



Parametrická konstrukce sportovní podprsenky

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie
Autor práce: **Bc. Klára Šťastná**
Vedoucí práce: Ing. Blažena Musilová, Ph.D.





Diploma thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Engineering
Author: **Bc. Klára Šťastná**
Supervisor: Ing. Blažena Musilová, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Klára Šťastná**
Osobní číslo: **T14000028**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Parametrická konstrukce sportovní podprsenky**
Zadávací katedra: **Katedra oděvnictví**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši zaměřenou na způsob stanovení konstrukčních parametrů střihu dámské podprsenky v rámci dostupných konstrukčních metodik a vědeckých prací.
2. Na základě poznatků získaných v rešerši vytvořte konstrukční síť pro střih podprsenky, která bude vyrobená z hadicové pleteniny tzv. bezešvou technologií a popište geometrii konstrukčních bloků s rozdílnou strukturou pleteniny.
3. Navrhněte provedení zkoušky pro určení požadovaných mechanických parametrů textilního kontinua vybraného druhu pleteniny, která bude uplatněna v košíčkové oblasti podprsenky, a to zejména míry deformace ve více směrech.
4. Vytvořte vhodný materiálový model a ověřte jej.
5. Zrealizujte experiment popisující svěrné účinky na jednoduché geometrii a pokuste se vytvořit konečně prvkový model.
6. Experimentální výsledky zhodnoťte a diskutujte z hlediska praktického využití v parametrické konstrukci sportovní podprsenky vyrobené bezešvou technologií.

Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: cca 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- Yu W & Fan, J., Innovation and Technology of Women's Intimate Apparel. Woodhead Publishing: Cambridge 1 edition 2006, ISBN-13: 978-0849391057.
- Musilová, B. Predikce konstrukčních parametrů střihů korzetových výrobků, disertační práce TUL Liberec 2012.
- Vrba, V., Střihy prádla- konstrukce a stupňování. 2. vydání. Praha 1990, SNTL. ISBN: 80-03-00355-5.
- Müller & Sohn, Schnittkonstruktionen nach Müller & Sohn, Rundschau, München 1997, ISBN:3-29305-12.
- Stříž, B., Mechanika textilií. Část 1: Základy mechaniky kontinua. TUL Liberec 2001.
- Stříž, B., Mechanika textilií. Část 2: Aplikace mechaniky kontinua. TUL Liberec 2001.
- Kolář, V., Kratochvíl, J., Leitner, F., Ženíšek, A., Výpočet plošných a prostorových konstrukcí metodou konečných prvků, SNTL Praha 1979.
- Volino, P et al: Virtual Clothing: Theory and Practice, Springer-Verlag Heidelberg New York, ISBN 3-540-67600-7.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Blažena Musilová, Ph.D.

Katedra oděvnictví

Konzultant diplomové práce: Ing. Ondřej Novák, Ph.D.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Ostatní konzultanti: Ing. Irena Lenfeldová, Ph.D.

Katedra textilních technologií

Ing. Josef Vosáhlo

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání diplomové práce: 11. listopadu 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 13. května 2016

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



doc. Ing. Antonín Davelka, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 11. listopadu 2015

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych zde poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Blaženě Musilové Ph.D. z Katedry oděvnictví Technické univerzity v Liberci za cenné připomínky, trpělivost a ochotu při vedení mé závěrečné práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Michalovi Petřů Ph.D. z Katedry částí a mechanismů strojů a Ing. Josefovi Vosáhlovi za cenné rady a informace při konzultacích teoretické části diplomové práce. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině za poskytnutí prostředků a podporu ve studiu.

ANOTACE

Tato diplomová práce je zaměřena na parametrickou konstrukci sportovní podprsenky. Podprsenka bude navržena a zkonstruována pro bezešvou technologii výroby. Dále bude v této práci navrženo provedení zkoušky pro určení požadovaných mechanických parametrů textilního kontinua vybraného druhu pleteniny, která bude uplatněna v košíčkové oblasti podprsenky, a to zejména míry deformace ve více směrech. Budou provedeny reálné zkoušky pomocí zařízení Testometric model M350-5CT, které budou následně simulovány a teoreticky ověřovány pomocí metody konečných prvků v programu ANSYS. Na závěr budou experimentální výsledky zhodnoceny a bude provedena diskuze z hlediska praktického využití v parametrické konstrukci sportovní podprsenky vyrobené bezešvou technologií.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sportovní podprsenka, poprsí, kontinuum, komprese, metoda konečných prvků, ANSYS

ANNOTATION

This thesis is focused on parametric design of Sports Bras. The BRA will be designed and constructed for seamless production technology. Further in this work will be designed to perform the test for the determination of the required mechanical parameters of the selected kind of knitted textiles continuum, which will be applied in the košíčkové area of the BRA, and especially the degree of deformation in multiple directions. The real test will be carried out using a Testometric model M350-5 CT battery, which theoretically will be simulated and then validated using finite element method in ANSYS program. At the conclusion of the experimental results will be evaluated and will be made of the discussion from the viewpoint of practical use in parameterized design of Sports Bras made seamless technology.

KEYWORDS

Sports bra, bust, continuum, compression, finite element method, ANSYS

Obsah

Úvod	12
1 Sportovní podprsenka	14
1.1 Anatomie prsa	14
1.2 Konstrukční metodiky podprsenky	15
1.2.1 Konstrukční metodika č. 1	15
1.2.2 Konstrukční metodika č. 2	17
1.2.3 Konstrukční metodika č. 3	19
1.2.4 Konstrukční metodika č. 4	21
1.2.5 Konstrukční metodika č. 5	21
1.3 Výzkum kompresních účinků na lidské tělo	23
2 Pleteniny	26
2.1 Vlastnosti pletenin	26
2.1.1 Tažnost pleteniny	26
2.1.2 Stanovení roztažnosti a elasticity	27
2.2 Seamless pleteniny	28
2.3 Okrouhlé pletací stroje	28
2.3.1 Tvarování pletenin	30
2.4 Santoni	30
2.4.1 Santoni SM 8-EVO4J	31
3 Metoda konečných prvků	32
3.1 Tvorba materiálového modelu	33
3.1.1 Rozdělení lineárních elastických materiálů	34
3.1.2 Lineární (elastická) statika	34
3.1.3 Nelineární statika	34
3.1.4 Materiálové modely pro hyperelastické materiály	35
3.2 Ansys	36

Experimentální část	37
4. Metoda stanovení konstrukčních algoritmů pro tvorbu střihu dámské sportovní podprsenky bezešvou technologií	37
4.1 Stanovení šířkových rozměrů tvaru dámské podprsenky pletené bezešvou technologií	43
4.2 Materiálové složení podprsenky	44
4.3 Vývoj prototypu podprsenky	45
5. Experimentální testování použitého textilního materiálu pro tvorbu podprsenkového koše	49
5.1 Zjišťování hmotnosti materiálu	49
5.2 Zjišťování tloušťky materiálu	49
5.3 Namáhání materiálu na tah metodou STRIP	50
5.3.1 Namáhání po sloupku	50
5.3.2 Namáhání po řádku	52
5.3.3 Namáhání v diagonálním směru	54
5.4 Cyklické namáhání	57
5.4.1 Roztažnost materiálu	59
5.4.2 Výpočet působícího tlaku ocelové polokoule na textilií	61
6. Teoretické ověření experimentu	62
6.1 Výpočet hodnot pro stanovení materiálového modelu	62
6.2 Tvorba simulačního modelu pro tahové zkoušky	65
6.3 Tvorba výsledného modelu simulujícího oblečené prso v podprsenkovém koši	69
7 Vyhodnocení výsledků	75
Závěr	77
Citovaná literatura	79

Seznam použitých zkratek, značek a symbolů

34 B, 75 B	velikostní označení
2D	dvojrozměrné zobrazení
3D	trojrozměrné zobrazení
°	úhel
±	plus mínus
%	srocento
α	úhel stoupání
ε	deformace [-]
$\Delta\varepsilon$	zbytkové protažení proužku po třetím cyklu protahování [mm]
ε_p	přetrhová tažnost %
ε_p	protahování vzorku textilie při třetím cyklu protahování [mm]
σ	napětí [Pa]
π	konstanta
ρ	hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
ρ_s	plošná hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]
μ	Poissonovo číslo [-]
A	plocha [m^2]
°C	stupeň Celsia
cm	centimetr
d	funkce průměru jehelní řady
d	průměr [m]
dtex	decitex
dz	délka zad [cm]
E	elasticita
E	Yongův modul pružnosti [Pa]
F	síla [N]
FEM	Finale Elements Method
G	smykový modul [Pa]
g	gram
gf/cm^2	gram-force/ centimeter ²
$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$	gram/metr ²

h	výška očka
h	tloušťka [m]
IS	interval spolehlivosti
k	kružnice
km/h	kilometr za hodinu
kPa	kilopascal
l	prodloužení vzorku [m]
l_0	upínací délka vzorku [m]
l_0	původní délka vzorku [m]
l_p	délka vzorku při přetrhu [m]
m	hmotnost [g]
m	metr
M	plošná hmotnost [g/m^2]
m^2	metr čtvereční
min	minuta
MKP	metoda konečných prvků
mm	milimetr
mm/min	milimetr za minutu
MPa	megapascal
N	newton
n	počet pracovních systémů
např.	například
N/cm^2	Newton/centimetr ²
N/m^2	Newton/metr ²
oh	obvod hrudi [cm]
op	obvod pasu [cm]
opp	poloviční obvod pod prsy [cm]
os	obvod sedu [cm]
P	tlak [Pa]
Pa	pascal
PD	přední díl
popř.	popřípadě
r	poloměr [m]

rhp	rozpětí prsních hrotů [cm]
S	plocha vzorku vztažená k průřezu textilie [m ²]
S	plocha [m ²]
S	povrch [m ²]
s	sekunda
s	směrodatná odchylka
s ²	rozptyl
stol. n. l.	století našeho letopočtu
šk	šířka košíčku [cm]
špk	šířka průkrčníku [cm]
T16	obvod hrudníku [cm]
T17	podprsň obvod hrudníku [cm]
T35b	délka od prsního bodu po podprsň bod [cm]
T46	meziprsň šířka I, měří se jako přímá vzdálenost mezi prsními body [cm]
T46a	meziprsň šířka II, měří se mezi prsními body s dotykem měřicí pásky na hrudní kost. [cm]
tg	goniometrická funkce
tj.	to je
tzv.	takzvaný
Var.	variační koeficient
vp	výška postavy [cm]
\bar{x}	průměr
ZD	zadní díl
zhp	zadní hloubka podpaží [cm]
zvpd	zvýšení předního dílu [cm]
hs	hloubka sedu [cm]

Úvod

Podprsenka je dnes součástí šatníku každé ženy, avšak zdaleka tomu tak nebylo vždy. V době, kdy si ženy začaly uvědomovat svou fyzickou odlišnost od mužů, vznikalo jakési jednoduché spodní prádlo tvořené bederní rouškou a kusem látky či kožešiny ovázané kolem poprsí. Například ve starověku v Krétské kultuře ženy nosily vypasované živůtky s odhaleným poprsím, které mohou být chápány jako předchůdci korzetu. Samostatný tuhý korzet vznikl ve Španělsku v období renesance, kdy se ideálem krásy stala mladá, štíhlá žena. Současný tvar podprsenky se začal vyvíjet v roce 1913, kdy si Američanka Mary Phelps Jacobová odmítla vzít pod plesové šaty korzet, a proto si pohrála s vlastní fantazií a vyrobila si ze dvou kapesníků a jedné stuhy příkrývku pro svá ňadra. [20] Dalším důležitým mezníkem pro podprsenku byla 1. světová válka, kdy bylo ženám doporučeno přestat nosit korzety, čímž se ušetřilo železo pro potřeby armád. Toto nařízení mělo za následek obrovský zájem o podprsenku. Ve 30. letech 20. století došlo k oddělení košíčků a následně se začalo používat číslování košíčků A, B, C, D, které je používáno dodnes. Posledním důležitým milníkem ve vývoji podprsenky byl vynález vlákna Lycra, čímž se spodní prádlo stalo elastické a dokonale kopírovalo tvary těla.

Sportovní podprsenka se stala součástí šatníku každé moderní ženy ve 21. století, protože tvoří ideální oporu pro poprsí při každodenních aktivitách, zejména při sportu. Tato podprsenka by měla kromě optimálního zpevnění svým nositelkám přinést i další užité vlastnosti. Například otázka komfortu sportovního oděvu není zanedbatelná. Tento oděv by měl být příjemný na dotek, nedráždit pokožku, měl by odvádět pot od těla do další vrstvy oděvu, případně rovnou do okolního prostředí, což bývá zajištěno syntetickými materiály, zejména optimálním tvarem průřezu vlákna. Sportovní podprsenka by neměla prsa pouze přimáčknout k tělu, ale naopak je zpevnit a to ve všech směrech, protože při různých sportech se ňadra pohybují jiným směrem. Z tohoto důvodu je důležité sledovat ergonomii pohybu lidského těla. Například při běhu jsou prsa namáhána rázovými dopady těla na zem, cyklistky na kole jsou v předklonu s předpaženými rukama, což způsobuje pohyb poprsí dopředu od těla. Tenistky používají rotační pohyby horních končetin, což má za následek i změnu pohybu poprsí.

Pro tuto práci je cílem tvorba bezešvé sportovní podprsenky vytvořené ze zátažné pleteniny. Podprsenka bude zkonstruována na základě zpracování získaných informací v rešeršní části. Košíčková část bude dále testována a to jak prakticky tak

teoreticky. Prakticky bude pletenina testována na jednoosé i víceosé namáhání na přístroji Testometric model M350-5CT. Tato naměřená data budou zároveň zpracována teoreticky a to metodou konečných prvků v programu ANSYS Workbench, pomocí kterého lze simulovat děje, které byly testovány reálně. Simulace pro svou obtížnost a náročnost bude provedena na zjednodušených základních tvarech a tělesech, avšak bude odpovídat reálnému měření. Pomocí této metody je cílem zjištění kompresních účinků dané košíčkové části na tělo. Vzhledem k neexistující normě o kompresních účincích sportovních podprsenek a podprsenek obecně, by měla tato práce posloužit k nastínění problematiky sportovních a kompresních podprsenek a připravit směr pro další a odbornější výzkum.

1 Sportovní podprsenka

Sportovní podprsenka by měla tvořit oporu poprsí avšak ne pouze poprsí přimáčknout k hrudníku. Měla by být pružná, šetrná k citlivé pokožce poprsí, musí dobře odvádět pot od těla a zároveň být prodyšná.

Dle Vaška [10] je nejdůležitější stříh přední části podprsenky, tedy uložení poprsí tak, aby byl zamezen pohyb ve všech třech směrech, tedy vertikálním, horizontálním a předozadním. Avšak pro konstrukci podprsenky nelze opomíjet ani zadní díl, který spolu s ramenní částí přenáší tíhu poprsí. K výrobě sportovních podprsenek se využívají dvě základní konstrukce, kompresní a zapouzďovací. Pro sportovní podprsenku je vhodnější konstrukce zapouzďovací podprsenky a to z důvodu zamezení pohybu poprsí v košíčcích.

1.1 Anatomie prsa

Dle Stoppardové a Měšťáka prs v plném vývoji zasahuje od 3. do 6. žebra v horizontální rovině od okraje hrudní kosti do střední čáry podpažní. Záleží však na velikosti prsů, větší mohou přesahovat přes tyto hranice. Na vrcholu prsu je dvorec, v jehož středu je bradavka, na jejímž vrcholu ústí mlékovody. [6] [30] Prsa splývají s okolním tukem a jsou přirostlá ke svalům stěny hrudníku. [5]

Prsa jsou vysoce modifikované potní žlázy, které vylučují místo potu mléko. Skládají se ze žlázových elementů - lalůček a kanálek produkujících mléko - a pojivové tkáně, která tvoří podpůrnou strukturu. Každý kanálek se rozšiřuje směrem k bradavce a tvoří váček (ampula). Prsa vyplňuje vrstva tuku obklopující žlázovou tkáň. Jsou nezbytným doplňkem hlavních reprodukčních orgánů a zajišťují mléko pro novorozence. [5] Mléčná žláza horními dvěma třetinami naléhá na velký prsní sval, dolní třetinou potom na povázku břišních svalů. Mléčná žláza má tvar okrouhlý, pouze v zevním horním kvadrantu je uložen její mohutnější výběžek směřující do podpaží. [6] [30]

Každý měsíc žena prodělává změny hormonálních hladin, které jsou součástí menstruačního cyklu. Ve dnech před menstruací jsou proto prsa větší a citlivější. Během přechodu dochází ke snížení estrogenové stimulace ve všech tkáních těla včetně poprsí, což má za následek prověšení a zploštění prsou. [5]

1.2 Konstrukční metodiky podprsenky

Analýza konstrukčních metodik bude zaměřena na konstrukci podprsenek s následným vyhodnocením vhodností daných metodik pro tvorbu sportovní podprsenky z pleteniny. Pro vyhodnocení daných metodik, bude zohledněn konstrukční postup, použité rozměry pro konstrukci a vhodnost.

1.2.1 Konstrukční metodika č. 1

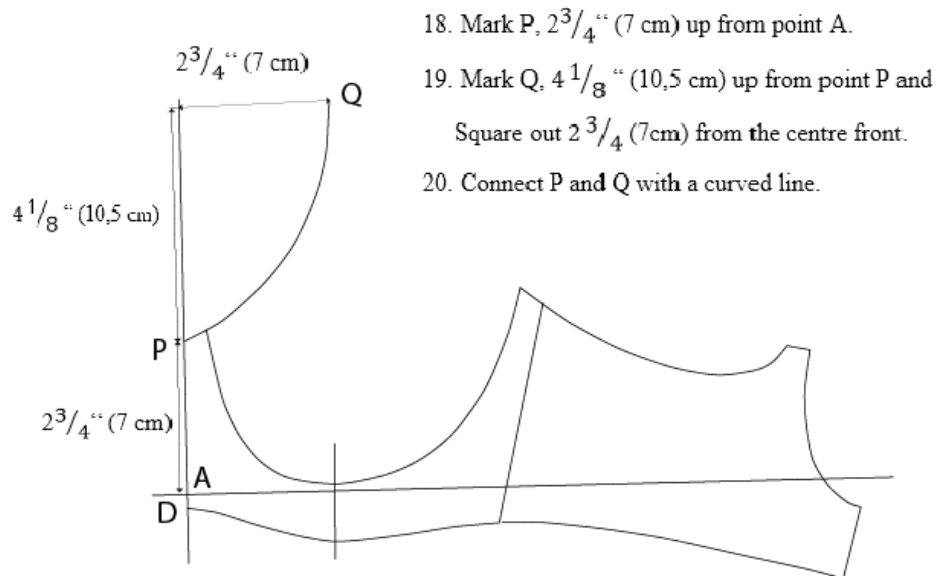
Konstrukční metodika je z publikace *Patternmaking for underwear* [14] od Kristina Shin Ph.D. Tato publikace obsahuje podrobný návod k měření tělesných rozměrů, doplněný obrázkem s označením linií pro správné měření tělesných rozměrů. [14] Konstrukční metodika Kristiny Shin je navržena tak, aby podprsenka nabízela podporu při cvičení, snížila bolest a omezila pohyb poprsí. Velikostní systém se skládá ze sudé velikosti např. 34 B, kde 34 znamená velikost v palcích a B plnostní označení košíčků. Velikost 34 B je totožná s velikostí 75B v metrickém systému. [14]

Vstupními parametry jsou:

Vzdálenost vrcholu poprsí a krční jamky, šířka hrudní kosti, vnitřní prsní oblouk, výška prsa a šířka prsa.[14]

Postup konstrukce:

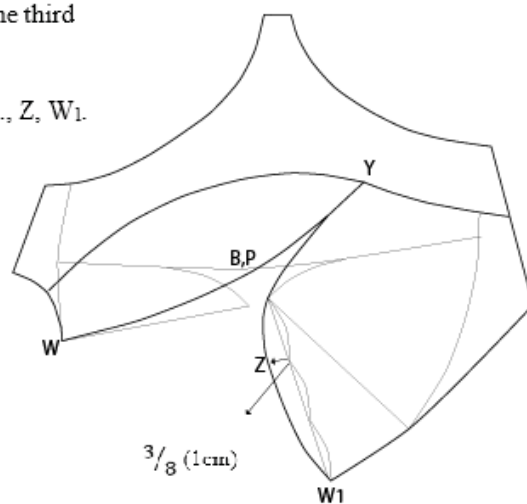
Rýsuje se pouze polovina podprsenky a to zleva od středu PD směrem doprava ke středu ZD, *obrázek 1*. Narýsovat osu x a k ní kolmou osu y. K ose x se přiloží podprsenkový drát a jeho tvar se obkreslí s odklonem levé části o 1,5 – 2 cm ke středu a pravé části s odklonem o 2,5 cm k bočnímu okraji. Dále se tvaruje sedlo dle konstrukčních rozměrů. [14]



Obrázek 1.: Tvarování sedlové části u podprsenky [14]

Po vyhotovení sedla se konstruuje košíček. Konstrukce prsního koše vychází z konstrukce základní podprsenky. [14]

50. Connect W and the B.P. on the upper cup guide line with a curved line and continue to the frame.
 51. Mark Y.
 52. Mark Z, square out $\frac{3}{8}$ " (1cm) from one third of line from the B.P. to W₁.
 53. Draw a curved line connecting Y, B.P., Z, W₁.



Obrázek 2.: Hotový střih pro košíčkovou část [14]

Vyhodnocení konstrukční metodiky:

Tato konstrukční metodika se jeví jako nevhodná z důvodu použití podprsenkových drátů pro základní konstrukci, dále pevných tělesných rozměrů, či jejich poměru v palcích, jak je patrné z originálního popisku u *obrázku 1*. Není zde uvedený obecný postup pro konstrukci, nýbrž návod na podprsenku velikosti 34 B, jejíž označení vyplývá z podprsního obvodu v palcích. Dále je nevhodné čerpání jedné konstrukce z dvou částí (konstrukce prsního koše z konstrukce základní podprsenky *obrázek 2*), [14] což může působit zmateně. Konstrukce podprsenkového koše je členěná švem a samotný koš je nutné všít do sedla, avšak použití švů při tvorbě bežešvé podprsenky není možné.

