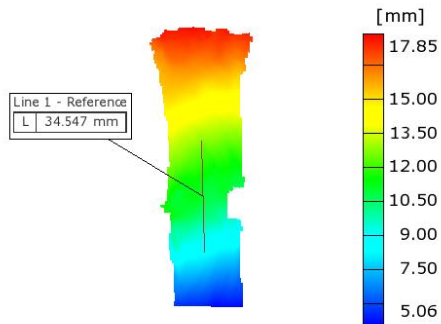
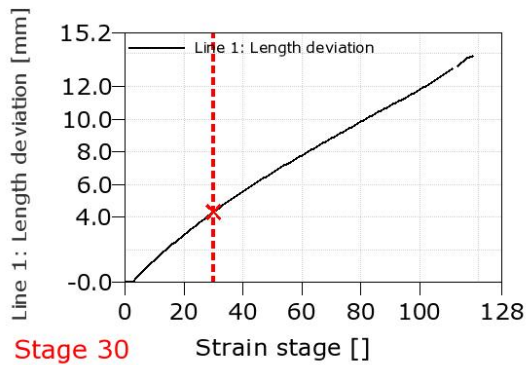
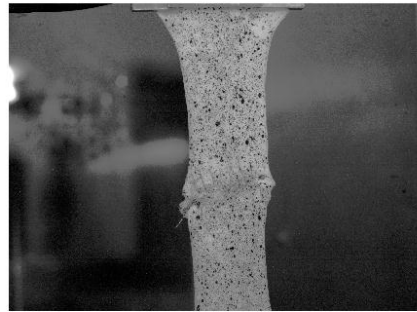
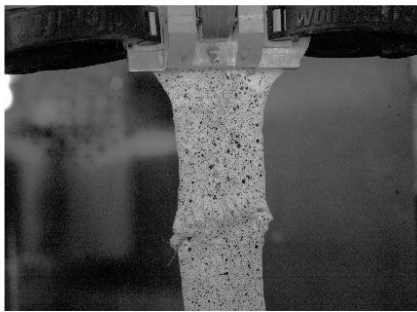


Slika 46 Sučelje programa Aramis

Na slici 47 prikazan je uzorak spojen monofilamentnim koncem u nedeformiranom (lijevo) i deformiranom stanju (desno). Prikazana je i raspodjela pomaka u deformiranom stanju i to 120 sekundi nakon početka eksperimenta te udaljenost između dviju točaka na uzorku između kojih se nalazio šav. Te točke definirane su u neopterećenom stanju uzorka. Na ovaj način analizirani su svi uzorci u ovoj skupini, a deformacije su, ovisno o broju snimaka prikazane u dijagramu na slici 48.

Stage 30
Time 120.19 s

Displacement E



Stage 30

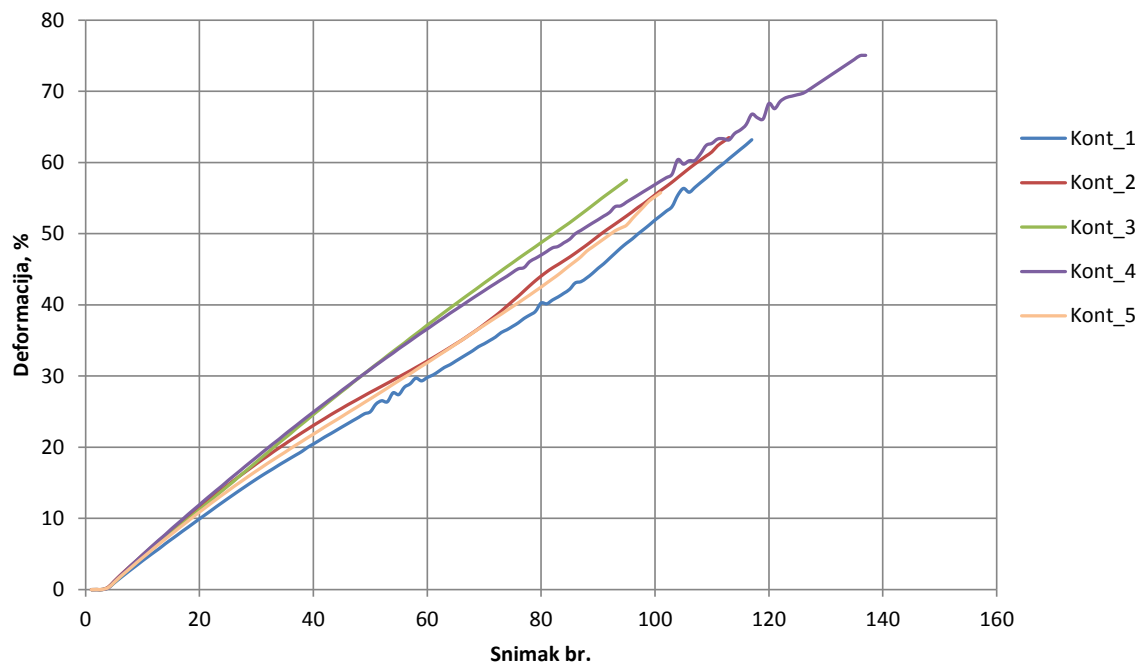
Strain stage []