1.2.2 Konstrukční metodika č. 2

Konstrukční metodika podprsenky dle Vrby. [16] V této publikaci je velikostní sortiment podprsenek rozdělen do 9 velikostí (v cm) a to: 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105 z nichž každá má 1 - 4 variace velikostí košíčků. Velikosti podprsenek jsou určeny podle obvodu pod prsy, velikosti košíčků určuje rozdíl mezi tělesnými rozměry obvodu pod prsy a obvodu hrudníku v hodnotách viz *tabulka 1*:

Tabulka 1.: Rozdělení velikosti košíčků [16]

Košíček	Rozdíl (mm)
A	12- 13
B	14-15
C	16-17
D	18-19

Dále jsou zde uvažovány 3 typy podprsenky a to nízká - podprsenka bez sedla, jejíž košíčky jsou spojeny sešitím či mezikošíčkovým dílem. Polovysoká - jejíž košíčky jsou všity do podprsního sedla, které obepíná hrudník pod rýhou podprsní, výše sedla se pohybuje od 2 do 4 cm a vysoká - podprsenka se sedlem vyšším než 5 cm. [16]

Střih je symetrický, proto se rýsuje pouze $\frac{1}{2}$ konstrukce a tudíž jsou následující rozměry v $\frac{1}{2}$ hodnotě. Rozměr střihu velikosti 75 B má hodnotu pro obvod pod prsy 33 cm a pro obvod hrudník 41 cm, tělesné rozměry pro stejnou velikost jsou 37,5 cm pod prsy a obvod přes prsa 45 cm. Rozměry ve střihu jsou vyrovnány elastickým materiálem. [16]

Vstupní parametry jsou: [16]

Poloviční obvod pod prsy a poloviční obvod hrudníku. Další konstrukční rozměry jsou vypočítány na základě konstrukčních vzorců viz. *Tabulka 2*.

Tabulka 2.: Konstrukční vzorce [16]

Název rozměru	Vzorec
Šířka košíčku (šířka prsu)	$\frac{1}{2} opp + 1,2 \text{ cm}$
Rozpětí prsních hrotů	$\frac{1}{2} šk + 0,5 \text{ cm}$
Pokoměr košíčkové kružnice	$\frac{1}{2} šk$
Sklon osy košíčku	$rhp + 0,8 \text{ cm}$
Rozměr pro zaoblení dole	$\frac{1}{2} šk - 6,8 \text{ cm}$
Délka dolní přímkou	$opp - 1 \text{ cm}$
Posun ramínka	$\frac{1}{10} opp - 1,5 \text{ cm}$
Prsní výběry celkem	$\frac{3}{10} (2\pi r) + 0,2 \text{ cm}$

Seznam použitých zkratk pro tabulku 2.: [16]

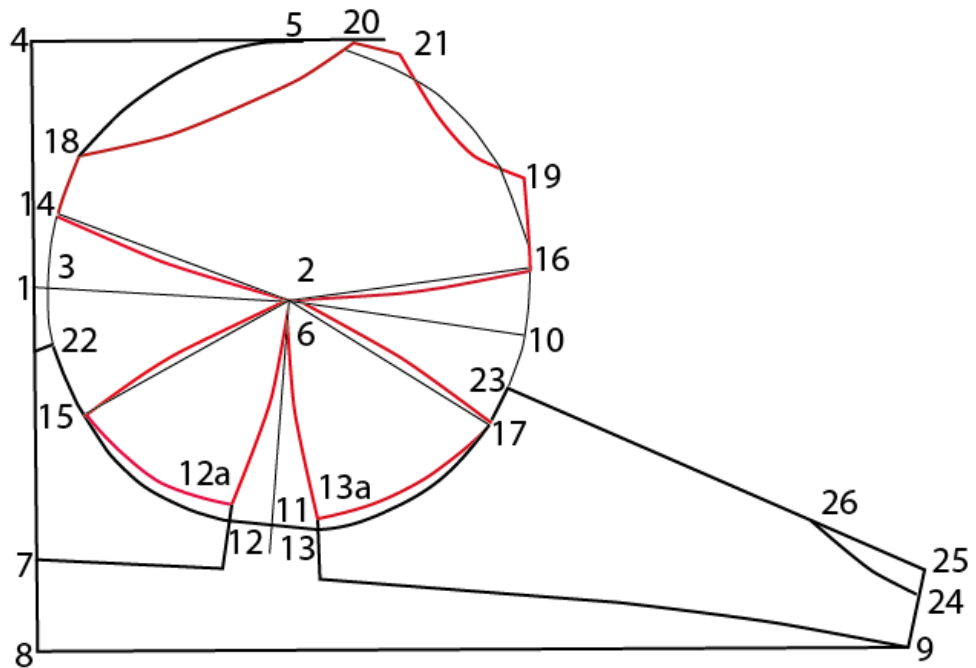
Poloviční obvod pod prsy – opp

Šířka košíčku – šk

Rozpětí prsních hrotů – rhp

Postup konstrukce: [16]

Základní síť podprsenky se vytvoří dle návodu zleva doprava, *obrázek 3*. Jednotlivé rozměry jsou definovány pomocí konstrukčních vzorců. Konstrukce začíná svislou přední středovou přímkou, na které se umístí základní stříhový bod 1, ze kterého je vedena krátká hrudní přímka a následně se dle návodu vytvoří základní konstrukční síť. Výsledkem konstrukce je 3 dílný košíček a sedlo.



Obrázek 3.: Konstrukce základního střihu polovysoké podprsenky [16]

Vyhodnocení konstrukční metodiky:

Konstrukční metodika je přesná, dle návodu jasná a výstižná. Pro sestavení konstrukce používá vzorce vypočítané z tělesných rozměrů, například mezipsní šířka je stanovena díky rozdílu rozpětí prsních hrotů a poloměru košíčkové konstrukce. Z této metodiky, která je tvořena díky vzorcům lze dobře sestavit i jiné velikosti podprsenky, avšak není zde možné konstruovat sportovní podprsenku, která je definována i zadním dílem, protože ho nelze do této konstrukce vykreslit.

1.2.3 Konstrukční metodika č. 3

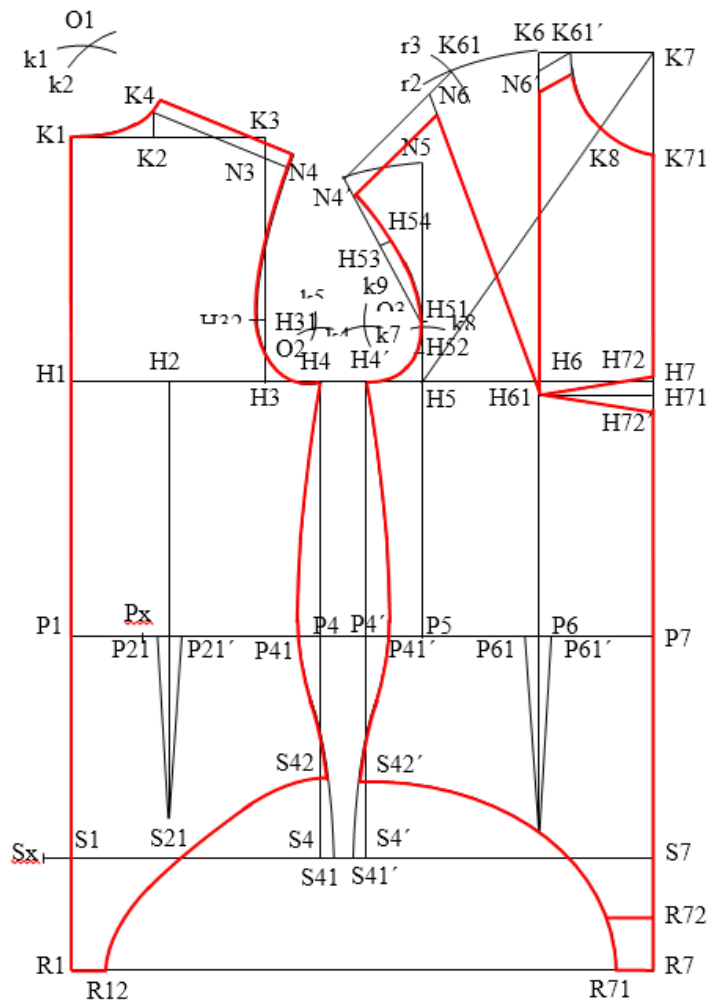
Konstrukční metodika Müller a Sohn je čerpána z časopisu Rundschau [15]. Konstrukce vychází ze základní konstrukce trupového oděvu upravené pro konstrukci body či podprsenky a samostatných vysokých kalhotek.

Vstupními parametry jsou:

Vstupními parametry pro konstrukci jsou podprsň obvod hrudníku, obvod hrudníku, obvod pasu, obvod sedu a výška postavy. Daná metodika je určena pro použití z pevného materiálu. Pokud má být body vyrobeno z materiálu elastického je obvykle konstrukce o 15-20 % menší v obvodových rozměrech a o 0-5% v délkových rozměrech. [15]

Postup konstrukce:

Konstrukce je prováděna zleva doprava, provádí se od zadní středové přímky k přední středové přímce. Nejprve je nutné vytvořit základní konstrukční síť, která je tvořena horizontálními a vertikálními přímkami, na které se nanášejí naměřené tělesné rozměry s přídávky, případně rozměry vypočítané z konstrukčních vzorců. Horizontální přímkami jsou označovány velkými písmeny a vertikální přímkami jsou označovány číslicemi.



Obrázek 4.: Základní konstrukce pro body [15]

Vyhodnocení konstrukční metodiky:

Tato konstrukční metodika se jeví jako vhodná, protože používá rozměry těla a rozměry z nich vypočítané. Konstrukční metodika je jasná, výstižná. Vzhledem ke tvarům sportovní podprsenky je vhodná z důvodu konstrukce ZD, kam bude vykreslován ZD podprsenky. Pro tvorbu prsní oblasti by bylo vhodné použít kombinaci metodiky Müller a Sohn s konstrukcí podprsenky od Vrby.

1.2.4 Konstrukční metodika č. 4

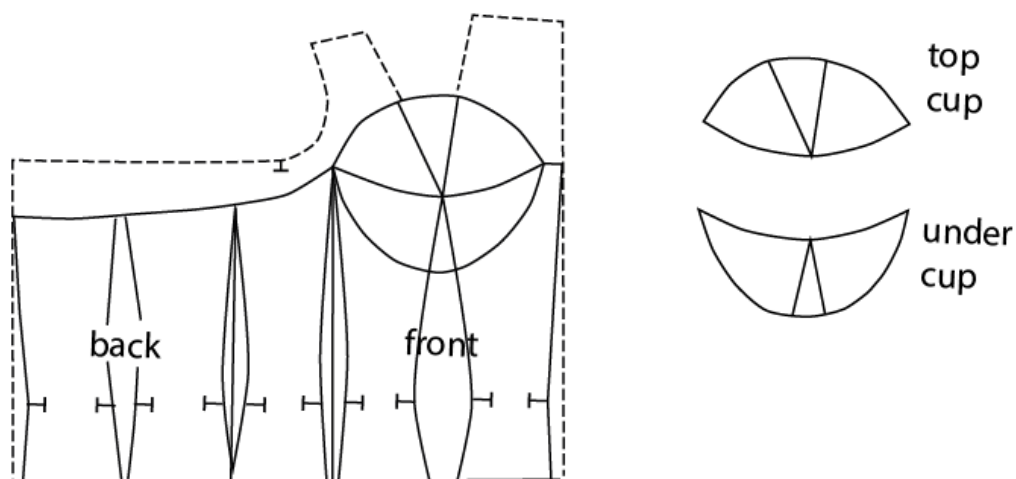
Tato konstrukční metodika [17] není přímo určená ke konstrukci podprsenky, ale ke konstrukci korzetu z pevných materiálů.

Vstupní parametry:

Vstupní parametry u této konstrukce nejsou uvedeny.

Postup konstrukce:

Konstrukce je rozdělena na část pro zadní díl a pro přední díl. Nejsou zde uvedeny žádné konstrukční rozměry ani poměry mezi délkami a šířkami, nelze tedy správně určit postup konstrukce a její správnost. Konstrukce je zobrazena na *obrázku 5*.



Obrázek 5.: Konstrukce korzetu [17]

Vyhodnocení konstrukční metodiky:

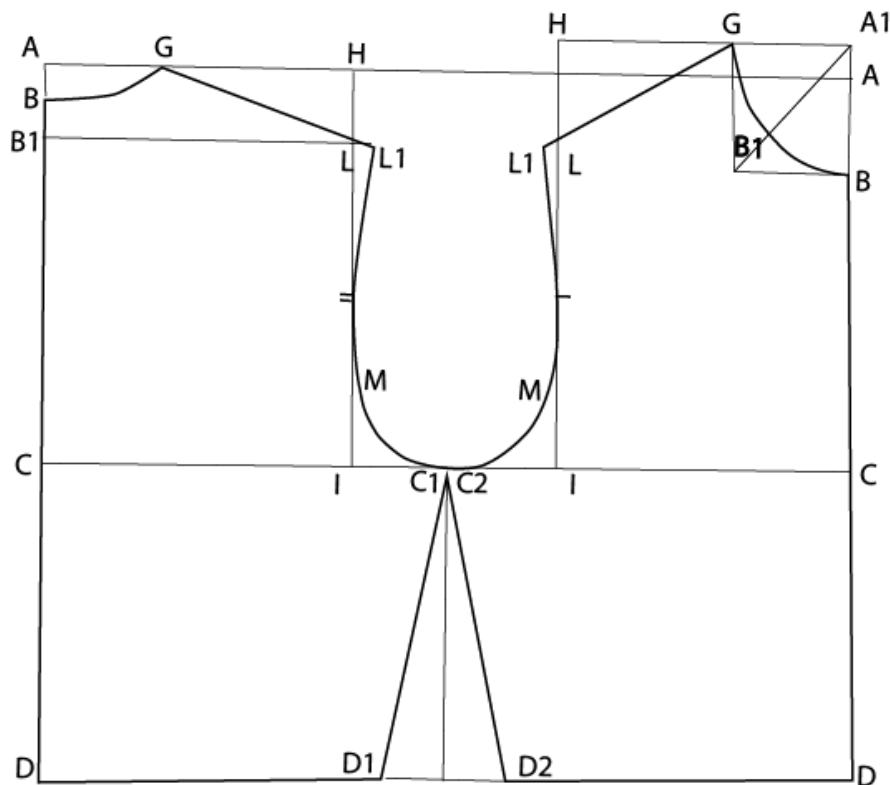
Vzhledem k absenci jakýchkoliv rozměrů, konstrukčních popisků stříhu či slovního popisu stříhu je tato konstrukce nevhodná pro střih podprsenky.

1.2.5 Konstrukční metodika č. 5

Tato konstrukční metodika je popsána Burgem v publikaci [18]. Publikace je vhodně doplněna o ilustrace naznačující způsob měření tělesných rozměrů. Je zde podrobně popsán návod na konstruování a je doplněn o základní konstrukci. Konstrukce podprsenky vychází ze základního stříhu pro trupový oděv.

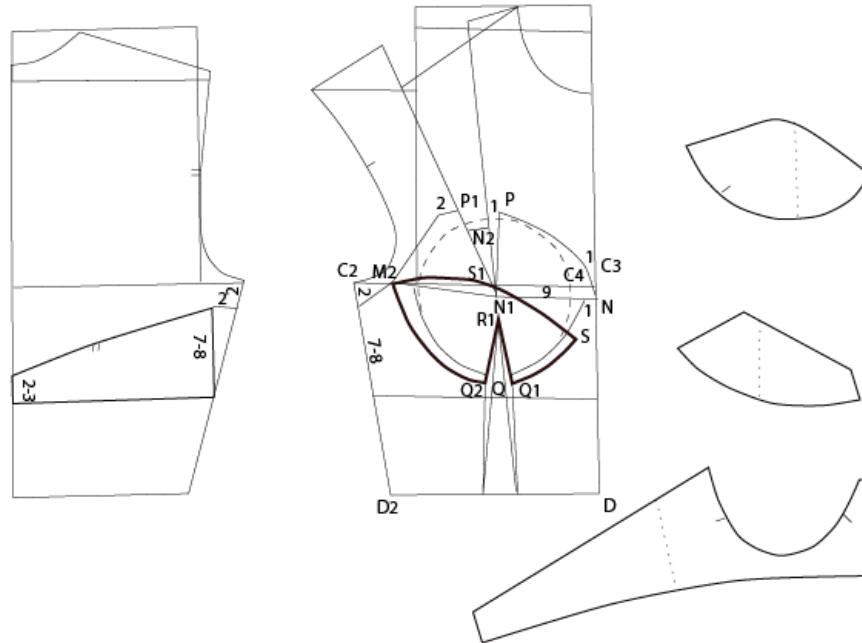
Postup konstrukční metodiky:

Metodika je tvořena systémově, zleva doprava, *obrázek 6*. Nejdříve se zkonstruuje zadní díl, poté přední díl. Základní síť je tvořena pomocí horizontálních a vertikálních přímek, které jsou dotvarovány křivkami pro průkrčník a průramek. Základní rozměr pro konstrukci je udáván jako $\frac{1}{2}$ obvodu hrudi + 4cm. Délkové rozměry jsou konstruovány pomocí $\frac{1}{8}$ výšky postavy a jejích násobcích či podílech. Konstrukční rozměry pro zadní i přední díl jsou téměř totožné, liší se pouze v rozměru $A_1 - H$ kdy je PD o 1cm užší, v rozměru $H - L$, který je u PD o 2 centimetry větší pro prsní vystouplosti a v rozměru délky průkrčníku, kde musí být přední průkrčník větší pro umožnění přetáhnutí oděvu přes hlavu.



Obrázek 6.: Základní konstrukce pro trupový oděv[18]

Ze základní konstrukce jsou následně dle konstrukčních rozměrů stříhy tvarovány do podoby podprsenky, *obrázek 7*.



Obrázek 7.: Konstrukce podprsenky[18]

Vyhodnocení konstrukční metodiky:

Tato konstrukční metodika je zajímavá, ovšem u základní konstrukce trupového oděvu chybí návod pro tvorbu prsního vybrání, které je velice důležité. Prsní vybrání se objevuje až u tvorby samotné konstrukce podprsenky, ale není definováno žádným vzorcem ani rozměrem. Dále rozdělení šířky PD a ZD není úplně vhodné, díly jsou stejně široké, tak lze předpokládat, že autor opomenul prsní vystouplost na PD. Příklad u tvorby základní konstrukce $\frac{1}{2}$ obvodu hrudi + 4cm je pro konstrukci spodního prádla nevhodný. Podprsenka musí přiléhat k tělu a 4 cm přídavek na volnost je příliš velký.

V experimentální části práce bude na základě prozkoumaných metodik pro tvorbu konstrukce použita kombinace dvou metodik a to metodiky č. 2 od Vrby, ze které bude použita konstrukce košíčku a metodiky č. 3 od Müller a Sohn ze které bude použita trupová část oděvu.

1.3 Výzkum kompresních účinků na lidské tělo

Tým vědců z Číny v čele s X. N. Chen [11] zkoumal v práci *Breast Motion and Discomfort of Chinese Women in Three Breast Support Conditions* pohyby poprsí a komfort žen při pohybu bez podprsenky, s běžnou konfekční podprsenkou a se sportovní podprsenkou při chůzi o rychlosti 5 km/h a při běhu 10 km/h.

Poprsí bylo opatřeno senzory a při experimentu byly tyto senzory snímány a jejich souřadnice pohybu následně vyhodnoceny. Byl zjištěn rozdíl mezi pohybem prsou bez podprsenky a s podprsenkami, avšak nebyl zaznamenán významný rozdíl mezi běžnou konfekční podprsenkou a sportovní podprsenkou. Tento rozdíl činil 7,7 %, sportovní podprsenka snížila pohyblivost poprsí o 23,1 % a běžná podprsenka o 15,4 % při rychlosti chůze 5 km/h. Při běhu sportovní podprsenka snížila pohyb prsou o 47 % oproti stavu bez podprsenky a konfekční podprsenka snížila hybnost o 32,7 %. Jak lze vidět z tohoto výzkumu pro aktivně sportující ženy by měla být volbou sportovní podprsenka, která dokáže lépe zpevnit poprsí a zvýší tak i komfort během sportu.

Dle práce *Can reduction in bra band pressure increase comfort during exercise in lumpectomy patients?* [2] 70,3 % žen žijících s diagnostikou karcinomu prsu uvedlo nepříjemné pocity u nošení podprsenek při sportovních aktivitách. Těsnost podprsenkového sedla byla označena jako příčina tohoto nepohodlí a to zejména pro pacientky po ablaci prsu. Výzkum byl prováděn za pomoci dvou deseticentimetrových kalibrovaných tlakových pásků umístěných přímo na těle pod podprsenkovým sedlem. Tlak podprsenky a její diskomfort byly graficky zpracovány. Byla zjištěna vzájemná pozitivní korelace mezi tlakem a diskomfortem podprsenkových sedel. Čím vyšší tlak, tím větší nepohodlí. Snížení tlaku podprsenkového sedla pomocí inovativních úprav může přispět k redukci diskomfortu podprsenkového sedla a tím umožní žít ženám ve větším komfortu.

Tým vědců z Austrálie a Thajska [1] zkoumal účinnost sportovní podprsenky při omezení pohybu poprsí, a zda souvisí s bolestí prsou ve srovnání s nošením konfekční podprsenky. Účelem této studie bylo zjistit, zda hypertrofie (*zvětšení, nadměrný růst*) prsů, hybnost prsou a nošení sportovní podprsenky brání dýchání v klidu i při fyzické aktivitě. Bylo zjištěno, že sportovní podprsenka přenáší větší tlak na trup žen s menším poprsím (sportovní podprsenka $0,861 \pm 0,247 \text{ N/cm}^2$, módní podprsenka $0,672 \pm 0,254 \text{ N/cm}^2$), navzdory tomu tento zvýšený tlak neprokázal, že by významně ovlivnil objem plic. Tým vědců neprokázal vliv nošení podprsenky na omezení dýchání a doporučil ženám nošení podprsenky při sportovních aktivitách, aby nedocházelo k pohybům poprsí, což může způsobit bolest.

Poznámka: $1 \text{ N/cm}^2 = 10000 \text{ N/m}^2$

Ito [25] provedl výzkum na 25 probandkách, které nosily 6 tlakových návleků. Během experimentu byl zaznamenáván a analyzován komfortní pocit na různých částech těla. Dle Ita jsou komfortní hodnoty tlaku na přední straně pasu $9,07 \text{ gf/cm}^2$, boční straně

pasu 17,96 gf/cm², zadní straně pasu 4,57 gf/cm², na přední straně břicha 7,83 gf/cm², boční straně břicha 12,21 gf/cm² a zadní straně břicha 4,29 gf/cm².

Poznámka: 1 gf/cm² = 98,0665 N/m²

Mitsuno [3] měřil tlak oblečení pomocí hydrostatického tlaku. Toto zařízení bylo použito k měření tlaku v pase, zatímco proband stojí ve vzpřímené poloze a přirozeně dýchá. Každý proband nosil opasek, který snížil obvod pasu o 5%, tlak v pase byl průměrně 23,8 ± 2,9 gf/cm². Byly měřeny závislosti amplitudy tlaku na rychlosti dýchání.

Výsledky experimentu Nakahashi a kolektiv [26] uvádějí, že probandi se cítí dobře, pokud je tlak oblečení pod určitými hodnotami na různých částech těla. Přední strana břicha 8,1 gf/cm², boční břišní 13,7 gf/cm², záda 13,2 gf/cm² a bedra 10,1 gf/cm².

Šťastná [22] provedla experimentální měření v práci *Hodnocení komfortu ženského zpevňovacího prádla*, kde pomocí kapacitních snímačů zabudovaných v podprsenkových koších měřila kompresní účinky běžné komerčně vyráběné podprsenky na poprsí. Změřené komprese se průměrně pohybovaly v rozmezí 0,23 kPa – 0,625 kPa, podle toho v jaké části košíčku se snímače nacházely.

2 Pleteniny

Pro tvorbu sportovní podprsenky tvořené bezešvou technologií je nutnost znát některé charakteristické vlastnosti pletenin.

Dle Stříže [36] výzkum chování textilií, jako geometricky i fyzikálně nelineárního, směrově orientovaného útvaru, vyžaduje stanovení jeho mechanických charakteristik. Jednou z nejrozšířenějších metod řešení problému mechaniky textilií je náhrada textilního útvaru spojitým prostředím - kontinuem se stejnými mechanickými vlastnostmi jako zkoumaná textilie.

Vzhledem k zadání této práce budou pleteniny uvažovány jako textilní kontinuum, v dané pletenině nebude uvažováno o jednotlivých přízích, očkách, smyčkách a způsobu jejich provázání

2.1 Vlastnosti pletenin

Charakteristické vlastnosti pletenin jsou dány zejména strukturou (šířka a výška očka, délka nitě v očku, tloušťka – průměr nitě, hustota sloupků a řádků) a materiálem zpracovávaným do pletenin. U běžných typů zátažných pletenin jsou tedy významné následující vlastnosti: [4]

- tažnost (po řádku, po sloupku)
- pružnost
- splývavost
- stáčivost
- zátrhovost
- paratelnost
- pevnost ve švu
- prodyšnost
- tepelně izolační schopnost
- savost

2.1.1 Tažnost pleteniny

Tažnost je nejcharakterističtější vlastností pleteniny a v mnoha případech podmiňuje její použitelnost pro určité výrobky. Pletenina je vlivem své tažnosti poddajná, lehce se tvaruje a přizpůsobuje, což usnadňuje konfekční zpracování, příjemně se nosí, protože nepřekáží pohybu. Tažnost pleteniny může mít i negativní význam. Příliš velká

tažnost brání použití pleteniny na výrobky, kde se požaduje tuhost a zachování tvaru. Obecně se definuje tažnost jako schopnost nějakého materiálu měnit svůj tvar vlivem vnějších zátěžových sil ve směru jejich působení. [7]

Tažnost je dána výrazem: [7]

$$\varepsilon_p = \frac{l_p - l_0}{l_0} * 100 \quad (1)$$

Kde: ε_p = přetřhová tažnost %

l_0 = původní (upínací) délka vzorku

l_p = délka vzorku při přetrhu

2.1.2 Stanovení roztažnosti a elasticity

Roztažnost textilií je charakterizována poměrným protažením při stanoveném zatížení, jejich elasticita poměrným zotavením po uvolnění tahové síly. Proužky materiálu se nastříhají minimálně 5 mm od okrajů ve směru té soustavy nití, která se vyznačuje roztažností. [8]

Pro stanovení roztažnosti a elasticity se vystříhne ze vzorku 5 proužků o rozměrech 50 mm x 200 mm. Zkoušky se provádějí na trhacích přístrojích s konstantní rychlostí deformace. Vzorky textilií se ponechají při normálních klimatických podmínkách (vlhkost 65 % \pm 2 %, teplota 20 °C \pm 2 %) minimálně 24 hodin. Zkoušky se provádějí za stejných klimatických podmínek. [8]

Postup zkoušky:

Jeden konec proužku se upne do horní upínací svorky trhacího přístroje, zatímco druhý konec se spustí do spodní upínací svorky a zatíží se předpětím. Pro textilie o plošné hmotnosti do 250 g.m⁻² činí zatížení 0,2 N. Pro textilie o plošné hmotnosti 250 g.m⁻² a vyšší činí zatížení 0,3 N. [8]

Vzdálenost mezi horní a spodní upínací svorkou se stanoví na 100 mm. Vzorek textilie se protahuje při rychlosti deformace 100 mm/min. Měřítka záznamu protažení a stupnice zatížení se volí v souladu s roztažností textilie a musí zajistit čitelnou analýzu diagramu. Proužek textilie se protahuje třikrát do stanoveného konstantního zatížení. Přitom zařízení samočinně zapisuje křivky protažení – zotavení (hysterezní smyčky) prvního až třetího cyklu protažení. [8]

Elasticita vzorku E (%) se vypočítá: [8]

$$E = \frac{\varepsilon_p - \Delta\varepsilon}{\varepsilon_p} \cdot 100 \quad (2)$$

Kde: ε_p = protažení vzorku textilie při třetím cyklu protahování (mm)

$\Delta\varepsilon$ = zbytkové protažení proužku po třetím cyklu protahování (mm).

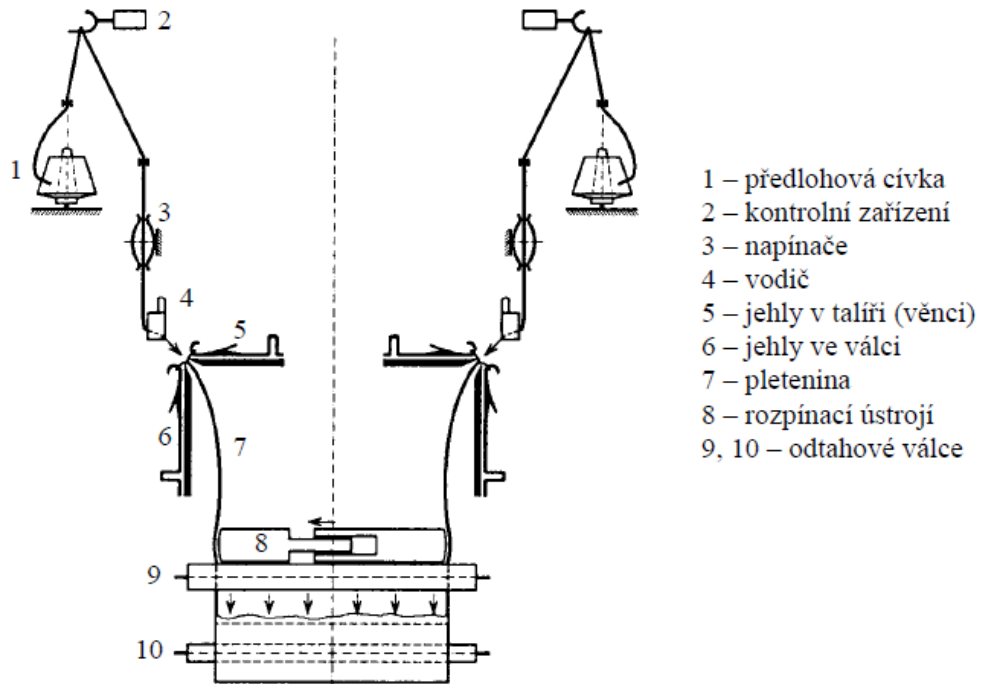
2.2 Seamless pleteniny

Jedná se o pleteniny většinou tělového průměru, které jsou pleteny na okrouhlých pletacích strojích. Hotové výrobky nemají boční šev, což zvyšuje užitnou hodnotu výrobku, nedochází k dráždění pokožky vystouplými švy. Výstupu z pletacího stroje se říká tubus. Tento tubus je vždy větší než hotový výrobek a je nutné ho vysrážet. Vysrážení probíhá při pracím procesu, který je nastaven na teplotu 60°C. Procento srážení materiálu se nejlépe zjistí na testovacím vzorku, protože každá vazba a každý materiál se může srážet jinak. Dle literatury [23] je předpoklad srážení pletenin 34% v příčném směru a 10% v podélném směru.

Tvarování těchto pletenin probíhá pomocí změny vazby, změnou rychlosti přiváděného elastanu do oděvního výrobku i rozdílným materiálovým složením použitých přízí.

2.3 Okrouhlé pletací stroje

Podle tvaru jehelní řady se pletařské stroje rozdělují na ploché a okrouhlé. Okrouhlé pletací stroje podle velikosti průměru lůžka (lůžek) se označují jako maloprůměrové (většinou pro výrobu ponožek a punčochového zboží) a tzv. velkoprůměrové pro výrobu úpletů prádlových i pro další ošacení. Patří sem i stroje interlokové. [4]



Obrázek 8.: Schéma pletacího stroje [4]

Na jehlách zátažného pletářského stroje se řádek tvoří pracovním systémem. V každém okamžiku probíhá pletení pouze na určité části jehelní řady. Převážná část jehel je v daném okamžiku nevyužita. Aby se zvýšilo využití stroje, bývá na stroji instalováno více pracovních systémů. Na strojích s jednosměrným způsobem pletení bývá počet pracovních systémů vyšší, např. 6, 24, 60. Maximální počet závisí na velikosti pracovního systému, jehož součástí pracovního systému je vodič. Používá-li se při pletení jeden pracovní systém a pouze jeden vodič, je celá pletenina vyrobena z jedné nitě. Při pletení více pracovními systémy, vytváří každý systém vlastní řádek pleteniny. U okrouhlých pletacích strojů je pořadí řádků dané pořadím pracovních systémů na stroji. Charakteristickým znakem pletenin vyrobených na okrouhlých pletacích strojích je zešíkmení řádků, které je dáno úhlem stoupání šroubovice řádku. Úhel stoupání α je funkcí průměru jehelní řady d výšky oka h a počtu pracovních systémů n . [9]

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{n \cdot h}{\pi \cdot d} \quad (3)$$

2.3.1 Tvarování pletenin

Oděvní výrobek představuje ve své konečné podobě prostorově zakřivenou plochu. Konečného tvaru se dosahuje nastříháním textilie na plošné díly a sešitím jednotlivých dílů do požadovaného tvaru. Základní předností zátažné pletařské technologie je možnost tvarování. Pletením se dají vytvořit jednotlivé tvarované díly, popř. celý výrobek. [9]

Rozměry vyráběné pleteniny závisí: [9]

- na počtu oček ve sloupcích a řádcích
- na rozměrech oka
- na prostorovém uspořádání oček ve vazbě

Rozměry pleteniny se dají změnou uvedených parametrů ovlivňovat.

Předpokladem pro pletení dílů a výrobků je vytvoření neparatelného začátku s příslušnými vzhledovými a deformačními vlastnostmi. Takový začátek se označuje jako pevný. Pokud to strojní zařízení umožňuje, plete se začátek dílu obvykle v oboulícni vazbě. Tím se předchází nežádoucímu stáčení spodního kraje, k němuž by došlo při použití jednolícni vazby. [9]

Začátek pletení vyžaduje: [9]

- vytvoření záchytného řádku
- zajištění tvaru kliček při pletení následujícího řádku
- zajištění odtahu pleteniny
- zajištění neparatelnosti vazby
- zajištění dobrého vzhledu okraje
- zajištění dobrých deformačních vlastností

2.4 Santoni

Firma Santoni je na trhu od roku 1919, kdy začala jako první Italský výrobce pletacích strojů na ponožky. V posledních 20. letech firma Santoni vyvinula řadu kruhových elektrických seamlessových pletacích strojů, čímž se stali světovým lídrem v této technologii. Bezešvé stroje jsou revoluční ve světě textilních strojů. Jejich použití bylo zpočátku omezeno na výrobu spodního prádla, ale následně se rozvinulo na výrobu sportovního oblečení. Pro výrobu sportovní podprsenky bude ve spolupráci firmy Pumax použit stroj Santoni SM8-EVO4J. [12]

2.4.1 Santoni SM 8-EVO4J

Stroj Santoni SM8-EVO4J je elektrický okrouhlý pletací stroj, který je určen k tvorbě jedno - velikostního tělového úpletu pro spodní prádlo, svrchní ošacení, plážové oblečení, sportovní potřeby i sanitární oděvy. Tento stroj používá k výrobě přírodní i syntetické příze s obsahem elastomeru i bez. Je možné i tzv. smyčkové podávání pro froté efekt. [12]



Obrázek 9.: Santoni SM8-EVO4J [12]

3 Metoda konečných prvků

Metoda konečných prvků (FEM - Finite Element Method) je významným nástrojem, který v současnosti pomáhá vědcům i inženýrům řešit složité úlohy z různých oblastí. Význam MKP spočívá v umožnění řešit úlohy, které jsou analytickými přístupy neřešitelné nebo řešitelné jen s velkými obtížemi. Příčinou může být velikost vzorků, počet dílů, komplikovaný tvar geometrie, nedostupnost vhodných měřících postupů či zařízení apod. Obecně lze říci, že simulovat lze vše, co umíme vhodným způsobem popsat. Pro simulace v MKP je nutné znát fyzikální principy jevů a dějů a ty umět matematicky formulovat. MKP pak představuje vhodný nástroj pro řešení takto popsaného problému. [13]

Inženýrské simulace vlastností textilních materiálů jsou do značné míry problematické. Důvodů je hned několik, zejména se jedná o nelineární chování materiálu při jeho zatěžování, nízkou ohybovou tuhost, která vede k vysokým deformacím, při malých zatíženích i fakt, že jsou vyráběny téměř výhradně z polymerů, které taktéž vykazují velmi specifické chování. Komerční programy MKP byly dlouho dostupné jen pro materiály, jejichž chování je popsáno Hookovým zákonem při malých přetvořeních. Tento popis je pro textilie nevhodný, protože v tomto stavu se textilie běžně nevyskytují. Teprve s rozvojem programů MKP s algoritmy umožňujícími řešit velká přetvoření a materiály s nelineárním chováním bylo umožněno řešit i materiály textilní. V současné době tak lze řešit úlohy, ve kterých jsou textilie využívány, jako je simulace nafukování airbagů, chování textilních potahů sedaček, pevnosti švů, splývavost oděvů a mnoho dalších. [13]

Prostřednictvím MKP lze řešit: [13]

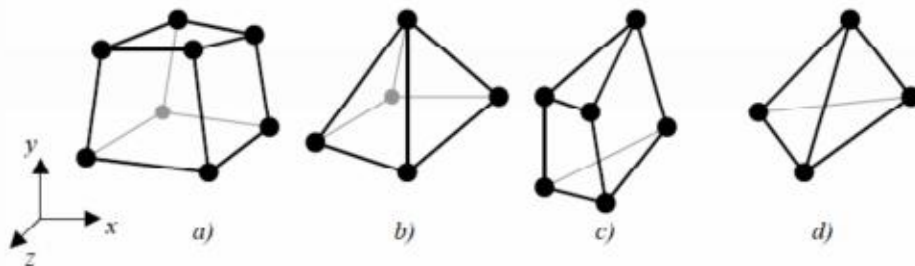
- mechanické vlastnosti struktur, materiálů, látek a to jak lineárních i nelineárních
- studovat šíření trhlin v materiálu
- kontaktní a vazbové interakce
- geometrické a fyzikální nelinearity
- biomechanické úlohy (např. analýzy interakce člověka se sedačkou, proudění krve v tkáních, ...).
- studovat přestupy a vedení tepla
- proudění kapalin (štěrbiny, póry, potrubím)
- statické, kvazi-statické a dynamické děje

Výhodou MKP je, že lze měřit „neměřitelné“ (např. kontakty mezi vlákny, šíření napětí v trhlině textilie). Nevýhodou jsou vysoké požadavky na hardware, především operační paměť, výkon, procesoru i výkon grafické karty. V případech řešení složitých úloh je náročné jejich správné definování. V takových případech jsou nutné i hlubší znalosti mechaniky kontinua. [13]

Avšak program MKP vyřeší jen tu úlohu, kterou mu ve vstupních datech zadal uživatel. Správný program přiřadí vstupům formálně nezávadně odpovídající výsledky, tj. dobrým vstupům dobré, vadným špatné. Základem pro využití těchto programů je správná tvorba výpočtového modelu, za který zodpovídá uživatel. [27]

V matematickém pojetí MKP tkví matematická podstata v tzv. diskretizaci úlohy, což znamená přibližné hledání konečného počtu prvků vedoucí na řešení soustav algebraických lineárních rovnic. [27] Povrch či objem geometrie se pokryje sítí konečných prvků (strukturované, mapované, adaptivní sítě). Volba sítě je závislá na mnoha faktorech, zejména na způsobu aplikovaného řešení. [13]

Na model pokrytý sítí se aplikují počáteční podmínky (geometrické, silové, počáteční). Dále se definují vstupní parametry (materiálové modely, experimentální data...). Na závěr je ještě nutné zadat vstupní parametry analýzy a definování řešiče, vyhodnotit předpokládaný čas výpočtu. Získané výsledky je pak nutné vhodně a správně prezentovat, případně porovnat s provedenými experimenty a model dále optimalizovat.[13]



Obrázek 10.: Ukázka tvaru prvků a uzlů [29]

3.1 Tvorba materiálového modelu

Tvorba materiálového modelu se řídí materiálovými charakteristikami daného vzorku. Pro samotnou tvorbu modelu je důležité znát význam určitých vlastností materiálu.

3.1.1 Rozdělení lineárních elastických materiálů

Materiál je **izotropní**, jsou-li všechny jeho mechanické a teplotní vlastnosti ve všech směrech stejné. Izotropní materiály mají homogenní nebo nehomogenní mikroskopické struktury. Ocel například vykazuje izotropní vlastnosti, ačkoli je její mikroskopická struktura nehomogenní. [28]

Materiál je **ortotropní**, jsou-li jeho mechanické a teplotní vlastnosti jedinečné a nezávislé ve třech vzájemně kolmých směrech. Příkladem ortotropního materiálu je dřevo, mnoho druhů krystalů a válcované plechy. [28]

3.1.2 Lineární (elastická) statika

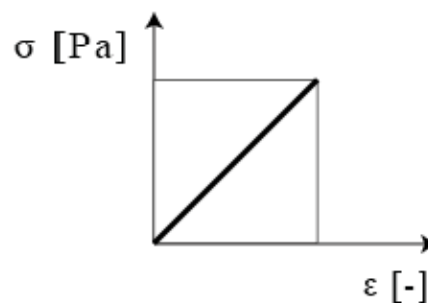
Lineární statika se využívá mimo jiné při pevnostní kontrole konstrukce, rozložení tlaku v nádobě, studii ohybu a protažení vlákna, atd. Je omezena jen na lineární oblasti (vratné deformace, malá přetvoření popsané Hookovým zákonem. [13]

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

E = Yongův modul pružnosti [Pa]

σ = napětí [Pa]

ε = deformace [-]



Obrázek 11.: Hookův zákon [13]

3.1.3 Nelineární statika

Nelineární statika se zavádí tam, kde lineární analýzu nelze aplikovat nebo by řešení neodpovídalo „skutečnému“ rozložení deformace a napětí. Jedná se o oblasti, kde neplatí Hookův zákon neboť je to děj, kdy tuhost materiálu nebo působíště sil se během přetvoření výrazně mění. Jedná se zejména o řešení problémů, jako jsou:

- Velké deformace a přetvoření, tj. geometrická nelinearita, materiálová nelinearita, plasticita, viskoelasticita, viskoplasticita, creep a jiné.

- Kontaktní úlohy, tj. stlačování vzorku materiálu, pohyb textilie po podložce, vůle mezi ložiskem a hřídelí a další. [13]

3.1.4 Materiálové modely pro hyperelastické materiály

Hyperelastické materiály lze studovat prostřednictvím konstitutivních modelů. K nim patří především tyto modely: [13]

- Neo-Hookův
- Arruda-Boyce
- Ogdenův
- Mooney-Rivlinův další

Neo-Hookův model je konstitutivní model hyperelastického materiálu, je podobný Hookovu zákonu a může být použit pro odhad nelineárních závislosti napětí na přetvoření i za předpokladu větších deformací. [13]

Mooney-Rivlinův model popisuje hyperelastické chování materiálů, kde funkce hustoty deformační energie je lineární kombinací dvou redukovaných invariantů Cauchy-Greenova tenzoru přetvoření. Využívá se pro popis nelineárního chování pryží, polymerů, biologických látek. [13]

Arruda – Boyceův model je konstitutivní model používaný pro popis mechanického chování pryže a jiných polymerních materiálů. Je založen na statistické mechanice materiálu. Reprezentativním objemem je krychlový element, jenž obsahuje osm řetězců podél jeho diagonálních směrů. Předpokladem je nestlačitelnost materiálů.

Ogdenův model je konstitutivní model používaný pro popis hyperelastických materiálů. Využíván je především pro popis nelineárního chování pryží, polymerů a biologických látek. Je popsán pomocí funkce vyjadřující hustotu deformační energie. Předpokladem je izotropnost a nestlačitelnost popisovaného materiálu. [13]

Pro simulaci v této práci byla vybrána kombinace Neo- Hookův a Mooney-Rivlinův model, které jsou nejvhodnější k simulaci textilních materiálů.