ARAMIS

4/19/18

gom
www.gom.com

Slika 47 Pomak kod uzorka spojenog monofilamentnim koncem

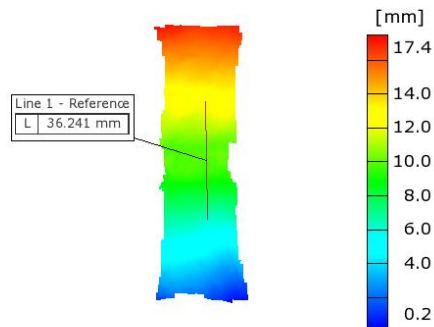
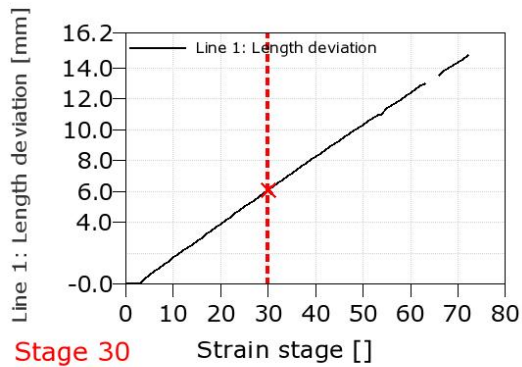
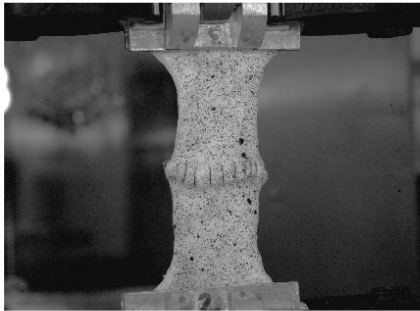


Slika 48 Dijagram deformacije za uzorke spojene monofilamentnim koncem

Slika 49 prikazuje pomake kod uzorka spojenoga staplerom na snimci 30 odnosno nakon 120,12 sekunda od početka opterećivanja uzorka. Kao i kod prethodne skupine, definirane su dvije točke na uzorku između kojih se nalazio šav. Deformacije za sve uzorke spojene staplerom prikazane su na slici 50.