3.2 Ansys

Pro tuto práci bude využit systém Ansys Workbench z důvodu jeho dostupnosti a výuky na Technické univerzitě v Liberci. Výuka probíhá pod vedením Katedry strojní v rámci mezioborových studií.

ANSYS [31] je obecně nelineární, multifyzikální program zahrnující strukturální a termodynamickou analýzu, analýzu proudění kontinua, analýzu elektrostatických a elektromagnetických polí a akustické analýzy. Veškeré tyto analýzy lze provádět jednotlivě, ale díky multifyzikálnímu pojetí programu **ANSYS** je lze také zahrnout do jediné, společné analýzy. **ANSYS** umožňuje nejen kontrolní výpočty, ale díky parametrizovaným výpočtovým modelům i citlivostní a optimalizační analýzy a rovněž výpočty spolehlivosti.

Experimentální část

Na základě informací získaných v rešeršní části je vytvořena konstrukce sportovní podprsenky. Pro samotnou konstrukci byla vybrána kombinace dvou konstrukčních metodik a to metodika Müller a Sohn [15] a Vrba [16].

4. Metoda stanovení konstrukčních algoritmů pro tvorbu střihu dámské sportovní podprsenky bežešvou technologií

Vstupní konstrukční parametry odpovídají velikosti 38. [21]

Tabulka 3.: Hlavní konstrukční rozměry

vp	oh	op	os	zhp	dz
168 cm	88 cm	70 cm	94,5 cm	20,2 cm	41,2 cm

Vrba pro tvorbu střihové konstrukce podprsenky používá pouze $\frac{1}{2}$ obvod hrudníku a $\frac{1}{2}$ obvod pod prsy, proto jsou pro konstrukci podprsenkového koše použity rozměry z výzkumu Musilové, kde bylo měřeno 602 českých žen. [19]

Tabulka 4.: Konstrukční rozměry pro tvorbu podprsenkového koše, pro velikost 75 A. [19]

Košiček	T17	T16	T46	T46a	T35b
A	75 cm	88 cm	18,2 cm	21,2 cm	7,6 cm

Kde:

T17- podprsň obvod hrudníku

T16- obvod hrudníku

T46- mezipsň šířka I, měří se jako přímá vzdálenost mezi prsními body.

T46a- mezipsň šířka II, měří se mezi prsními body s dotykem měřicí pásky na hrudní kost

T35b- délka od prsního bodu po podprsň bod

Tabulka 5.: Výpočet pomocných konstrukčních rozměrů

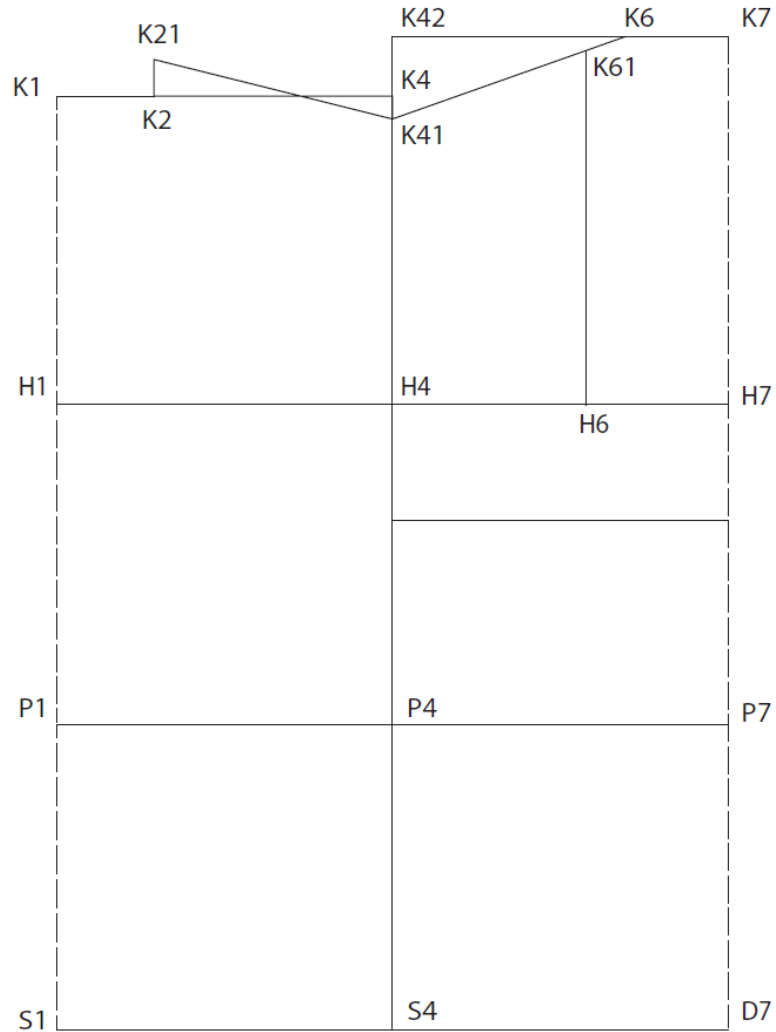
Rozměr	Výpočet	Hodnota
špk	0,05 oh+2	6,4 cm
zvpd	0,05 oh	3,9 cm
hs	dz + zhp	61,2 cm

V tabulce 6 je popsán algoritmus pro tvorbu základní konstrukční sítě rozvinutého povrchu těla z 3D do 2D. Střih je symetrický proto se rýsuje $\frac{1}{2}$ ZD + $\frac{1}{2}$ PD.

Tabulka 6.: Algoritmus tvorby konstrukční sítě

Konstrukční krok	Konstrukční úsečka	Název konstrukčního rozměru	Konstrukční parametr	Hodnota
1.	1	Zadní středová přímka		
2.	$k \perp 1 \rightarrow K1$	Krční přímka		
3.	K1 H1	Zadní hloubka podpaží	zhp	20,2 cm
4.	K1 P1	Délka zad	dz	41,2 cm
5.	K1 S1	Hloubka sedu	hs	61,2 cm
6.	$p,s \perp 1$	Pasová přímka, sedová přímka		
7.	H1 H7	Šířka zadního a předního dílu	0,5 oh	44 cm
8.	H1 H4	Šířka zadního dílu	0,5 H1 H7	22 cm
9.	$h \perp 7$	Přední středová přímka		
10.	$h \perp 4$	Boční přímka		
11.	K1 K12	Šířka průkrčníku zadního dílu	špk	6,4 cm
12.	K2 K21	Zvýšení průkrčníku zadního dílu	$k = 2,4$	2,4 cm
13.	K4 K41	Sklon náramenice	$k = 1,5$	1,5 cm
14.	K13 K41	Ramenní linie zadního dílu		
15.	K4 K42	Zvýšení předního dílu	zvpd	3,9 cm

16.	K7 K6	Šířka průkrčníku předního dílu	špk + 0,5	6,9 cm
17.	K6 K41	Ramenní linie předního dílu		
18.	H7 H6	Prsní bod	0,1 oh + 0,5	9,3 cm
19.	H7 H71	Podprsňní přímka		7,6 cm

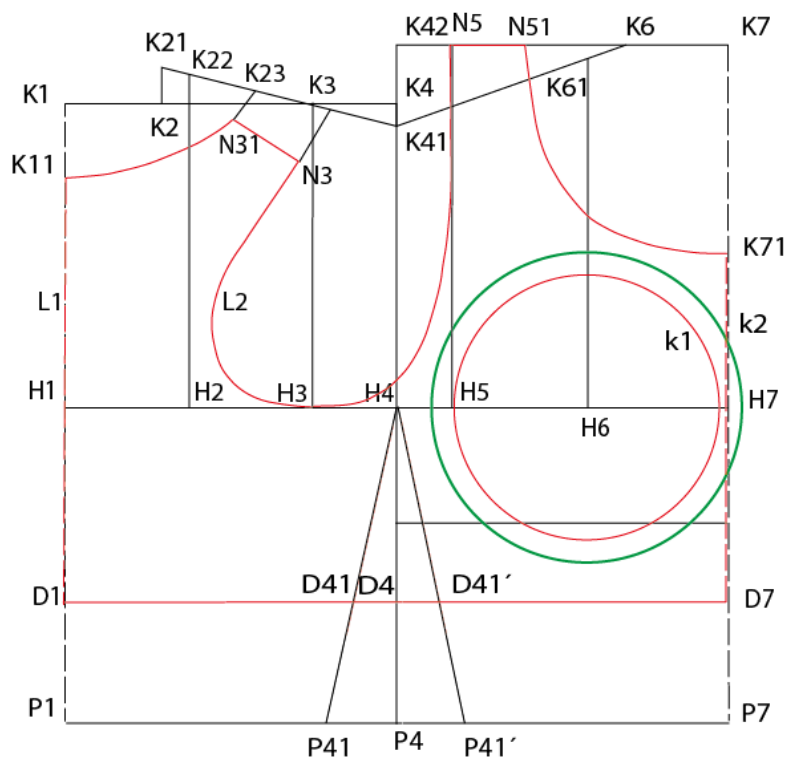


Obrázek 12.: Základní konstrukční síť. Měřítko 1:5

V tabulce 7 je popsán konstrukční algoritmus pro tvorbu základního střihu dámské podprsenky - rozvinuté části povrchu těla, kterou pokrývá podprsenka.

Tabulka 7.: Algoritmus pro tvorbu modelové úpravy podprsenky

20.	H1 H3	Šíře zad	0,125 oh + 5,5	16,5 cm
21.	H \perp 3	Zadní průramková přímka		
22.	H3 H5	Šíře průramku	0,128 oh – 1,5	9,5 cm
23.	H \perp 5	Přední průramková přímka		
24.	K1 K11	Snížení krční přímky ZD		5 cm
25.	n \perp K11 K2	Sklon náramenice		
26.	K2 N3	Šíře náramenice	1/20 oh	4,4 cm
27.	K11 D1	Délka zadního dílu		28 cm
28.	P4 P41	Šíře pasového vybrání		4,5 cm
29.	K11 D1 P41 H4 N3 K2 K11	Vykreslení zadního dílu		
30.	k1 (H6 1/2T46- 0,3)	Vykreslení prsního koše. Meziprsní šířka - přímá	1/10 oh	8,8 cm
31.	k2(H6 1/2T46a-0,3)	Vykreslení prsního koše. Meziprsní šířka s dotykem na hrudní kosti		10,3 cm
32.	P4 P41'	Šíře pasového vybrání		4,5 cm
33.	K7 K71	Snížení průkrčníku předního dílu		13,5 cm
34.	K7 N6	Šířka průkrčníku předního dílu	Špk + 1,5	7,9 cm
35.	N5 N6	Šířka náramenice předního dílu		5 cm
36.	K71 D7 D41' H4 N5 N61 K71	Vykreslení předního dílu		

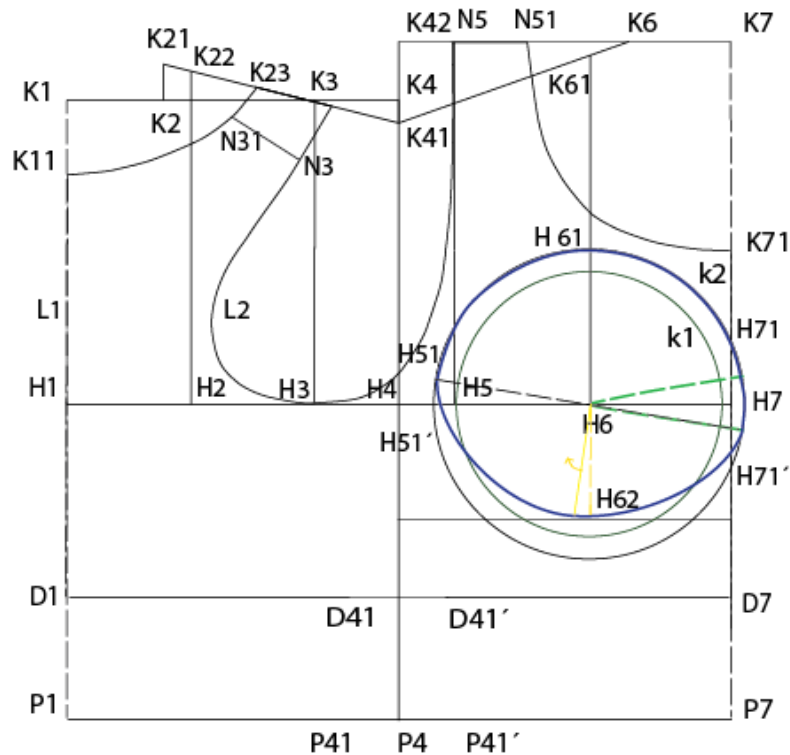


Obrázek 13.: Modelová úprava podprsenky, měřítko 1:5

Obvod kružnice $k1 = 55,3\text{cm}$.

Obvod kružnice $k2 = 64,72\text{ cm}$.

Obrys navržené podprsenky je vyznačen červeně.

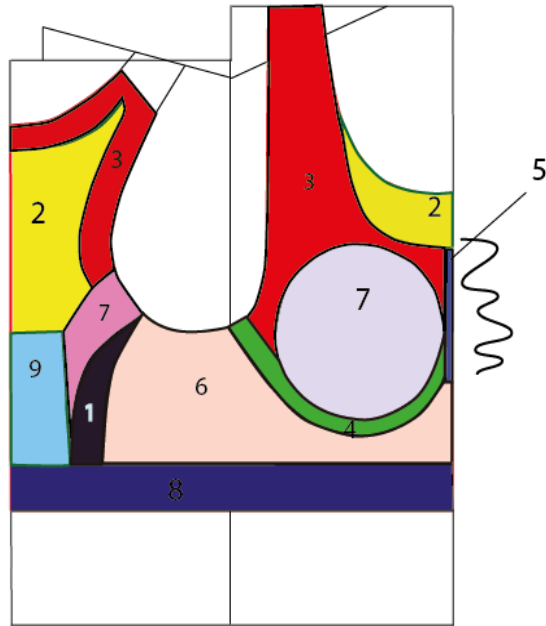


Obrázek 14.: Modelová úprava prsního koše, měřítko 1:5

Rozdíl obvodu kružnic je 14,56 % → modrou kružnice k2 je nutné zpracovat na místo vnitřní kružnice k1, čímž dojde k tvarování pro prsní vystouplost. Přenést vybrání na jednu stranu, v místě vybrání vytvořit řasení v šířce 1cm. Spodní část koše má zmenšenou výšku podle rozměru Musilové, [19] upravená vzdálenost odpovídá vzdálenosti prsního bodu a podprsního bodu což je 7,6 cm. Prsní koš je nutné plést tak nastavenou vazbou, aby se srážel o stejnou hodnotu v příčném i v podélném stavu.

Tvarové řešení střihu sportovní podprsenky je vyrobené bezešvou technologií. Dílčí konstrukční rozměry viz *Tabulka 4*. Předpokládaná redukce vstupních konstrukčních parametrů v příčném směru je 34 %, v podélném směru 10 %. [23]

Použité vazby pro podprsenku byly vybrány na základě poskytnutých vzorků výrobní firmou Pumax. Vzorky byly poskytnuty z aktuální kolekce, kterou měla podprsenka doplnit. Jednotlivé vazby byly vybrány a pro snadnou komunikaci s výrobním podnikem vyfoceny. Zvolené vazby jsou označeny a očíslovány viz PŘÍLOHA A.



Obrázek 15.: Vysrážená konstrukce s barevným vymezením zón v měřítku 1:5

Tabulka 8.: Barevné označení jednotlivých vazeb

	Vazba 1
	Vazba 2
	Vazba 3
	Vazba 4
	Vazba 5
	Vazba 6
	Vazba 7
	Vazba 8
	Vazba 9

4.1 Stanovení šířkových rozměrů tvaru dámské podprsenky pletené bezešvou technologií

Pro proporční rozdělení šířky konstrukce na hrudní linii byly zjištěny koeficienty, pomocí kterých lze stanovit jednotlivé konstrukční parametry za předpokladu, že známe průměr vzorku pleteniny a předpokládanou roztažnost.

Postup je demonstrován na zvolené velikosti 38, kde $oh = 88\text{cm}$; $H1 H7 = 44\text{cm}$

A) Šířka zadního dílu (šz):

1.....44 cm

x16,5 cm

$0,125 oh + 5,5\text{cm} = 16,5\text{cm}$

$x = 0,375$ koeficient pro stanovení šz

B) Šířka průramku (špr): 144 cm <u>x 9,5 cm</u>	0,128 oh – 1,5cm = 9,5cm x = 0,216 koeficient pro stanovení špr
C) Přední šířka (přš): 144 cm <u>x18 cm</u>	0,25 oh – 4cm = 18cm x = 0,409 koeficient pro stanovení přš
D) Prsní bod 144 cm <u>x9,3 cm</u>	0,1 oh + 0,5cm = 9,3cm x = 0,211 koeficient pro stanovení prsního bodu
E) Poloměr vnitřního koše 144 cm <u>x8,8 cm</u>	0,1 oh = 8,8cm x = 0,2 koeficient pro stanovení poloměru vnitřního koše
F) Poloměr vnějšího koše 144 cm <u>x10,3 cm</u>	0,225 oh -9,5 cm = 10,3cm x = 0,234 koeficient pro stanovení poloměru vnějšího koše

4.2 Materiálové složení podprsenky

Materiálové složení podprsenky bylo použito podle návrhu zpracovatelské firmy Pumax a to tak, aby materiálové složení podprsenky odpovídalo materiálovému složení aktuální kolekce.

Složení je: PA66 78 dtex/68 filamentů/1 jednoduchá příze S zákrut.

PA66 78dtex/68 filamentů/1 jednoduchá příze Z zákrut.

Spandex: 17dtex+PA6 20/7/1 SCY jednoduše ovíjená (elastomerní jádro je obtočeno jednou přízí, 1000 obtočení na 1 metr). Tento materiál v navržené košíčkové vazbě byl poskytnut k dalšímu testování v rámci této diplomové práce.

V průběhu vývoje podprsenky bylo zjištěno, že daný materiál není vhodný k přímému kontaktu s citlivou pokožkou dámského poprsí, pokožka byla podrážděná, objevily se potničky a další nežádoucí reakce. Na základě tohoto zjištění bylo po dohodě s podnikem upraveno materiálové složení podprsenky na:

PA66 44dtex/34 filamentu/1 jednoduchá příze S zákrut.

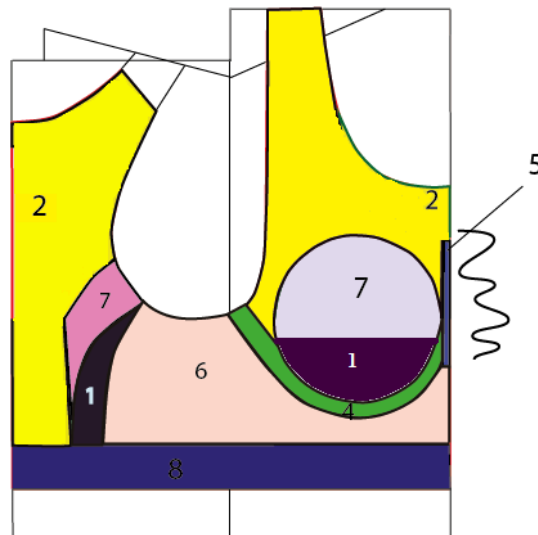
PA66 44 dtex/34filamentů/1 jednoduchá příze Z zákrut.

Spandex: 20dtex +PA66 20 dtex/20 filamentů /1 SCY jednoduše ovíjená (elastomerní jádro je obtočeno jednou přízí, 1000 obtočení na 1 metr).

Změna materiálu byla provedena až v závěru experimentálního testování navržené podprsenky, proto je další testování prováděno na vzorcích s původním materiálovým složením.

4.3 Vývoj prototypu podprsenky

Po naplacení prvních vzorků podprsenky se ukázala volba některých vazeb jako nepříliš vhodná, docházelo ke kroucení podprsenky kolem průkrčníků a průramků. Z tohoto důvodu bylo navrženo zjednodušení zónového rozvržení podprsenky.



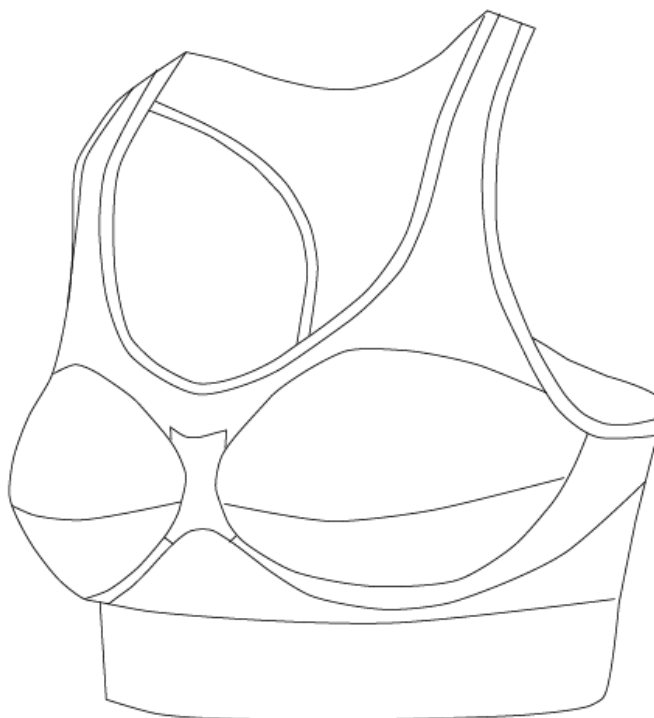
Obrázek 16.: Úprava podprsenky- zjednodušení zónování

Po vzorcích podprsenky bylo změřeno skutečné vysrážení materiálu a to 37,05% v příčném směru, v podélném směru se vazby sráží různě, viz *tabulka 9*, tyto srážky materiálu byly po konzultaci s odborníky z firmy Pumax přidány do konstrukce, tak aby

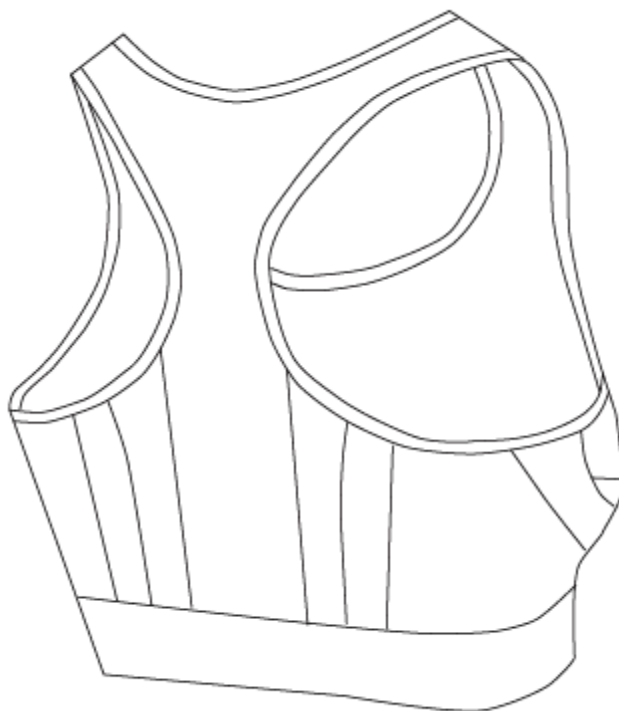
po zhotovení výrobku měla podprsenka odpovídající rozměry a dobře seděla na těle. Na základě vzorků došlo k úpravě konstrukce podprsenky a to zvýšení šířky lemu podprsenky, prodloužení ramínek PD, zúžení ZD v mezilopatkové oblasti, rozdělení podprsenkového koše horizontálním směrem na 2 vazby, přičemž spodní část podprsenkového koše byla nahrazena vazbou 1 a zóna č. 4 byla rozšířena směrem k bočnímu kraji. Vazba 1 a 7 na ZD byly v poslední fázi vývoje zjednodušeny do podoby svislých pruhů, jak je patrné z technického nákresu na *obrázku 18*. Tyto změny byly zaznamenány do konstrukce a podprsenka byla uvedena firmou Pumax do výroby.