Stage 30
Time 120.12 s

Displacement E

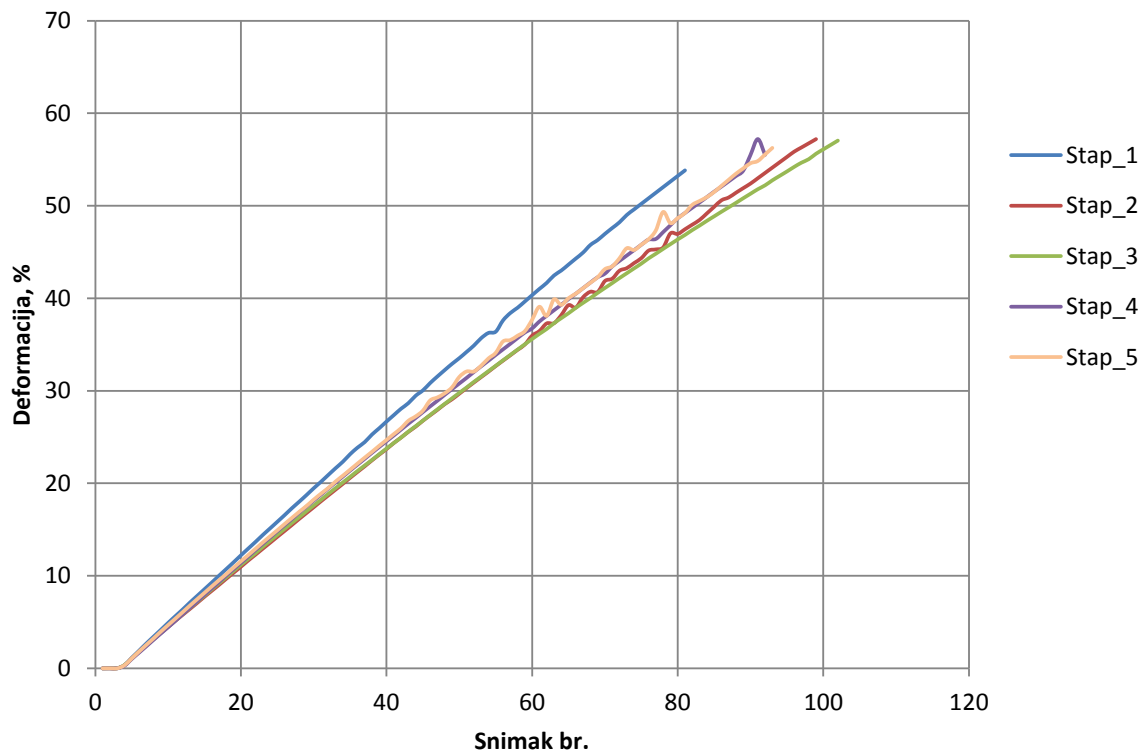


ARAMIS

4/19/18

gom
www.gom.com

Slika 49 Pomak kod uzorka spojenog staplerom

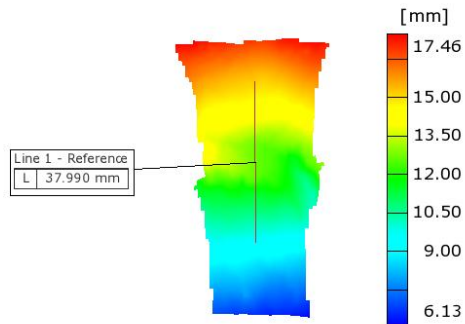
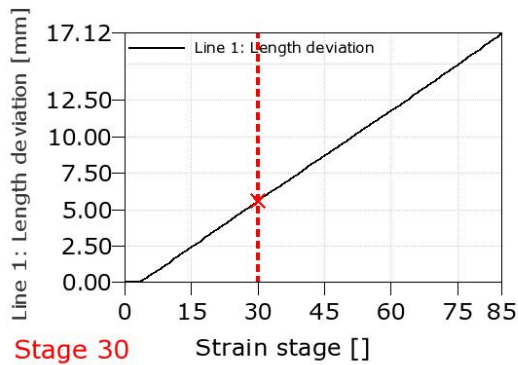
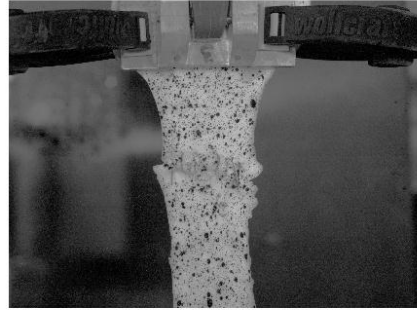
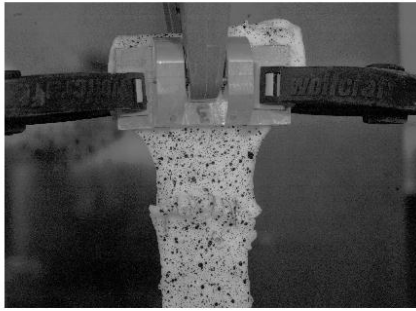


Slika 50 Dijagram deformacija za uzorke zatvorene staplerom

Prema prethodno opisanom postupku analizirani su i uzorci spojeni V-Loc koncem. Slika 51 prikazuje raspodjelu pomaka na jednom uzorku spojenom V-Loc koncem, a vidljivo je i koje su dvije točke odabrane za praćenje ukupnog pomaka tijekom cijelog eksperimenta. Dijagram deformacija za sve uzorke ove skupine prikazan je na slici 52.

Stage 30
Time 120.13 s

Displacement E



Stage 30

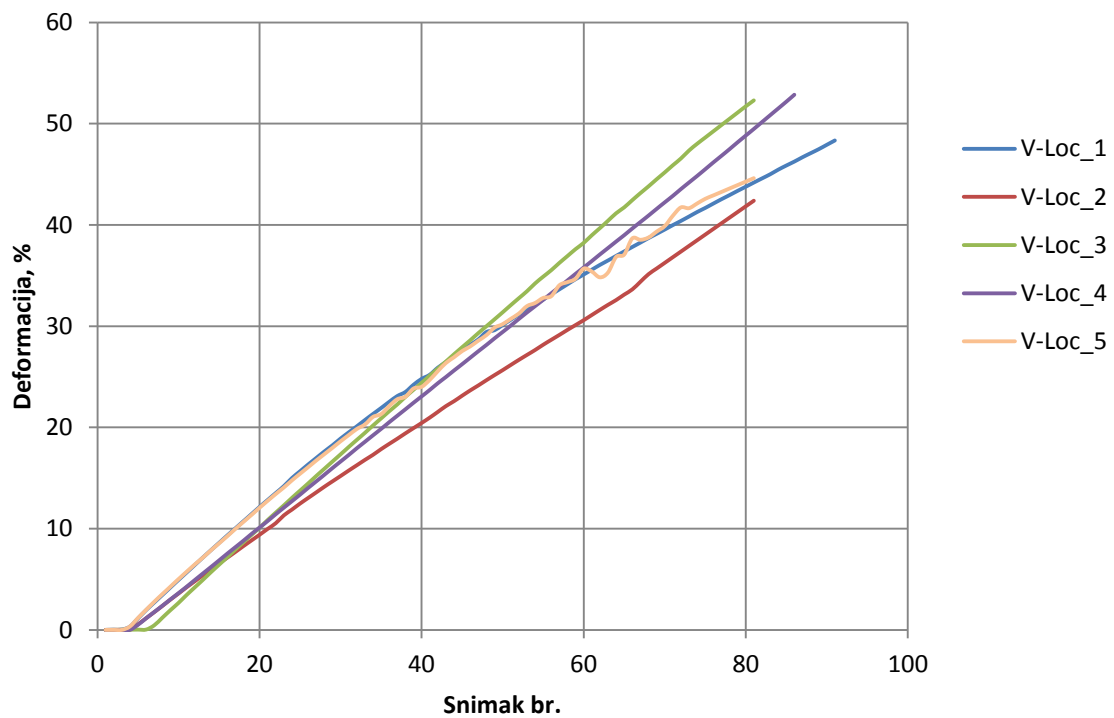
Strain stage []