Tabulka 9.: Srážky vazeb v podélném směru

vazba	Srážka materiálu [%]
2	48,4
7	43
6 +8	28,56



Obrázek 17.: Technický nákres podprsenky PD



Obrázek 18.: Technický nákres podprsenky ZD



Obrázek 19.: Navržená podprsenka PD



Obrázek 20.: Navržená podprsenka ZD

5. Experimentální testování použitého textilního materiálu pro tvorbu podprsenkového koše

5.1 Zjišťování hmotnosti materiálu

Pro zjištění hmotnosti byly použity laboratorní váhy EG 300 od společnosti KERN s přesností 0,001g. Bylo provedeno 10 měření vzorku o velikosti 10 x 10 cm a data byla statisticky zpracována. Výsledky z jednotlivých měření jsou uvedeny v *PŘÍLOZE B*.

Tabulka 10.: Měření hmotnosti [g]

Hmotnost [g]	\bar{x}	s^2	s	var [%]	(95%)IS
	2,724	0,001	0,036	1,317	2,702 - 2,746

Na základě měření hmotnosti byla vypočítána plošná hmotná hmotnost testovaného materiálu.

Vzorec pro výpočet plošné hmotnosti:

$$M = \frac{m}{A} \quad (5)$$

Kde: M= plošná hmotnost [g/m^2]

m= hmotnost [g]

A= plocha [m^2]

Po dosazení do vzorce byla vypočítána plošná hmotnost 272,4 g/m^2 . Zjištění plošné hmotnosti je potřebné s měřením tloušťky pro výpočet hustoty zkoumaného materiálu.

5.2 Zjišťování tloušťky materiálu

Měření bylo provedeno na digitálním tloušťkoměru SDL M034A. Tloušťka byla měřena z náhodně vybrané plochy poskytnutého materiálu. Měření bylo provedeno podle normy ČSN EN ISO 5084 (80 0844) a bylo opakováno 10 krát. Plocha přitlačné čelisti byla 20 cm^2 a tlak 1000 Pa. Výsledky z jednotlivých měření jsou uvedeny v *PŘÍLOZE C*.

Tabulka 11.: Měření tloušťky [mm]

Tloušťka [mm]	\bar{x}	s^2	s	var [%]	(95 %) IS
	1,242	0,0002	0,014	1,127	1,233 - 1,251

5.3 Namáhání materiálu na tah metodou STRIP

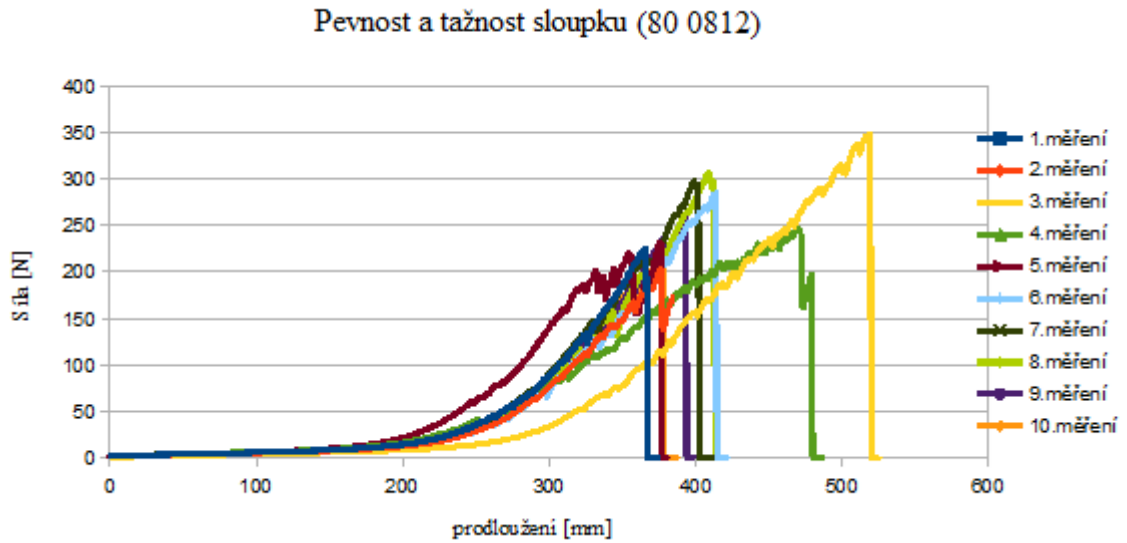
Testování materiálu bude probíhat podle normy ČSN EN ISO 13934-1 (80 0812) Tahové vlastnosti plošných textilií – Část 1: Zjišťování maximální síly a tažnosti při maximální síle pomocí metody Strip. Tato metoda byla zvolena z důvodu uvažování o zkoumaném materiálu jako o textilním kontinuu i když není primárně určena pro pleteniny. Vzorky byly testovány ve směru sloupku, řádku a diagonálně pod úhlem 45°. Rychlost posuvu čelistí byla nastavena na 100 mm/min, předpětí 2 N. Šířka vzorku 50 mm a upínací délka 200 mm. Po provedení prvních dvou měření bylo zjištěno, že materiál má natolik velkou tažnost, že nebyl přetržen, proto byla upínací délka zkrácena na 100 mm u sloupku a u řádku, v diagonálním směru byla ponechána upínací délka vzorku 200 mm, zde nebylo potřeba vzorek přetrhnout.

5.3.1 Namáhání po sloupku

Měření bylo provedeno 10 krát, viz *tabulka 12*. Byla vytvořena základní statistika dat. Pro experimentální simulaci axiálního namáhání bylo vybráno měření č. 3 s nejvyšší pevností 349,57 N při největším prodloužení 520,07mm. Závislost tažnosti na pevnosti materiálu je zobrazena v *grafu 1*.

Tabulka 12.: Měření po sloupku

Měření	Nejvyšší pevnost (N)	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	224,31	366,301	261,886
2	204,16	376,889	275,969
3	349,59	520,07	520,078
4	247,26	468,67	331,042
5	233,44	376,71	254,606
6	285,67	414,283	303,139
7	298,08	399,496	295,289
8	306,91	409,77	302,882
9	257,77	393,788	290,458
10	207,34	372,36	272,827
Min.	204,16	366,301	254,606
Průměr	261,453	409,834	310,818
Max.	349,59	520,07	520,078
Směrodatná o.	47,554	48,853	76,875
Var. Koeficient [%]	18,188	11,920	24,733
Rozptyl	2261,390	2386,644	5909,809
95% IS	(231,979- 290,927)	(379,555- 440,113)	(263,171- 358,465)



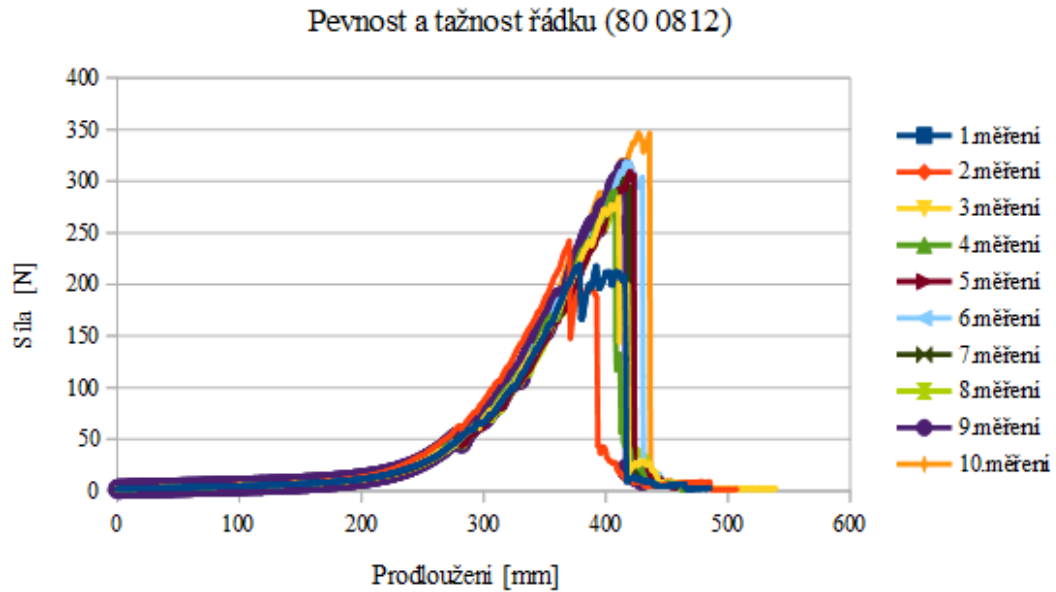
Graf 1.: Závislost pevnosti a tažnosti u sloupku

5.3.2 Namáhání po řádku

Měření bylo provedeno 10 krát, viz *tabulka 13*. Byla vytvořena základní statistika dat. Pro experimentální simulaci axiálního namáhání bylo vybráno měření č. 10. s nejvyšší pevností 347,19 N při prodloužení 426,659 mm. Závislost tažnosti na pevnosti materiálu je zobrazena v *grafu 2*.

Tabulka 13.: Měření po řádku

Měření	Nejvyšší pevnost (N)	Prodloužení při nejvyšší pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	219,53	378,795	281,2570
2	243,08	370,472	268,0600
3	284,55	410,742	303,3790
4	290,67	407,65	301,1120
5	309,64	420,307	311,8710
6	318,64	416,18	302,4770
7	304,62	416,945	314,0310
8	305,15	416,901	312,5460
9	313,83	415,803	313,1840
10	347,19	426,659	322,2630
Min.	219,530	370,472	268,060
Průměr	293,690	408,045	303,018
Max.	347,190	426,659	322,263
Směrodatná o.	37,341	18,426	16,546
Var. Koeficient [%]	12,715	4,516	5,460
Rozptyl	1394,368	339,507	273,758
95% IS	(270,546- 316,834)	(396,625- 419,466)	(292,763- 313,273)



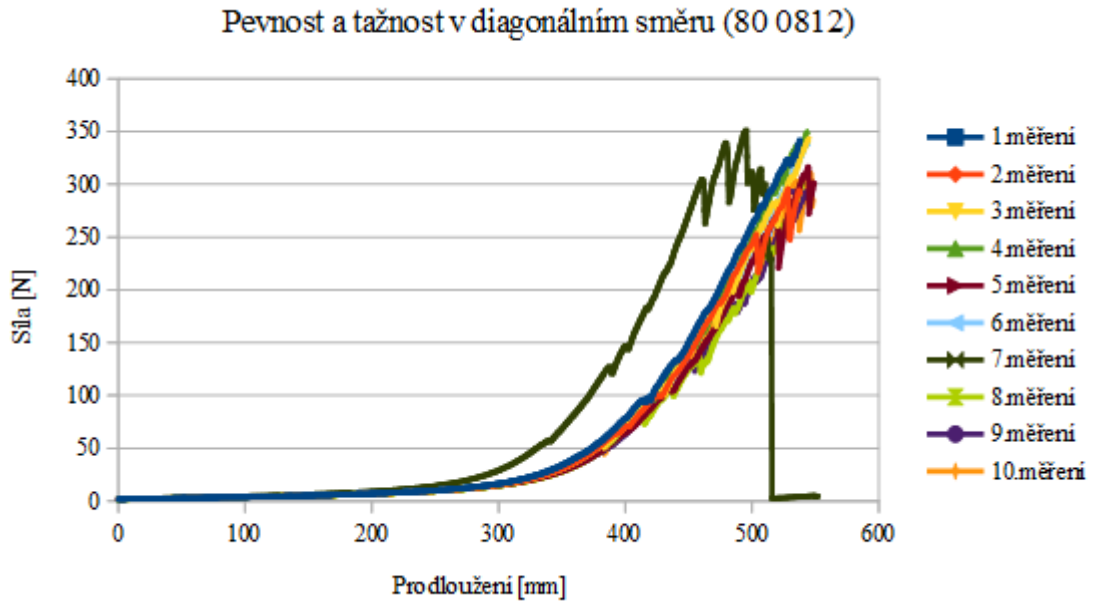
Graf 2.: Závislost pevnosti a tažnosti řádku

5.3.3 Namáhání v diagonálním směru

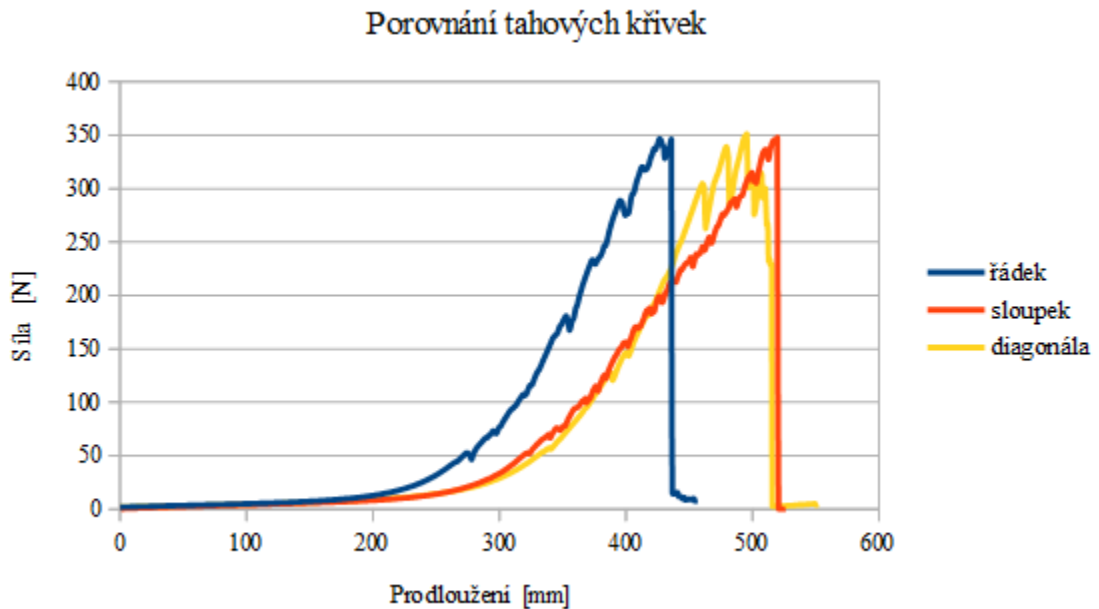
Měření bylo provedeno 10 krát, viz *tabulka 14*. Byla vytvořena základní statistika dat. Pro experimentální simulaci axiálního namáhání bylo vybráno měření č. 7. s nejvyšší pevností 352,03 N při prodloužení 495,868 mm. Závislost tažnosti na pevnosti materiálu je zobrazena v *grafu 3*.

Tabulka 14.: Měření v diagonálním směru

Měření	Nejvyšší pevnost (N)	Prodloužení při největší pevnosti (mm)	Tažnost při nejvyšší pevnosti (%)
1	343,25	538,142	187,883
2	341,723	537,729	
3	343,53	545,207	194,86
4	350,45	543,648	193,218
5	317,07	544,691	197,517
6	338,99	544,419	194,044
7	352,03	495,868	181,595
8	303,1	540,541	190,015
9	293,12	542,997	192,56
10	311,36	546,867	197,582
Min	293,12	495,868	181,595
Průměr	329,462	538,011	192,142
Max	352,030	546,867	197,582
Směrodatná o.	21,281	15,111	5,059
Var. Koefficient [%]	6,459	2,809	2,633
Rozptyl	452,876	228,340	25,591
95% IS	(316,273- 342,652)	(528,645- 47,377)	(189,006- 195,277)



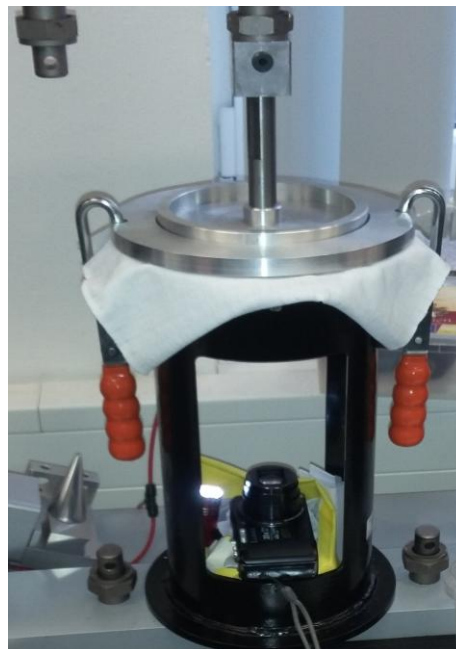
Pro porovnání je zařazen graf 4 vybraných tahových křivek, které budou teoreticky ověřeny v programu ANSYS Workbench.



5.4 Cyklické namáhání

Na základě poskytnutých vzorků firmou Pumax, byly na podprsence vymezeny jednotlivé zóny a následně jim byly přiděleny vazby dle poskytnutých vzorků, viz *obrázek 15*. Materiál použitý pro košíčkovou oblast byl testován na stroji Testometric model M350-5CT pomocí speciálního nenormovaného přípravku pro multiaxiální napětí viz *příloha D*.

Vzorek materiálu byl upnut do speciálního nenormovaného přípravku a následně byl protlačován ocelovou polokoulí do vzdálenosti 68,5mm. Velikost polokoule byla zvolena podle obvodu polokoule, jenž je totožná s obvodem prsa 21,2 cm, který vychází z mezipsní šířky s dotykem na kosti, změřené ve vědecké práci Musilové. [19] Vzorek byl opatřen sítí 10x10 mm, pro sledování roztažnosti materiálu a následné vyhodnocení pomocí obrazové analýzy. Testování probíhalo v laboratoři Katedry oděvnictví. Vzorek materiálu byl namáhán cyklickým protlačováním vzorku do hloubky 68,5 mm. Ve spodní části upínacího přípravku byla umístěna přenosná baterka pro osvětlení vzorku a standardní fotoaparát, na který byly zaznamenány videa postupu měření.



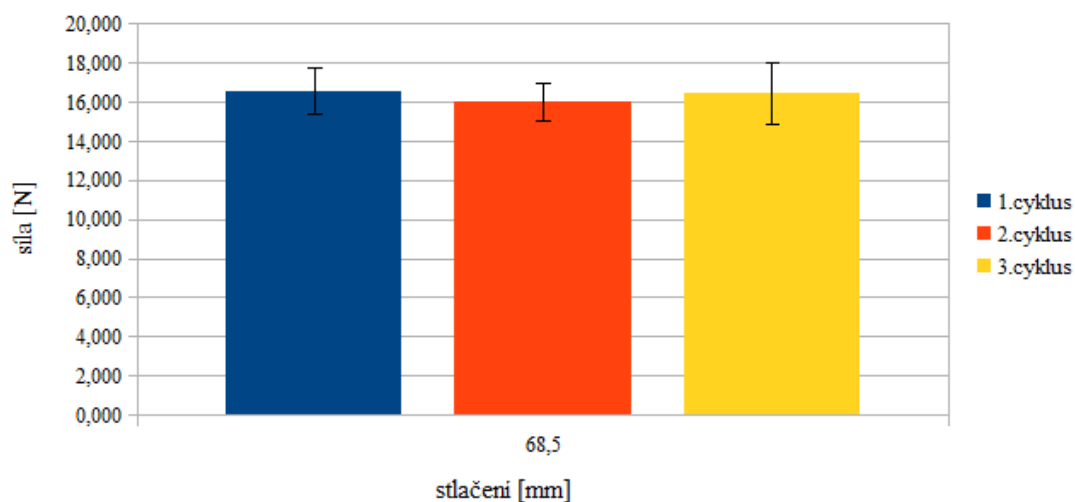
Obrázek 21.: Přípravek pro multiaxiální namáhání materiálu

Po provedení 10 měření byla změřená síla [N], která je zapotřebí pro protlačení vzorku.