ARAMIS

4/19/18

gom
www.gom.com

Slika 51 Pomak kod uzorka spojenog V-Loc koncem



Slika 52 Dijagram deformacije za uzorke spojene V-Loc koncem

Analizirane su vrijednosti deformacija/sila za sve uzorke u 312. i 192. sekundi provedbe eksperimenta. Rezultati za 192. sekundu normalno su distribuirani te su testirani pomoću ANOVA-e. Budući da je ANOVA pokazala da postoji statistički značajna razlika među skupinama proveden je i Tukey HSD test kako bi se otkrilo koji tipovi uzoraka se razlikuju. Test je pokazao da ne postoji razlika između V-Loc šava i staplera te između V-Loc šava i standardnog šava. Razlika postoji između standardnog šava i staplera. Rezultati pokazuju da stapleri imaju najveću sredinu što znači da je kod staplera potrebna manja sila za istu vrijednost deformacije. Analizom rezultata za 312. sekundu dobiveni su slični rezultati kao i za 192. Odnosno, statistički značajna razlika postoji samo između staplera i standardnog šava.

Tablica 11 Vrijednosti sile i deformacije za standardni šav za 192. sekundu

<i>Br. uzorka</i>	<i>Sila, N</i>	<i>Deformacija, %</i>	<i>Deformacija/sila</i>
1	3,92	26,07	6,65
2	2,16	28,14	13,03
3	2,35	31,61	13,47
4	1,62	31,53	19,44
5	2,25	27,30	12,12

Tablica 12 Vrijednosti sile i deformacije za stapler za 192. sekundu

<i>Br. uzorka</i>	<i>Sila, N</i>	<i>Deformacija, %</i>	<i>Deformacija/sila</i>
1	1,79	34,20	19,15
2	1,17	30,30	25,95
3	1,33	30,30	22,81
4	1,89	31,40	16,60
5	1,11	32,09	28,93

Tablica 13 Vrijednosti sile i deformacije za V-Loc šav za 192. sekundu

<i>Br. uzorka</i>	<i>Sila, N</i>	<i>Deformacija, %</i>	<i>Deformacija/sila</i>
1	1,41	30,63	30,63
2	1,30	26,16	26,16
3	1,47	32,07	32,07
4	1,79	30,05	30,05
5	2,46	30,72	30,72

5. Rasprava

Usporedbom rezultata statičkog vlačnog ispitivanja za uzorke dobivene za dva međusobno okomita smjera pokazano je da postoji statistički značajna razlika u vrijednostima maksimalne sile između uzoraka dobivenih iz uzdužnog ($F_{\max}=18,57$ N) i poprečnog smjera ($F_{\max}=14,73$ N) mokraćnog mjehura. Statističkom analizom podataka utvrđeno je da ne postoji povezanost između debljine stijenke mjehura i maksimalne sile kod koje dolazi do pucanja uzorka. Kako bi se dobio što bolji uvid u ponašanje tkiva mokraćnog mjehura uslijed narinutog opterećenja, pomoću vrijednosti naprežanja i deformacije izračunat je modul elastičnosti u dva približno linearna područja dijagrama. Analizom vrijednosti modula elastičnosti za ove dvije skupine uzoraka uočeno je da nema statistički značajne razlike u vrijednosti modula elastičnosti E_1 u prvom području dijagrama pri malim vrijednostima deformacije, odnosno može se reći da se pri malim vrijednostima deformacije tkivo ponaša izotropno. Nasuprot tomu, pri velikim deformacijama uočena je statistički značajna razlika u vrijednostima modula elastičnosti E_3 između poprečnih ($E_3=0,0571$ MPa) i uzdužnih uzoraka ($E_3=0,1819$ MPa). Pri velikim vrijednostima deformacije uzorci dobiveni u uzdužnom smjeru mjehura krući su od poprečnih. Dobiveni rezultati u skladu su s opažanjima grupe autora Jokandan i sur. [13]. Rezultati ovog ispitivanja potvrđuju hipotezu da su mehanička svojstva tkiva svinjskog mjehura različita u dva međusobno okomita smjera.

Srednja vrijednost maksimalnog intravezikalnog tlaka kod uzoraka zatvorenih standardnim načinom šivanja iznosila je 17,4 mmHg, kod uzoraka zatvorenih staplerom 10,9 mmHg dok je tlak kod uzoraka zatvorenih koncem s postranim kukicama iznosio 8,7 mmHg. Statističkom analizom rezultata utvrđeno je da postoji značajna razlika među skupinama. Razlika je statistički značajna između skupina kod kojih je rez cistotomije zatvoren standardnim šavom i staplerom te između skupina kod kojih je rez zatvoren standardnim šavom i koncem s postranim kukicama. Razlika između uzoraka sa zatvaranjem reza staplerom i koncem s postranim kukicama statistički nije značajna. Uzimajući u obzir ove rezultate može se reći da alternativne tehnike zatvaranja reza cistotomije nisu jednako učinkovite kao standardna tehnika. Ipak, uzimajući u obzir podatak da je u fiziološkim uvjetima intravezikalni tlak u svinjskom mjehuru uobičajeno 4 - 7,3 mmHg [6], za zatvaranje reza cistotomije prikladni su i stapleri i konac s postranim kukicama. Do propuštanja rane kod uzoraka sa zatvaranjem rane standardnim šavom i koncem s postranim kukicama uglavnom je

dolazilo na mjestima uboda, a samo jedan uzorak je propustio između dva uboda. Kod uzoraka zatvorenih staplerom tri su uzorka propustila između uboda, a ostali na mjestima uboda što je u skladu s opažanjima u radovima [6,15]. Problem propuštanja na mjestima uboda javlja se samo kod ovakvog tipa eksperimenata, u živom tkivu gotovo nikada ne dolazi do propuštanja rane na mjestima uboda igle zbog elastičnosti mjehura odnosno mjehur se kontrahira nakon prolaska igle oko tunela gdje je prošla igla. Hipoteza da alternativne tehnike zatvaranja reza cistotomije osiguravaju dostatan tlak je potvrđena.

Ukoliko se uspoređi vrijeme potrebno za zatvaranje reza, veliku prednost ima zatvaranje reza staplerom sa srednjom vrijednošću vremena zatvaranja $t=1,13$ min. Između skupina kod kojih je korišten standardni monofilamentni konac ($t=6,69$ min) i V-Loc konac ($t=6,31$ min) nema statistički značajne razlike u vremenu šivanja, što je u skladu s rezultatima dobivenim u radu [6]. No, ostala istraživanja su pokazala da razlika u vremenu šivanja između ove dvije skupine uvelike dolazi do izražaja kod laparoskopskih zahvata [15,16]. Nema literaturnih podataka o korištenju staplera za zatvaranje reza cistotomije, a pogledaju li se istraživanja u kojima su stapleri korišteni za zatvaranje reza enterotomije [10-12] uočava se sličnost s rezultatima dobivenim u ovom radu. Naime, pri zatvaranju reza enterotomije rezultati pokazuju da je tehnika zatvaranja reza staplerom brža u usporedbi s produžnim šavom [11] i dovoljno sigurna da se može koristiti kao zamjena standardnoj metodi šivanja [10]. Do sličnog zaključka dolazi se i analizom rezultata ovog istraživanja. Zatvaranje reza cistotomije puno je brže upotrebom staplera, a sigurnost je zadovoljavajuća uzimajući u obzir uobičajene maksimalne vrijednosti intravezikalnog tlaka u svinjskim mjehurima u fiziološkim uvjetima. Hipoteza da korištenje alternativnih metoda ne produljuje vrijeme trajanja operacije je potvrđena.

Kako bi se dobio bolji uvid u ponašanje rane zatvorene različitim tehnikama ispitana je i vlačna čvrstoća rane. Srednja vrijednost maksimalne sile pucanja uzoraka je najveća kod kontrolne skupine ($F_{\max}=31,73$ N), a najmanja kod skupine sa zatvaranjem reza staplerom ($F_{\max}=24,51$ N). Statistička analiza pokazala je da ne postoji značajna razlika između ispitnih skupina, odnosno vlačna čvrstoća rane ne razlikuje se značajno ovisno o tehnici šivanja. Dobivenim rezultatima potvrđena je hipoteza da nema značajne razlike u vlačnoj čvrstoći rane ovisno o načinu zatvaranja.