Tabulka 15.: Síla při cyklickém namáhání

	1. cyklus	2. cyklus	3. cyklus
	síla [N]	síla [N]	síla [N]
Měření 1	19,247	18,016	20,639
Měření 2	17,327	15,170	16,426
Měření 3	17,327	15,170	16,426
Měření 4	15,349	16,601	16,434
Měření 5	15,717	14,486	16,304
Měření 6	17,094	15,824	14,836
Měření 7	15,629	15,831	16,569
Měření 8	15,267	16,376	16,573
Měření 9	16,449	17,184	14,433
Měření 10	16,074	15,446	16,007
Průměr	16,548	16,010	16,465
Směrodatná o.	1,168	1,000	1,564
Rozptyl [%]	1,365	1,000	2,446
Var. Koeficient	7,059	6,247	9,500
95% IS	(17,272- 15,824)	(16,630- 15,390)	(17,434- 15,495)

Cyklické namáhání vzorků



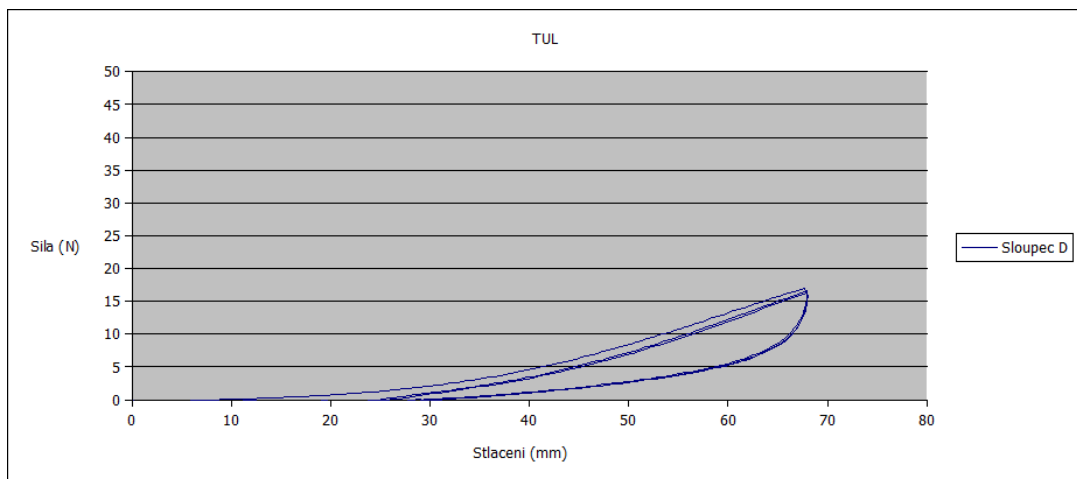
Graf 5.: Cyklické namáhání

Na základě cyklického namáhání byla vypočítána elasticita materiálu. Při testování došlo k modifikaci zkoušky, materiál nebyl natahován, ale protlačován a byla použita data získané z cyklického namáhání. Pro výpočet elasticity byl použit vzorec uvedený v kapitole 2.1.2 *Stanovení roztažnosti a elasticity*. Jak je viditelné z grafu 6, již při 2. a 3. cyklu zůstává na materiálu deformace. Záznam měření je uveden v PŘÍLOZE E.

Tabulka 16.: Deformace materiálu [mm]

Deformace materiálu [mm]	\bar{x}	s^2	s	var [%]	(95 %)IS
	25,238	0,242	0,492	1,949	(24,933- 25,543)

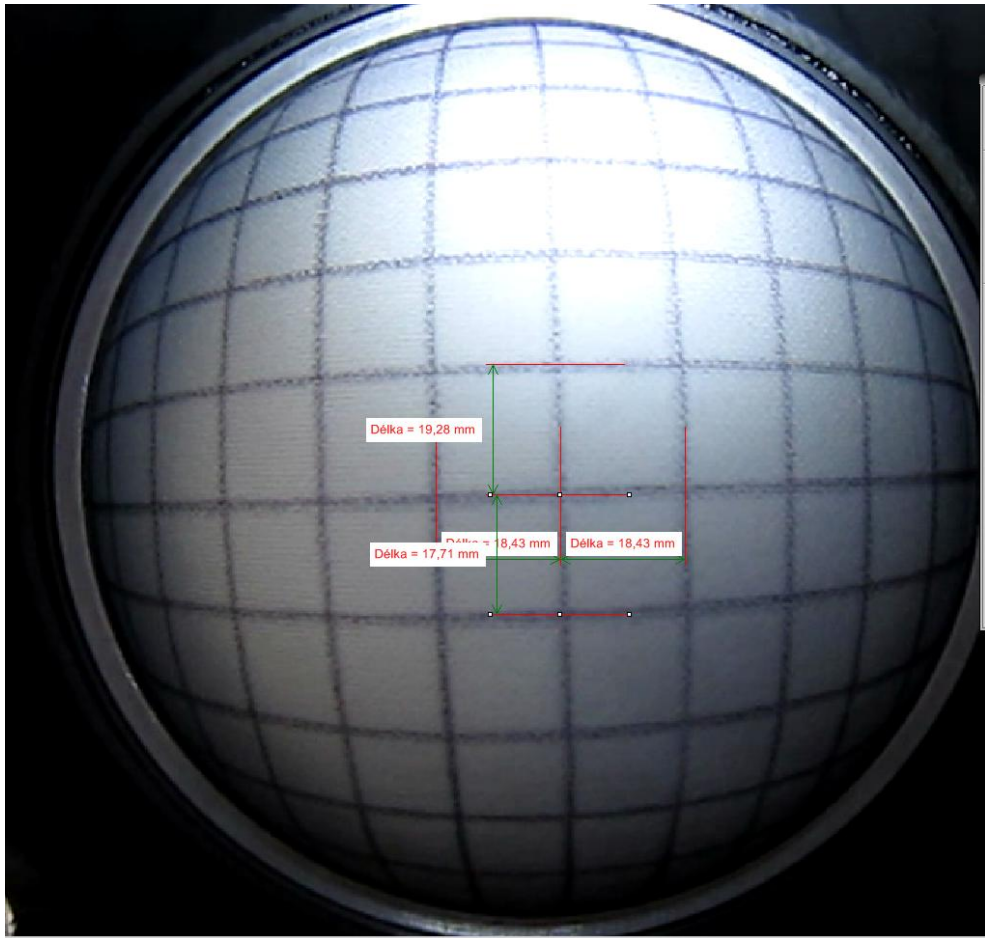
Po dosazení do vzorce byla vypočítána elasticita 62,893 %.



Graf 6.: Cyklické namáhání materiálu

5.4.1 Roztažnost materiálu

Během cyklického namáhání materiálu byl zároveň pořizován videozáznam protlačování polokoule do textilie. Textilie byla opatřena sítí 10x10 mm. Následně byly videozáznamy vyhodnoceny pomocí obrazové analýzy v programu Nis Elements viz obrázek 22. Vyhodnoceny byly vždy 2 čtverce ve středu polokoule, aby nedošlo ke zkreslení dat vlivem zakřivení polokoule a tím ke zkreslení měřených vzdáleností. Vyhodnocení proběhlo zvlášť pro sloupek a zvlášť pro řádek. Záznam dat je umístěn v PŘÍLOZE F.



Obrázek 22.: Vyhodnocení roztažnosti pomocí obrazové analýzy

Tabulka 17.: Roztažnost materiálu v podélném směru [mm]

Roztažnost materiálu	\bar{x}	s^2	s	var [%]	(95%)IS
Protlačování materiálu	19,511	0,864	0,930	4,765	(19,18- 19,84)
Uvolnění materiálu	11,625	0,254	0,504	4,336	(11,44- 11,81)

Tabulka 18.: Roztažnost materiálu v příčném směru [mm]

Roztažnost materiálu	\bar{x}	s^2	s	var [%]	(95 %) IS
Protlačování materiálu	19,427	0,928	0,963	4,958	(19,08- 19,77)
Uvolnění materiálu	11,731	0,345	0,587	5,005	(11,52- 11,94)

5.4.2 Výpočet působícího tlaku ocelové polokoule na textilií

Z průměrné hodnoty naměřených sil byl vypočítán tlak ocelové polokoule působící na textilií.

Výpočet tlaku:

$$P = \frac{F}{S} \quad (6)$$

Kde:

P = tlak [Pa]

F = síla [N]

S = plocha [m²]

Výpočet povrchu polokoule:

$$S = \frac{\pi d^2}{2} \quad (7)$$

Kde:

π = Ludolfovo číslo [-]

d = průměr polokoule [m]

Po vypočítání plochy polokoule a zadání potřebných hodnot do vzorce pro výpočet tlaku byl vypočítán tlak působící na textilií 561,28 Pa = 0,561 kPa.

6. Teoretické ověření experimentu

6.1 Výpočet hodnot pro stanovení materiálového modelu

Pro optimální provedení simulace bylo zapotřebí provést výpočty z naměřených hodnot tahových zkoušek, které definují materiálový model.

Výpočet hustoty:

$$\rho = \frac{\rho_s}{h} \quad (8)$$

Kde:

ρ = hustota [kg.m^{-3}]

ρ_s = plošná hmotnost [kg.m^{-2}]

h = tloušťka [m]

Výpočet napětí:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (9)$$

Kde:

σ = napětí [Pa]

F = síla působící na plochu [N^2]

S = plocha vzorku vztažená k průřezu textilie [m^2]

Výpočet deformace:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (10)$$

Kde:

ε = deformace [-]

l = prodloužení vzorku [m]

l_0 = upínací délka vzorku [m]

Výpočet Yongova modulu pružnosti:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (11)$$

Kde:

E = Yongův modul pružnosti [Pa]

σ = napětí [Pa]

ε = deformace [-]

Výpočet Poisonova čísla:

$$\mu = \frac{\text{příčná deformace}}{\text{podélná deformace}} \quad (12)$$

Kde:

μ = Poisonovo číslo [-]

deformace [m]

Výpočet smykového modulu:

$$G = \frac{E}{2 * (1 + \mu)} \quad (13)$$

Kde:

G = smykový modul [Pa]

E = Yongův modul pružnosti [Pa]

μ = Poisonovo číslo [-]

Některé výpočty je nutné stanovit ve 3 směrech a to XY, YZ a XZ jak je zobrazeno na obrázku 23.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Density		kg m ⁻³	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Orthotropic Elasticity			<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Young's Modulus X direction		Pa	<input type="checkbox"/>	
5	Young's Modulus Y direction		Pa	<input type="checkbox"/>	
6	Young's Modulus Z direction		Pa	<input type="checkbox"/>	
7	Poisson's Ratio XY				
8	Poisson's Ratio YZ				
9	Poisson's Ratio XZ				
10	Shear Modulus XY		Pa	<input type="checkbox"/>	
11	Shear Modulus YZ		Pa	<input type="checkbox"/>	
12	Shear Modulus XZ		Pa	<input type="checkbox"/>	
13	Uniaxial Test Data	Tabular		<input type="checkbox"/>	
14	Shear Test Data	Tabular		<input type="checkbox"/>	
15	Has Lateral Strain	No			
16	Neo-Hookean			<input type="checkbox"/>	
17	Initial Shear Modulus Mu		Pa	<input type="checkbox"/>	
18	Incompressibility Parameter D1		Pa ⁻¹	<input type="checkbox"/>	
19	Curve Fitting	Fit Type: Neo-Hookean			

Obrázek 23.: Definování materiálového modelu

Tabulka 19.: Parametry nastavení pro model

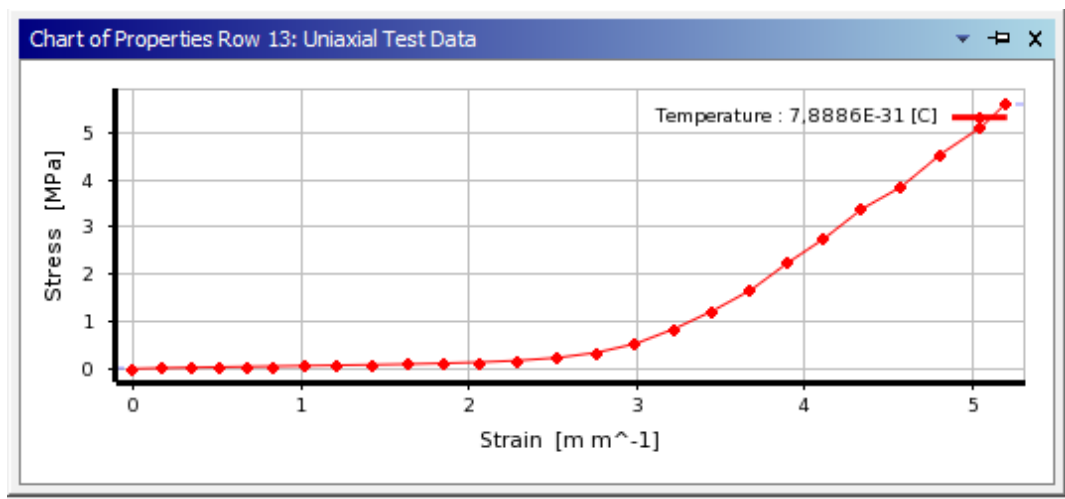
Hustota materiálu	219,67 [kg.m ⁻³]	
Napětí k průřezu	směr podélný	5,639 [MPa]
	směr příčný	5,6 [MPa]
	směr diagonální	5,679 [Mpa]
Yongův modul pružnosti	směr podélný	1,08 [MPa]
	směr příčný	1,31 [MPa]
	směr diagonální	2,298 [MPa]
Poisonovo číslo	směr podélný	0,3 [-]
	směr příčný	0,25 [-]
	směr diagonální	0,3 [-]
Smykový modul	směr podélný	0,302 [MPa]
	směr příčný	0,350 [MPa]
	směr diagonální	0,560 [MPa]

Na základě studia dostupné literatury [34] byly hodnoty Poisonova čísla pro použití v simulaci modifikovány.

6.2 Tvorba simulačního modelu pro tahové zkoušky

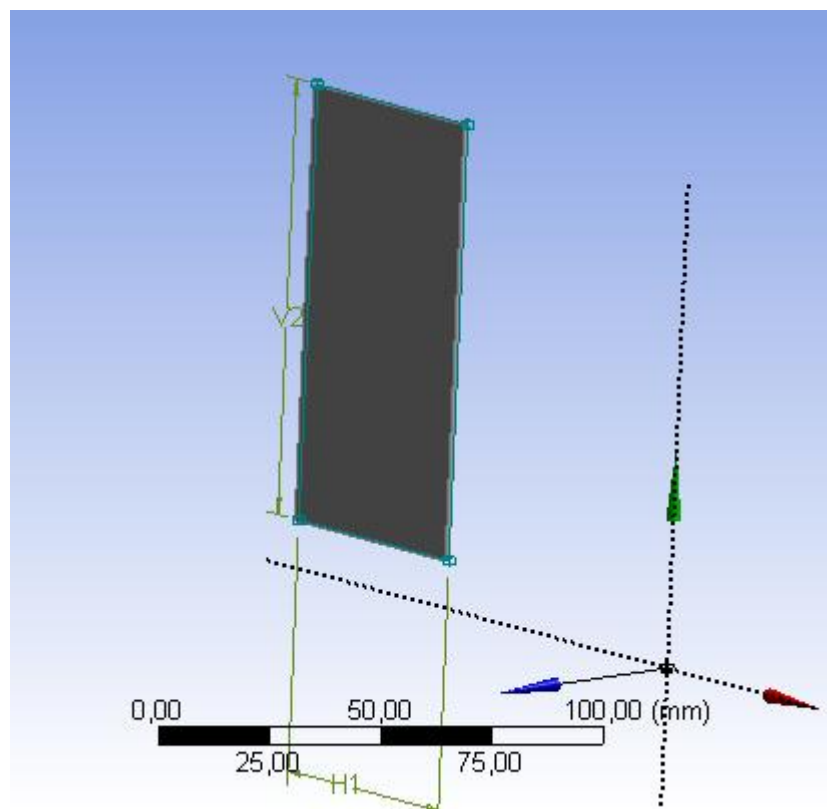
Tvorba simulačního modelu začíná vybráním definice samotné zkoušky. Pro tuto práci byla vybrána definice Transient Structural, která je vhodná pro dynamické úlohy se zobrazením časového průběhu.

V sekci Engineering Data probíhá definice materiálového modelu, viz *obrázek 23*. Uniaxiální data deformace a napětí získaná z dat tahové zkoušky byla z důvodů velkého množství zredukována. Byla použita každá 25. hodnota a vytvořena nová tahová křivka viz *obrázek 24*. Do tabulky Shear Test Data byly vloženy hodnoty z tahové křivky diagonálního směru, což mělo definovat chování materiálu namáhaného pod úhlem 45°.



Obrázek 24.: Uniaxiální data

V sekci Geometry byla vytvořena 3D geometrie namáhaného vzorku. Pro testování podélného a příčného vzorku byla velikost geometrie 50 x 100 x 1,24 mm, pro diagonální směr 50 x 200 x 1,24 mm.



Obrázek 25.: 3D geometrie

V sekci model byl solidu přidělen materiálový model, dále bylo provedeno síťování vzorku. Následně byl definován Analysis Setting. Čas byl stanoven jako $\frac{1}{2}$ délky reálné zkoušky probíhající na trhacím zařízení. Simulace byla provedena pouze 50 % délky přetruhu, protože se nepředpokládá, že byl materiál v reálném světě více napínán. Definice okrajových podmínek byla nastavena jako Fixed Support pro spodní hranu vzorku, což simuluje spodní, nepohyblivou čelist trhacího stroje. Druhá okrajová podmínka Remote Displacement byla umístěna na horní hraně vzorku, což simulovalo horní posuvnou čelist stroje. V této podmínce byla nastavena hodnota posuvu.

Tabulka 20.: Nastavení času a posuvu jednotlivých zkoušek

	Čas [s]	Posuv [mm]
Podélný směr	160	260
Příčný směr	143	213
Diagonální směr	180	247,93

Výsledné prodloužení a napětí u simulovaného vzorku musí být shodné s napětím a prodloužením u reálného vzorku. U reálného vzorku docházelo k velkému stáčení

okrajů během tahové zkoušky, proto nejsou snímky zcela totožné a nebylo možné zajistit naprosto shodný čas spuštění tahové zkoušky a nahrávacího zařízení, zde mohlo dojít k prodlení v řádu cca 3 sekund.



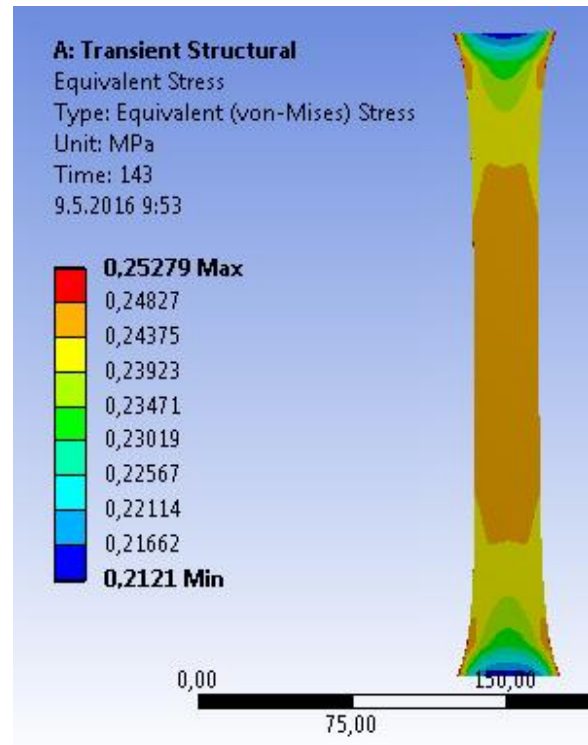
Obrázek 26.: Tahová zkouška mat. v podélném směru



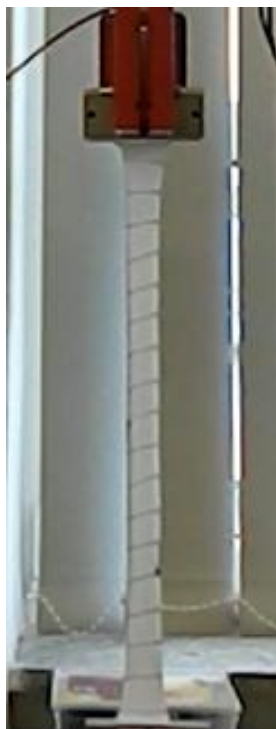
Obrázek 27.: Simulace tahové zkoušky



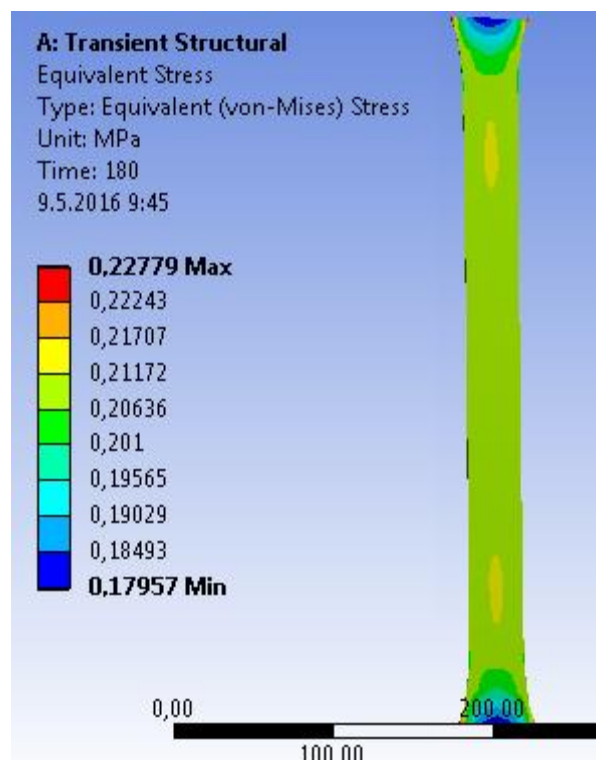
Obrázek 28.: Tahová zkouška mat.
v příčném směru