Rasipanje rezultata kod skupine sa standardnim načinom zatvaranja reza veće je nego kod skupina uzoraka zatvorenih kožnim staplerom i koncem s postranim kukicama. Ova pojava uočena je kod ispitivanja intravezikalnog tlaka kao i kod ispitivanja vlačne čvrstoće rane, a može biti posljedica nedostatka same tehnike šivanja ili kvalitete ispitnih uzoraka.

Kako bi se utvrdio uzrok ove pojave potrebna su dodatna ispitivanja spomenutom tehnikom na većem broju uzoraka.

Analizom pomaka i deformacija pomoću optičkog mjernog sustava *Aramis* pokazano je da se sustav može koristiti za određivanje polja pomaka i deformacija područja oko same rane, ali samo do određene vrijednosti sile. Pri ispitivanju uzoraka uočeno je nekoliko problema u vezi s provedbom mjerenja. Jedan njih je velika istezljivost uzoraka tijekom ispitivanja zbog čega oni izlaze iz vidnog polja kamere pa se ne mogu pratiti pomaci u području sila pucanja uzoraka. Drugi problem su kapljice tekućine koje nastaju kod većih deformacija i slijevaju se niz uzorak mijenjajući oštrinu slike i raster ispiranjem dijela crnih točkica na površini uzorka. Posljedica toga je za sustav neprepoznatljiv raster, odnosno gubitak mjernih točaka na površini uzoraka. Analiza dobivenih rezultata za sile i deformacije u 192. sekundi pokazala je da je razlika između skupina statistički značajna samo između uzoraka sa zatvaranjem reza standardnim šavom i staplerom.

6. Zaključak

Svrha ovog rada bila je utvrditi mogu li se alternativne tehnike zatvaranja reza cistotomije koristiti umjesto standardne metode. Ispitivanjem maksimalnog intravezikalnog tlaka ovisno o načinu zatvaranja reza cistotomije utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između standardne i alternativnih tehnika. Vrijednost maksimalnog intravezikalnog tlaka veća je u skupini uzoraka zatvorenih standardnom tehnikom, a između uzoraka zatvorenih staplerom i koncem s postranim kukicama nema statistički značajne razlike. Usporedbom vremena potrebnoga za zatvaranje reza cistotomije uočeno je da je za zatvaranje reza kožnim staplerom potrebno znatno manje vremena u usporedbi sa standardnom i tehnikom zatvaranja korištenjem konca s postranim kukicama. Statičkim vlačnim ispitivanjem čvrstoće rane pokazano je da ne postoji statistički značajna razlika u čvrstoći rane ovisno o načinu njezina zatvaranja, odnosno zatvaranjem reza svim ovdje ispitanim tehnikama postiže se dostatna čvrstoća. Optički mjerni sustava *Aramis* može se koristiti za određivanje polja pomaka i deformacija područja oko rane, ali samo u području malih gradijenata deformacija. Ispitivanjem mehaničkih svojstava uzoraka u dva međusobno okomita smjera utvrđena je statistički značajna razlika u maksimalnoj sili između dvije skupine uzoraka. Pri malim deformacijama tkivo se ponaša približno izotropno dok je pri velikim vrijednostima deformacije krutost značajno veća u uzdužnom smjeru tkiva svinjskog mokraćnog mjehura.

Maksimalni intravezikalni tlak izmjeren nakon šivanja reza cistotomije standardnom tehnikom bio je najveći i opravdao je primjenu standardne tehnike svakodnevno korištene pri zatvaranju reza cistotomije, iako je fiziološki intravezikularni tlak kod svinje niži od vrijednosti izmjerene nakon zatvaranja reza cistotomije staplerom ili koncem s postranim kukicama. Tehnika zatvaranja reza cistotomije staplerima brža je u usporedbi sa standardnom metodom, a tehnika zatvaranja reza koncem s postranim kukicama nije pokazala prednosti pred standardnom tehnikom. Da bi se dobili realniji i pouzdaniji rezultati, poželjno bi bilo povećati broj uzoraka u skupini te provesti ispitivanja na živom tkivu.

Zahvale

Zahvaljujem mentorima, prof. dr. sc. Janošu Kodvanju i prof. dr. sc. Draženu Vnuku, na mentorstvu, stručnoj pomoći i usmjeravanju tijekom izrade ovog rada.

Također, zahvaljujem i djelatnicima Laboratorija za eksperimentalnu mehaniku Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, posebno asistentu dr. sc. Martinu Surjaku i laborantu Gordanu Plačku, na pomoći pri provedbi ispitivanja.

Popis literature

- [1] Zanetti EM, Perrini M, Bignardi C, Audenino AL. Bladder tissue passive response to monotonic and cyclic loading. 2012 Jun;49(1):49–63.
- [2] König HE, Liebich HG. Anatomija domaćih sisavaca, Udžbenik i atlas. Naklada slap; 2009.
- [3] Vnuk D. Kirurške bolesti urogenitalnog sustava
- [4] Tobias KM, Johnston SA. Veterinary Surgery Small Animal. Elsevier Saunders; 2012.
- [5] Kieves Nina R., Krebs Alexander I. Comparison of leak pressures for single-layer simple continuous suture pattern for cystotomy closure using barbed and monofilament suture material in an ex vivo canine model*. Veterinary Surgery. 2017 Feb 8;46(3):412–6.
- [6] S. Montel J, J. Duffy D, Weng H-Y, Freeman L. Single layer cystotomy closure of excised porcine bladders with barbed versus smooth suture material: MONTÉL et al. Veterinary Surgery. 2017;46:580–6.
- [7] Demyttenaere SV, Nau P, Henn M, Beck C, Zaruby J, Primavera M, et al. Barbed Suture for Gastrointestinal Closure: A Randomized Control Trial. Surg Innov. 2009 Sep 1;16(3):237–42.
- [8] Omotosho P, Yurcisin B, Ceppa E, Miller J, Kirsch D, Portenier DD. In Vivo Assessment of an Absorbable and Nonabsorbable Knotless Barbed Suture for Laparoscopic Single-Layer Enterotomy Closure: A Clinical and Biomechanical Comparison Against Nonbarbed Suture. Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques. 2011 Nov 30;21(10):893–7.
- [9] Nemecek E, Negrin L, Beran C, Nemecek R, Hollinsky C. The application of the V-Loc closure device for gastrointestinal sutures: a preliminary study. Surgical Endoscopy. 2013 Oct 1;27(10):3830–4.
- [10] Gandini M, Iotti B, Giusto G. Biomechanical Comparison of Four Technique for Pelvic Flexure Enterotomy Closure in Horses. Veterinary surgery : VS. 2013;42.
- [11] Rosser JM, Brounts S, Livesey M, Wiedmeyer K. Comparison of single layer staple closure versus double layer hand-sewn closure for equine pelvic flexure enterotomy. The Canadian Veterinary Journal. 2012 Jun;53(6):665–9.

- [12] Rosser J, Brounts S, Slone D, Lynch T, Livesey M, Hughes F, et al. Pelvic flexure enterotomy closure in the horse with a TA-90 stapling device: A retrospective clinical study of 84 cases (2001-2008). *The Canadian veterinary journal La revue vétérinaire canadienne*. 2012;53:643–7.
- [13] Jokandan MS, Ajalloueian F, Edinger M, Stubbe PR, Baldursdottir S, Chronakis IS. Bladder wall biomechanics: A comprehensive study on fresh porcine urinary bladder. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2018;79:92–103.
- [14] Korossis S, Bolland F, Southgate J, Ingham E, Fisher J. Regional biomechanical and histological characterization of the passive porcine urinary bladder: implication for augmentation and tissue engineering strategies, *Biomaterials* 30 (2009), 266–275.
- [15] Ruzickova P, Burns P, Piat P, Frasch MG, Beauchamp G, Elce YA. Ex Vivo Biomechanical Comparison of 4 Suture Materials for Laparoscopic Bladder Closure in the Horse. *Veterinary Surgery*. 45(3):374–9.
- [16] Gözen AS, Arslan M, Schulze M, Rassweiler J. Comparison of Laparoscopic Closure of the Bladder with Barbed Polyglyconate Versus Polyglactin Suture Material in the Pig Bladder Model: An Experimental In Vitro Study. *Journal of Endourology*. 2011 Oct 18;26(6):732–6.
- [17] Chamsy D, King C, Lee T. The Use of Barbed Suture for Bladder and Bowel Repair. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*. 2015 May 1;22(4):648–52.
- [18] http://www.medent.co.nz/assets/EmbeddedImages/SUB_PDF.pdf, preuzeto 23.4.2018.
- [19] <https://www.teleflex.com/usa/product-areas/surgical/skin-stapling-solutions/visistat-skin-stapler>, preuzeto 20.4.2018.
- [20] Surjak M, Validacija numeričkih modela mehaničkog ponašanja životinjskih i ljudskih kostiju. Doktorski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb, 2015.
- [21] Aramis User Information – Hardware, GOM mbH, Njemačka 2009.
- [22] Aramis User Manual – Software, GOM mbH, Njemačka 2009.