Obrázek 29.: Simulace tahové zkoušky



Obrázek 30.: Tahová zkouška mat.
v diagonálním směru

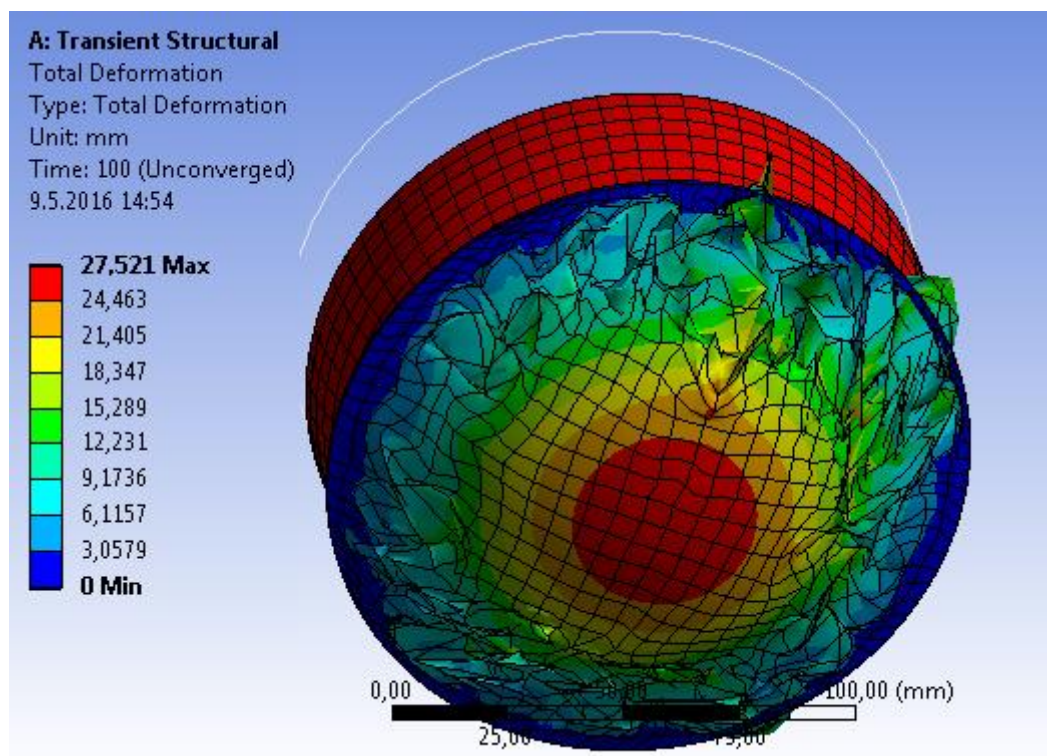


Obrázek 31.: Simulace tahové zkoušky

6.3 Tvorba výsledného modelu simulujícího oblečené prso v podprsenkovém koši

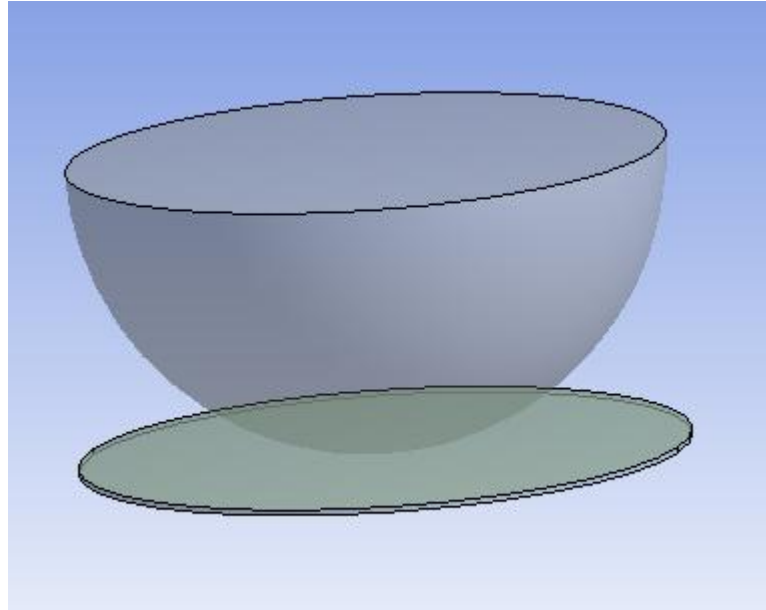
V této kapitole bude popsána tvorba výsledného simulačního modelu, který bude odpovídat reálnému měření popsanému v kapitole 5.4 *cyklické namáhání*.

Výsledný model byl vytvořen opět v programu ANSYS Workbench. Zkouška je definována pomocí Transient Structural jako zkoušky tahové. Pro výsledný materiálový model byl v sekci Engineering Data nastaven 5 parametrový Mooney-Rivlinův model, který se pro tuto simulaci lépe osvědčil. Původně bylo zamýšleno využít opět Neo-Hookův model stejně jako v případě tahových zkoušek, ale zde docházelo k narušení simulované textilie, proto byl model přepracován, viz *obrázek 32*.



Obrázek 32.: Narušená struktura textilie při použití Neo-Hookova modelu

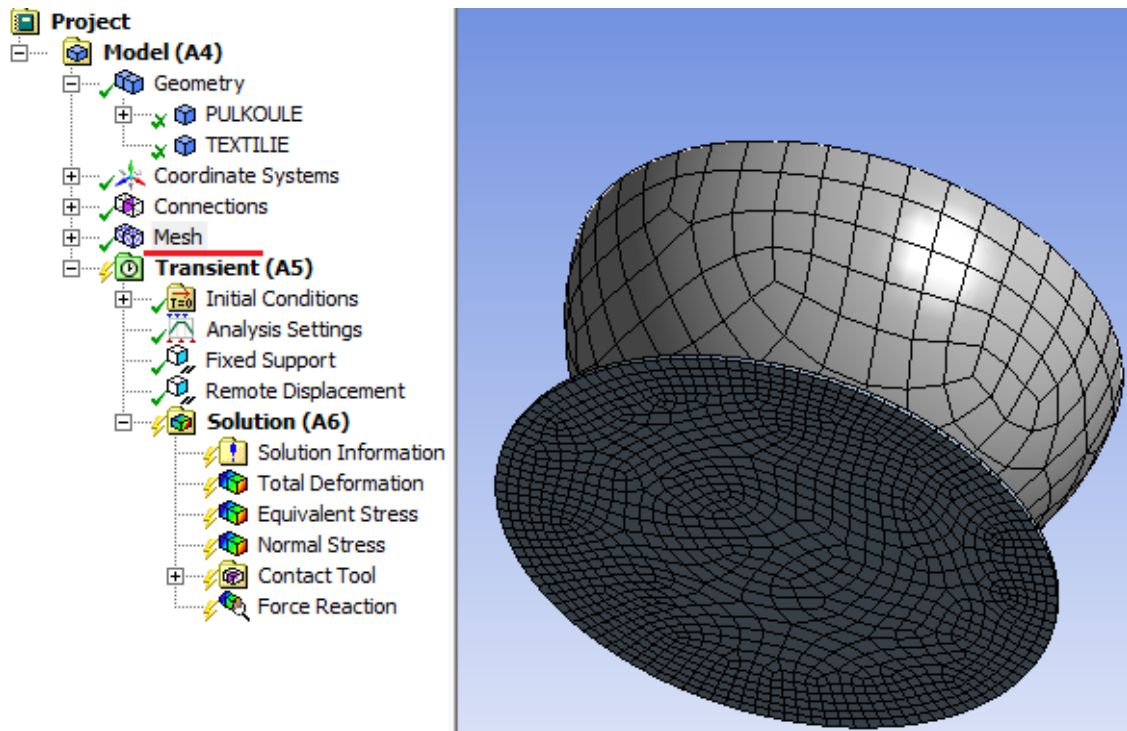
Konstanty pro nastavení 5 parametrového Mooney-Rivlinova modelu byly vypočítány řešičem v programu ANSYS na základě vložených dat uniaxiálního namáhání materiálu. Tato data pro výsledný model byla průměrovaná data z jednotlivých měření sloupku, řádku a diagonály. Geometrie v tomto případě byla vytvořená v programu Solidworks a do ANSYSU importována viz *obrázek 33*. Velikost geometrie je totožná se skutečným zařízením, na kterém bylo provedené cyklické namáhání textilie.



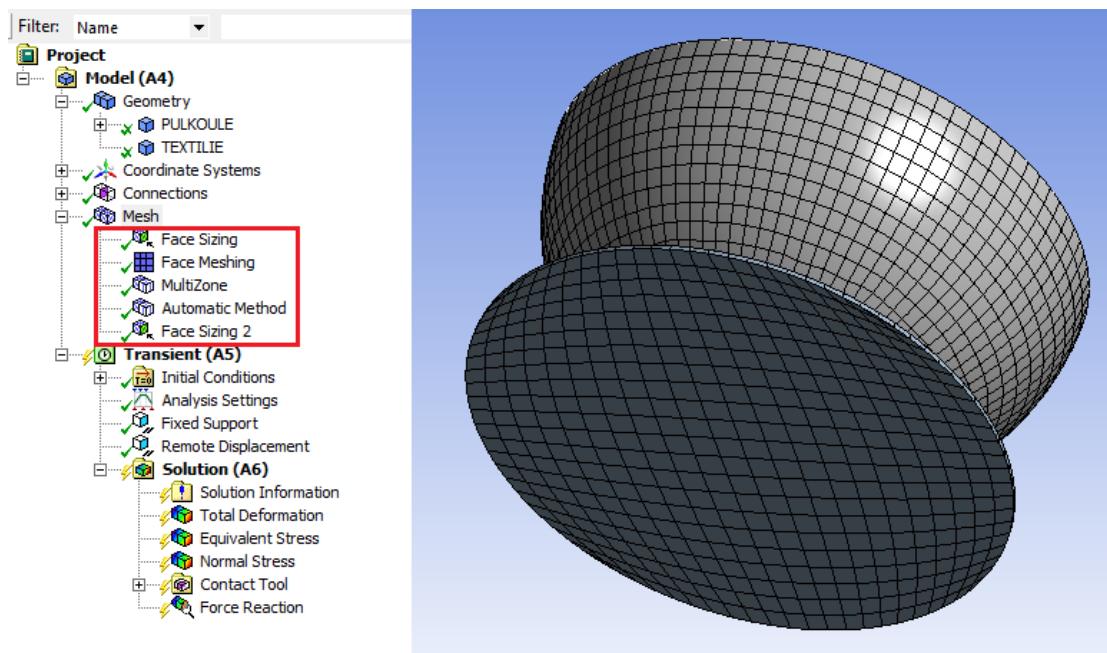
Obrázek 33.: Importovaná geometrie z programu Solidworks

V sekci Model – Geometry bylo nutné nastavit materiály solidů, pro polokouli byla nastavena Structural Steel což odpovídá reálnému experimentu. Textilie je tvořena pomocí materiálového modelu definovaném Moon-Rivlinovým modelem, vytvořeným v sekci Engineering Data.

Následně je nutné vytvořit síť elementů na vytvořenou geometrii. Nejprve byla vygenerována základní síť pomocí ikony Mesh, která se nejevila jako příliš vhodná jak je vidět na *obrázku 34*. Jednotlivé prvky nebyly stejně velké, což může vést k nepřesnému výpočtu. Proto byla vytvořena nová síť. Ta byla definována pomocí příkazů, které rozšiřují nastavení ikony Mesh na *obrázku 35* a jsou označeny červeně. Nově vytvořené síťování je vytvořeno pomocí 5 mm elementů, což zajistí dostatečně přesný výpočet simulace.



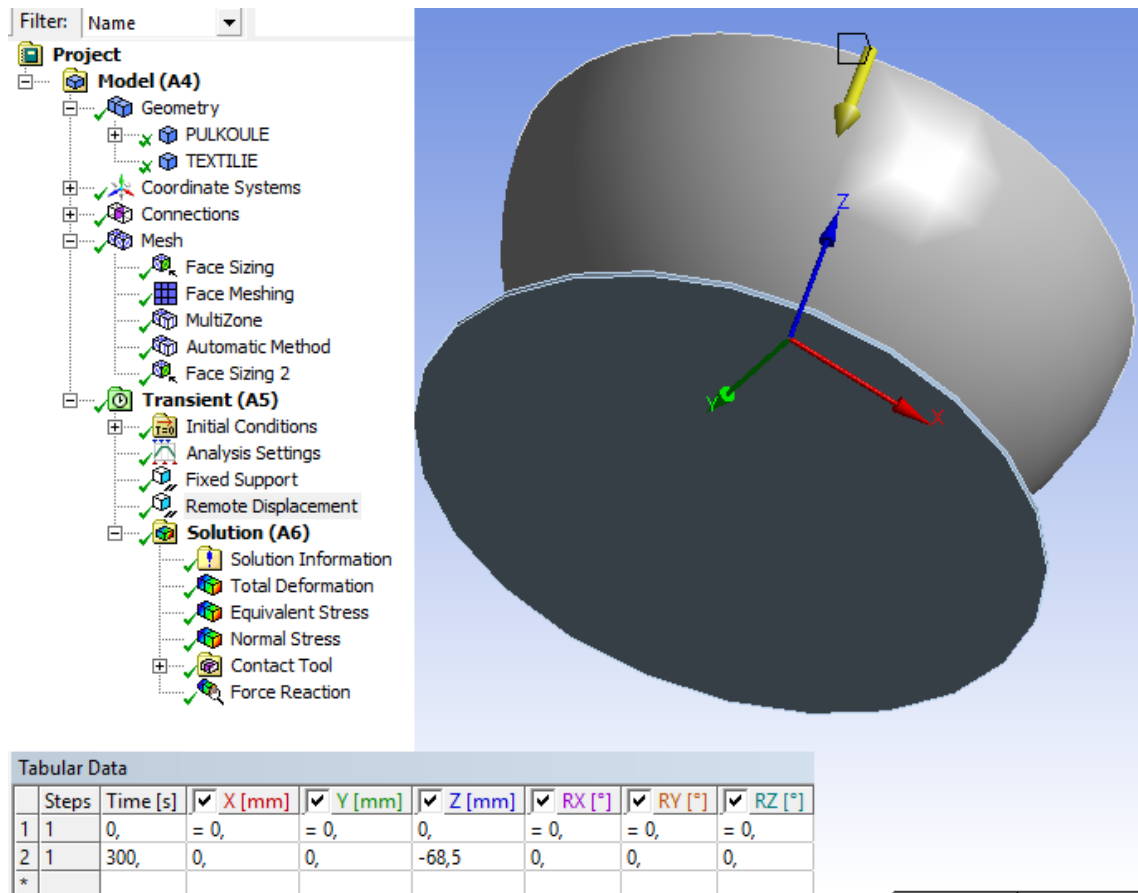
Obrázek 34.: Základní síť generovaná programem.



Obrázek 35.: Nově vytvořená síť

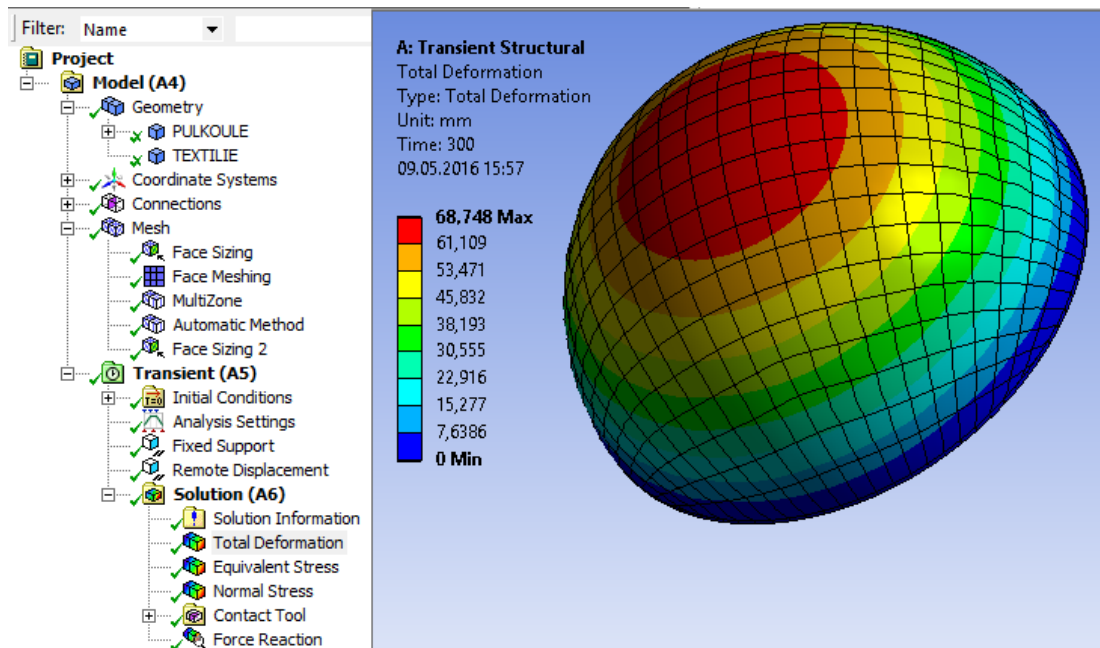
Po optimalizaci sítě je dalším krokem definování zkoušky. V sekci Transient (A5) – Analysis Settings je nutné nastavit čas simulace. V závislosti na nastavení časového intervalu se pohybuje polokoule směrem do textilie a při zvolení příliš malého časového

intervalu, by polokoule narazila rychle a textílii protrhla. Z tohoto důvodu byl nastaven čas zkoušky na 300 s. Byly definovány okrajové podmínky a to Fixed Support na obvod textílie, což simuluje upnutí v přípravku (*kapitola 5.4 Cyklické namáhání*). Remote Displacement byl aplikován na polokouli a byl jím definován její pohyb ve směru osy Z. Posun byl nastaven o -68,5 mm podle souřadnicového systému, ostatní směry a rotace byly nastaveny na hodnotu 0.



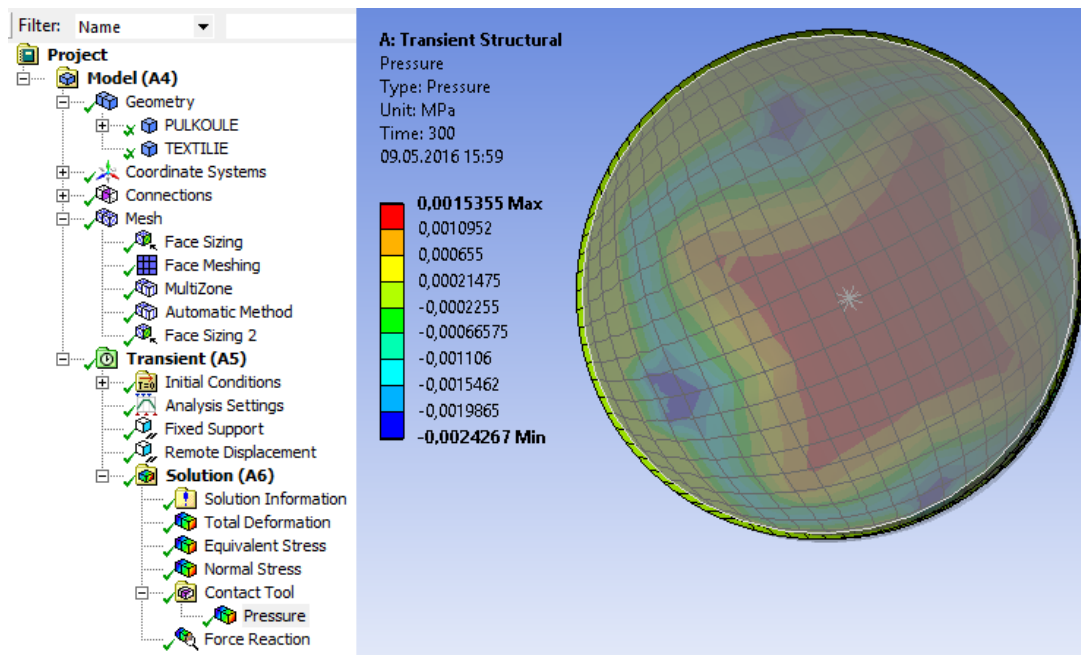
Obrázek 36.: Nastavení pohybu polokoule

V sekci Solution (A6) jsou vybrané síly, které má program vyhodnotit. Na *obrázku 37* je zobrazené výsledné protlačení spolu se stupnicí vzdálenosti.



Obrázek 37.: Výsledné protlačení polokoule textilií

Po natočení polokoule na její vnitřní stranu je možné zobrazit kontaktní tlak, *obrázek 38*. Tlak je barevně odstupňován a pohybuje se v největší ploše v rozmezí 0,214 – 0,655 kPa, ve vrcholu polokoule se nachází nejvyšší tlak 1,535 kPa. Je nevýhodou, že program nedokáže vypočítat průměrný tlak polokoule na celou plochu textilie, jelikož některé barevné plochy jsou dokonce v záporných hodnotách, a to by znamenalo, že textilie stlačuje ocelovou polokouli.



Obrázek 38.: Kontaktní tlak

Po porovnání reálného experimentu kde tlak dosáhl hodnoty 0,56 kPa a jeho teoretického zkoumání lze říci, že experiment byl navržen dobře a teoretická část odpovídá reálnému experimentu.

7 Vyhodnocení výsledků

Po provedení studie konstrukčních metodik podprsenek a korzetových výrobků byla vytvořena konstrukční metodika pro tvorbu střihu sportovní podprsenky bezešvou technologií. Byla vytvořena v kombinaci dvou metodik Müller a Sohn [15] a Vrba. [16] Protože Vrba používá pro konstrukci podprsenkového koše pouze rozměry obvod hrudníku a podprsň obvod hrudníku, byly pro tvorbu podprsenkového koše použity rozměry z výzkumu Musilové. Tyto rozměry vhodně doplnily konstrukční metodiku. Tato metodika se osvědčila jako správná a po úpravách vazby na základě prvních prototypů podprsenky, zanesení srážení vazeb do konstrukce a změně materiálového složení, byla tato podprsenka uvedena do výroby.

Následně byla testována košíčková část podprsenky a cílem experimentu bylo zjištění tlaku vyvinutého podprsenkou na tělo. Po provedení rešerše byl navržen experiment, kde se košíčková část testovala reálným měřením a následně byl použit program na principu MKP, který měl teoreticky ověřit reálný experiment a ukázat zda se dá predikovat chování textilie při určitém chování, což může významně snížit náklady na vývoj nových textilních výrobků. Reálný experiment byl proveden na trhacím stroji Testometric model M350-5CT. Materiál byl testován ve směru sloupku, řádku a diagonálně a změřená data byla vstupním parametrem pro simulaci. Již při tahových zkouškách se ukázalo, že daná vazba je příliš tažná (sloupek 409 %, řádek 408 %, diagonální směr 538%), proto došlo k úpravě podprsenkového koše rozdělením v horizontálním směru a v dolní části košíčku byla použita vazba pevnější. Testování dále probíhalo se základním materiálem.