Sažetak

Ivana Vranić

Utjecaj tehnike zatvaranja reza cistotomije na maksimalni intravezikalni tlak u svinjskom mokraćnom mjehuru

Cistotomija je kirurški zahvat pri kojem se reže stijenka mokraćnog mjehura. Najčešće se koristi u humanoj i veterinarskoj medicini za kirurško liječenje mokraćnih kamenaca. Rez cistotomije potrebno je zatvoriti i za to se koriste različite kirurške tehnike. Standardne tehnike su korištenje resorbirajućih monofilamentnih materijala za šivanje korištenjem pojedinačnog čvorastog ili produžnog šava s čvoranjem na početku i na kraju šava. Zbog nedostataka standardne tehnike zatvaranja reza cistotomije, kao što su produženo vrijeme šivanja i prisutnost čvorova koji mogu lokalno iritirati tkivo unutar abdomena, potrebno je uvođenje novih tehnika. U ovom radu, osim standardne tehnike, ispitan je utjecaj zatvaranja reza cistotomije kožnim staplerom i koncem s postranim kukicama na vrijednost maksimalnoga intravezikalnog tlaka i vrijeme potrebno za zatvaranje reza, a statičkim vlačnim testom ispitana je vlačna čvrstoća rane ovisno o tehnici zatvaranja. Kako bi se dobio bolji uvid u način popuštanja rane zatvorene različitim tehnikama, tijekom provedbe statičkoga vlačnog ispitivanja pomaci u području rane mjereni su optičkim mjernim sustavom *Aramis*. Osim toga, ispitana su i mehanička svojstva tkiva svinjskog mjehura u dva međusobno okomita smjera.

Rezultati ispitivanja pokazali su da je razlika u maksimalnom intravezikalnom tlaku između pojedinih skupina uzoraka statistički značajna. Za uzorke zatvorene staplerom i koncem s postranim kukicama zabilježene su manje vrijednosti maksimalnoga intravezikalnog tlaka od onih za zatvorene standardnim načinom. Usporedbom vremena potrebnoga za zatvaranje reza cistotomije uočeno je da između standardne i tehnike zatvaranja korištenjem konca s postranim kukicama nema statistički značajne razlike, a zatvaranje reza staplerom znatno je brže. Statičkim vlačnim ispitivanjem čvrstoće rane uočeno je da nema statistički značajne razlike ovisno o tehnici zatvaranja reza. Analiza mehaničkoga ponašanja tkiva svinjskog mjehura u dva međusobno okomita smjera pokazala je da postoji statistički značajna razlika u mehaničkim svojstvima ovisno o mjestu uzimanja uzorka.

Maksimalni intravezikalni tlak izmjeren nakon šivanja reza cistotomije standardnom tehnikom bio je najveći i opravdao je primjenu standardne tehnike svakodnevno korištene pri

zatvaranju reza cistotomije, iako je fiziološki intravezikularni tlak u svinje niži nego vrijednosti izmjerene nakon zatvaranja reza cistotomije staplerom ili koncem s postranim kukicama.

Ključne riječi: svinjski mokraćni mjehur, cistotomija, stapler, konac s postranim kukicama, vlačno ispitivanje

Summary

Ivana Vranić

Influence of the cystotomy incision closure techniques on the maximum intravesical pressure in porcine bladder

Cystotomy is a surgical procedure in which the bladder wall is opened, and is a common medical practice for the surgical treatment of the bladder. Various surgical techniques are used to close the cystotomy incision. Standard techniques imply the use of absorbable monofilament suturing materials, using simple knots or a simple continuous suture pattern with knots at the beginning and end of the suture. Due to a lack of standard suturing techniques for the cystotomy cut, such as an extended suturing time and presence of knots that can locally irritate tissues within the abdomen, there is a need for new techniques. This paper investigates the impacts of closure of the cystotomy incision, in addition to standard suturing methods, using skin staplers and barbed sutures, on the values of maximum intravesical pressure and the time needed to close the wound, while static tensile tests were used to investigate the tensile strength of the wound with regard to the closure technique. In order to obtain better insight into the ways wounds strength following different closure techniques, during the static tensile test, displacements in the wound area were measured using the *Aramis* optical measurement system. Additionally, the mechanical properties of porcine bladder tissue were tested in two perpendicular directions.

The testing results indicated that there was a statistically significant difference in the maximum intravesical pressure between samples. Samples closed with a stapler and barbed suture achieved lower values of maximum intravesical pressure than those samples closed with standard suturing techniques. A comparison of the time needed to close the cystotomy cut showed no statistically significant differences between the standard techniques and closure technique using barbed suture, while closure using the skin stapler was significantly faster. Static tensile testing of wound strength indicated no statistically significant differences with regard to wound closure technique. Analysis of the mechanical behaviour of porcine bladder tissue in two perpendicular directions indicated that there was a statistically significant difference in the mechanical properties with regard to the sampling site.

The maximum intravesical pressure measured following suturing of the wound was highest using standard techniques, and justified the use of the standard techniques used regularly in the closure of cystotomy cuts, even though the physiological intravesical pressure in porcine was lower than the values measured after the closure of the cystotomy cut using a skin stapler or barbed suture.

Key words: porcine bladder, cystotomy, stapler, barbed suture, tensile testing