Byla změřena tloušťka materiálu 1,24 mm, která je potřebná pro simulaci. Na základě cyklického namáhání testovaného vzorku protlačováním ocelovou polokoulí o stejném obvodu jako prso 21,2 cm byl zjištěn výpočtem tlak 0,56 kPa. Při cyklickém namáhání vznikla na pletenině trvalá deformace zapříčiněná nízkou elasticitou materiálu o hodnotě 62,893 %. Následně bylo provedeno teoretické zkoumání tahových zkoušek v programu ANSYS Workbench, které ověřily správný postup simulace. Na základě provedení tahových zkoušek byla vytvořena finální simulace protlačení ocelové polokoule textilií, která ukázala rozložení kontaktních tlaků. Hodnoty kontaktních tlaků se pohybují v největší ploše v rozmezí 0,214 kPa – 0,655 kPa, ve vrcholu polokoule pak 1,5 kPa. Vzhledem k tomu, že některé plochy ukazují i nulovou hodnotu komprese nebo mírně zápornou lze uvažovat, že simulace odpovídá reálnému měření, lze tedy predikovat

chování pletenin pomocí simulačních programů a teoretické zpracování experimentu ověřilo správnost reálného experimentu..

Prozatím není ve světě norma, která by stanovila přípustný tlak podprsenkových košů, proto budou výsledky práce porovnány s experimentálními výzkumy ze světa.

Tým vědců z Austrálie a Thajska [1] měřil tlak podprsenky na tělo a uvedl výsledky tlaku $0,861 \pm 0,247 \text{ N/cm}^2$. Po převedení je tlak 8,61 kPa, který je dokonce vyšší než nejvyšší kompresní třída udávaná pro kompresní podkolenky. Vzhledem ke stavbě těla zejména rozdílné tuhosti kotníkové části proti poprsí se tento zjištěný tlak zdá příliš velký. Na závěr experimentu vědci uvádí, že podprsenka nezpůsobuje příliš vysoký tlak a doporučují ji nosit, proto se lze domnívat, že vědci použili k interpretaci dat špatné jednotky.

Šťastná provedla na Technické univerzitě v Liberci experiment, kde měřila tlak běžně vyráběné konfekční podprsenky za pomoci kapacitních snímačů umístěných v různých částech podprsenkového koše. Hodnoty tlaku se pohybovaly v rozmezí 0,23 – 0,625 kPa.

Ito provedl výzkum, kde měřil tlak na těle pomocí tlakových návleků. Jako komfortní tlak na měkkou tkáň přední strany břicha, kterou lze připodobnit k poprsí uvádí tlak $7,83 \text{ gf/cm}^2$ (0,767 kPa)

Nakahashi a kolektiv uvádí komfortní tlak na přední straně břicha $8,1 \text{ gf/cm}^2$ (0,794 kPa).

Na základě provedeného experimentálního měření i teoretického ověření lze říci, že podprsenka nezpůsobuje zdraví škodlivý tlak a konstrukce sportovní podprsenky je navrhuta správným způsobem. Podprsenka dle návrhu konstrukce v této práci je nyní uvedena do výroby.

Závěr

Cíle této diplomové práce byly splněny. V rešeršní části byly nastudovány dostupné konstrukční metodiky. Dále byly nastudovány některé vlastnosti pletenin, které byly vhodné pro vyhodnocení vlastností dané pleteniny. V závěru rešeršní části byla nastudována metoda konečných prvků a její principy zejména textilní kontinuum.

Na základě informací získaných v rešeršní části byla sestavena konstrukční metodika pro tvorbu sportovní bezešvé podprsenky na základní tělesné rozměry. Tato metodika vznikla po nastudování dostupných metodik a byla vhodně doplněna o tělesné rozměry získané v práci Musilové. [19] Po provedení konstrukce byly stanoveny koeficienty pro šířkové rozdělení trupového oděvu. Byl navržen reálný experiment, kde došlo k testování materiálu pro košíčkovou oblast. Testování proběhlo na trhacím přístroji Testometric model M350-5CT na němž byl namontován nenormovaný přípravek pro multiaxiální namáhání. Na základě provedeného experimentu byl zjištěn tlak 0,56 kPa. Dále byl materiál testován pomocí tahové zkoušky. Získaná data posloužila jako vstupní data pro simulační model v programu ANSYS Workbench. Výsledný model zobrazil rozložení kontaktních tlaků mezi ocelovou polokoulí a textilií v rozmezí 0,214 kPa – 1,5 kPa. Byla prokázána možnost simulace textilií a teoreticky ověřila správné provedení reálného experimentu. Po porovnání s dostupnými výzkumy bylo zjištěno, že tato sportovní podprsenka vyrobená bezešvou technologií nezpůsobuje zdraví škodlivé tlaky, které by negativně působily na ženy.

Použití simulačních modelů při vývoji zejména kompresního a sportovního prádla umožní v budoucnu predikovat chování textilií. Výrobní podnik si provede základní tahové zkoušky, z nichž získá potřebná data pro simulaci. Lze simulovat chování textilie na různých zařízeních, která nemusí být podniku dostupná např. z finančních důvodů.

V této práci simulační model ověřil správnost konstrukční metodiky a tato sportovní podprsenka byla uvedena do výroby.

Doporučení pro další výzkum:

1. Provést stupňování konstrukce, následně testovat košíčkovou oblast různých velikostí.
2. Testovat pleteninu s nově navrženým materiálovým složením a porovnat výsledky se stávajícím experimentem.
3. Testovat i další zóny vymezené na podprsence a zkoumat jejich tlak na lidské tělo.
4. Navrhnout a následně testovat pomocí simulačních modelů kompresní a sportovní oděvy.

Citovaná literatura

- [1] **Bowles K., Steele J.R., Haunchaiyakul R.** *Do Current Sports Brassiere Designs Impede Respiratory Function?* [Medicine & Science in Sports & Exercise](#) 37(9) October 2005 [online] [citace: 26.4.2016] https://www.researchgate.net/publication/7585640_Do_Current_Sports_Brassiere_Designs_Impede_Respiratory_Function str: 1633
- [2] **S.A. Julie R., Steele J. R., Murno B. J.** *Can reduction in bra band pressure increase comfort during exercise in lumpectomy patients?* Červen 2008 str. 29
- [3] **Mitsuno T., Makabe H., Momota H.** *Studies on the Clothing Pressure (Part)I Measurements by a Hydrostatic Pressure-Balanced Method.* Journal of Japan Research Association for Textile End-Uses. 1991, str: 362-367
- [4] **Dostálová M., Křivánková M.** *Základy textilní a oděvní výroby.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2001. str. 78. ISBN 80-7083-504-4.
- [5] **Stoppardová M.** *101 praktických rad péče o prsa.* Praha : Ikar Praha, a.s. 2000. str. 9-15. ISBN 80-7202-285-7.
- [6] **Měšťák J.** *Prsa očima plastického chirurga.* [editor] Jindrová J. Praha : Garda Publishing, a.s., 2007. str. 16. ISBN 978-80-247-1834-7.
- [7] **Kočí V.** *Vazby pletenin.* [editor] Bendová E. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1980. str. 13. L21-E1-IV-31/82099.
- [8] **Filatov V. N.** *Navrhování pružných textilních výrobků.* Praha : SNTL-nakladatelství technické literatury, 1984. str. 32-33. L21-B2-IV-31/82332.
- [9] **Kovaříková M.** *Vazby a rozborů pletenin pro střední odborná učeliště.* [editor] Polák A. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury , 1985. str. 12-14. L21-C1-IV-32/85330.
- [10] **Vašek M.** *Návrh sportovní podprsenky:* bakalářská práce, Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2012. str: 30, 31
- [11] **Chen X. N. a kolektiv.** *International Journal of Medical, Health, Biomedical, Bioengineering and Pharmaceutical Engineering. World Academy of Science.* [Online] 2012. [Citace: 6. 9. 2015.] <http://waset.org/publications/5000/breast-motion-and-discomfort-of-chinese-women-in-three-breast-support-conditions>. str:710, 711.
- [12] **Company profile.** *Santoni.* [Online] [Citace: 6. 9. 2015.] <http://www.santoni.com/circular-electronic-knitting-machines.asp>.

- [13] **Petrů M., Novák, O., Lepšík P., Vosáhlo J.** *Modelování textilních útvarů I: příklady procvičení*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN: 978-80-7494-181-8. str: 7, 10,14, 32, 33, 35, 36, 44, 45
- [14] **Shin K.** *Patternmaking fir underwear design*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2010. ISBN 1451511590. str. 95, 102
- [15] časopis **Rundschau** Sammelband Schnittkonstruktionen für Damenbekleidung nach Müller&Sohn, 5/2002 str. 60-62
- [16] **Vrba V.** *Střihy prádla konstrukce a stupňování*. Nakladatelství technické literatury Praha 1987. str. 96-107. L21-B2-IV-31/82 378
- [17] **Winifred A.** *Fabric, form and flat pattern cutting*. Oxford- Blackwell 2007. Str.:172-173. ISBN 1405136200.
- [18] **Burgo F.** *TECNICA del MODELLO Sartoriale ALTA MODA e INDUSTRIALE DONNA – UOMO – BAMBINO*. Milano 2005 Str. 14-15, 228-229. ISBN: 8890010150
- [19] **Musilová B.** *Predikce konstrukčních parametrů střihů korzetových výrobků: disertační práce*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní 2012
- [20] **Kortová G.** Po stopách vzniku podprsenky. *Svět kreativity* . [Online] 22.. 9. 2014. [Citace: 22. 3. 2016.] <http://svetkreativity.cz/po-stopach-vzniku-podprsenky/>.
- [21] **Müller und Sohn** , *DOB-Größentabelle für Damen- und Mädchengrößen*, Deutsche Bekleidungs-Akademie München, 1995, ISBN 3-929305-04-6.
- [22] **Šťastná K.** *Hodnocení komfortu ženského zpevňovacího prádla: diplomová práce*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní 2014. str: 48, 52
- [23] **Richardson, K.**, *Designing and Pattern Making for Stretch Fabrics*. Oxford: Blackwell Publishing 2008, ISBN-13: 9781563674792.
- [24] LABOR machine, s.r.o. [Online] [citace 29.4.2016] <http://labormachine.cz/ct-modely/m350-5ct/>
- [25] **Ito N.**, *Pressure Sensation (Clothing Pressure) – For the Design of Ideal Clothing*. Journal of Japan Research Association for Textile End-Uses. 1995. str 38-43.
- [26] **Nakahashi M., Morooka H., Morooka H., Hiraga S., and Deguchi J.** *Effect of Clothing Pressure on Front and Back of Lower Leg on Compressive Feeling*. Journal of Japan Research Association for Textile End-Uses. 1999. str: 661-667
- [27] **Kolář V. Němec I. Kanický V.** *FEM principy a praxe metody konečných prvků*. Vydavatelství: Computer Press, Praha 1997 ISBN 80-7226-021-9. str. 18-21

- [28] **SOLIDWORKS Web Help.** [Online] [citace 30. 4. 2016]
http://help.solidworks.com/2011/Czech/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Materials/Isotropic_and_Orthotropic_Materials.htm
- [29] **Fládr J.** *Využití pokročilého modelování konstrukcí v magisterském studiu.* České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Praha 2014 [Online] [citace 30.4.2016] http://people.fsv.cvut.cz/www/stefarad/RPMT/RPMT_nosnik_ozub.pdf
- [30] **Měšťák J.** Vývoj a anatomie ženského prsu. [online] [citace 5. 5. 2016]
http://www.esthe-plastika.cz/aktuality/detail/48_188-vyvoj-a-anatomie-zenskeho-prsu
- [31] **ANSYS.** *Produkty firmy ANSYS Inc.* [online] [citace 5. 5. 2016]
<https://www.svsfem.cz/content/produkty-firmy-ansys-inc>
- [32] **Váhy laboratorní KERN.** [online] [citace 6. 5. 2016] http://www.vahy-tep.cz/index.php?main_page=product_info&cPath=18_45&products_id=224
- [33] **Digitální tloušťkoměr SDL M034A.** Laboratoř komfortu TUL. [online] [citace 6. 5. 2016]
<http://www.kod.tul.cz/smazat/laboratore/Comfort/thickness.html>
- [34] **Malinská M, Kovář R.** *Poisson's ratio of textiles under uniaxial deformation.* Structure and Structural Mechanics of Textiles. Technická univerzita v Liberci. Prosinec 2011.
- [35] **Přepočet tlaků.** Mano Market. [online] [citace 9. 5. 2016]
<http://www.manomarket.cz/prepocet-tlaku>
- [36] **Stříž B.** *Mechanika kontinua.* Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. str.:3.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.: Tvarování sedlové části u podprsenky [14]	16
Obrázek 2.: Hotový střih pro košíčkovou část [14].....	16
Obrázek 3.: Konstrukce základního střihu polovysoké podprsenky [16].....	19
Obrázek 4.: Základní konstrukce pro body [15].....	20
Obrázek 5.: Konstrukce korzetu [17]	21
Obrázek 6.: Základní konstrukce pro trupový oděv[18]	22
Obrázek 7.: Konstrukce podprsenky[18].....	23
Obrázek 8.: Schéma pletacího stroje [4].....	29
Obrázek 9.: Santoni SM8-EVO4J [12].....	31
Obrázek 10.: Ukázka tvaru prvků a uzlů [29]	33
Obrázek 11.: Hookův zákon [13]	34
Obrázek 12.: Základní konstrukční síť. Měřítko 1:5	39
Obrázek 13.: Modelová úprava podprsenky, měřítko 1:5	41
Obrázek 14.: Modelová úprava prsního koše, měřítko 1:5.....	42
Obrázek 15.: Vysrážená konstrukce s barevným vymezením zón v měřítku 1:5.....	43
Obrázek 16.:Úprava podprsenky- zjednodušení zónování.....	45
Obrázek 17.: Technický náčrt podprsenky PD	46
Obrázek 18.:Technický náčrt podprsenky ZD	47
Obrázek 19.: Navržená podprsenka PD.....	47
Obrázek 20.: Navržená podprsenka ZD	48
Obrázek 21.: Přípravek pro multiaxiální namáhání materiálu.....	57
Obrázek 22.:Vyhodnocení roztažnosti pomocí obrazové analýzy	60
Obrázek 23.: Definování materiálového modelu.....	64
Obrázek 24.: Uniaxiální data	65
Obrázek 25.: 3D geometrie.....	66
Obrázek 26.: Tahová zkouška mat. v podélném směru	67
Obrázek 27.: Simulace tahové zkoušky.....	67
Obrázek 28.: Tahová zkouška mat. v příčném směru.....	68
Obrázek 29.: Simulace tahové zkoušky.....	68
Obrázek 30.: Tahová zkouška mat. v diagonálním směru.....	68
Obrázek 31.: Simulace tahové zkoušky.....	68
Obrázek 32.: Narušená struktura textilie při použití Neo-Hookova modelu.....	69
Obrázek 33.: Importovaná geometrie z programu Solidworks.....	70

Obrázek 34.: Základní síť generovaná programem.....	71
Obrázek 35.: Nově vytvořená síť	71
Obrázek 36.: Nastavení pohybu polokoule.....	72
Obrázek 37.: Výsledné protlačení polokoule textilií	73
Obrázek 38.: Kontaktní tlak.....	74
Obrázek 39.: Vzorek s vyznačenými zónami	85
Obrázek 40.: Vzorek s vyznačenými zónami	85
Obrázek 41.: Vzorek s vyznačenými zónami	86
Obrázek 42.: Vzorek s vyznačenými zónami	86
Obrázek 43.: Vzorek s vyznačenými zónami	87
Obrázek 44.: Laboratorní váhy E 300 [32].....	88
Obrázek 45.: Digitální tloušťkoměr [33].....	89
Obrázek 46.: Testometric M350-5CT – 5kN [24].....	90

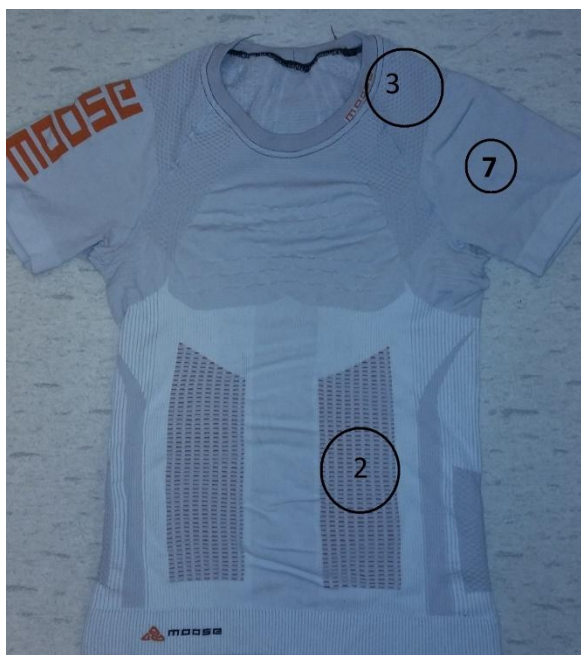
SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.: Rozdělení velikosti košíčků [16].....	17
Tabulka 2.: Konstrukční vzorce [16].....	18
Tabulka 3.: Hlavní konstrukční rozměry.....	37
Tabulka 4.: Konstrukční rozměry pro tvorbu podprsenkového koše, pro velikost 75 A. [19].....	37
Tabulka 5.: Výpočet pomocných konstrukčních rozměrů.....	38
Tabulka 6.: Algoritmus tvorby konstrukční sítě.....	38
Tabulka 7.: Algoritmus pro tvorbu modelové úpravy podprsenky.....	40
Tabulka 8.: Barevné označení jednotlivých vazeb.....	43
Tabulka 9.: Srážky vazeb v podélném směru.....	46
Tabulka 10.: Měření hmotnosti [g].....	49
Tabulka 11.: Měření tloušťky [mm].....	50
Tabulka 12.: Měření po sloupku.....	51
Tabulka 13.: Měření po řádku.....	53
Tabulka 14.: Měření v diagonálním směru.....	55
Tabulka 15.: Síla při cyklickém namáhání.....	58
Tabulka 16.: Deformace materiálu [mm].....	59
Tabulka 17.: Roztažnost materiálu v podélném směru [mm].....	60
Tabulka 18.: Roztažnost materiálu v příčném směru [mm].....	61
Tabulka 19.: Parametry nastavení pro model.....	64
Tabulka 20.: Nastavení času a posunu jednotlivých zkoušek.....	66
Tabulka 21.: Měření hmotnosti.....	88
Tabulka 22.: Roztažnost materiálu v podílném směru [mm].....	92
Tabulka 23.: Roztažnost materiálu v příčném směru [mm].....	93

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1.: Závislost pevnosti a tažnosti u sloupku.....	52
Graf 2.: Závislost pevnosti a tažnosti řádku.....	54
Graf 3.: Závislost pevnosti a tažnosti v diagonálním směru.....	56
Graf 4.: Porovnání tahových křivek.....	56
Graf 5.: Cyklické namáhání.....	58
Graf 6.: Cyklické namáhání materiálu.....	59

PŘÍLOHA A



Obrázek 39.: Vzorek s vyznačenými zónami



Obrázek 40.: Vzorek s vyznačenými zónami



Obrázek 41.: Vzorek s vyznačenými zónami



Obrázek 42.: Vzorek s vyznačenými zónami



Obrázek 43.: Vzorek s vyznačenými zónami

PŘÍLOHA B

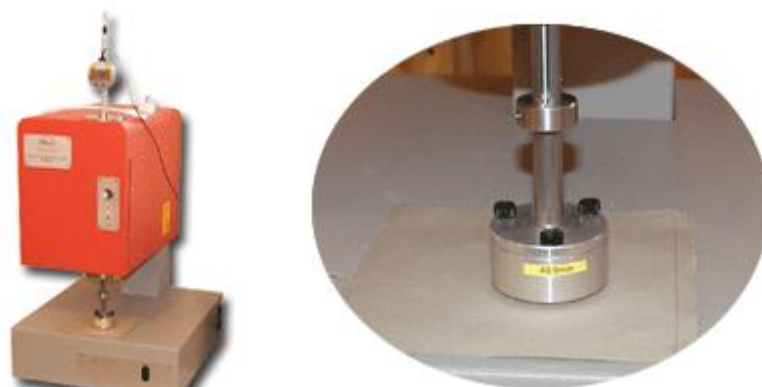


Obrázek 44.: Laboratorní váhy E 300 [32]

Tabulka 21.: Měření hmotnosti

měření	hmotnost [g]
1.	2,700
2.	2,675
3.	2,754
4.	2,766
5.	2,683
6.	2,716
7.	2,768
8.	2,690
9.	2,715
10.	2,772

PŘÍLOHA C



Obrázek 45.: Digitální tloušťkoměr [33]

měření	Tloušťka [mm]
1.	1,25
2.	1,25
3.	1,26
4.	1,23
5.	1,26
6.	1,24
7.	1,24
8.	1,22
9.	1,25
10.	1,22

PŘÍLOHA D



Obrázek 46.: Testometric M350-5CT – 5kN [24]

PŘÍLOHA E

	1. cyklus [mm]	2. cyklus [mm]	3. cyklus [mm]
1. měření	0	23,4123	24,7344
2. měření	0	23,7886	24,5849
3. měření	0	23,7886	24,5849
4. měření	0	24,532	25,7187
5. měření	0	24,8061	25,6079
6. měření	0	23,7483	24,6843
7. měření	0	24,3679	25,4981
8. měření	0	24,8194	25,5781
9. měření	0	24,2501	25,8343
10. měření	0	24,1153	25,5517

PŘÍLOHA F

Tabulka 22.: Roztažnost materiálu v podílném směru [mm]

video	1. protlačení		1. uvolnění		2. protlačení		2. uvolnění		3. protlačení		3. uvolnění	
1.	19,28	17,71	11,1	11,44	19,14	18,28	11,57	10,43	18,99	18,28	11,43	10,57
2.	19,86	20,42	11,29	11,64	20,11	19,76	11,71	11,74	20,19	19,24	11,79	11,94
3.	19,54	21,49	11,27	12,63	19,34	21,45	12,69	11,68	21,42	19,26	12,26	11,7
4.	19,23	18,46	10,69	11,39	18,86	18,92	11,69	10,15	19,08	19,88	11,39	11,54
5.	20,82	20,17	11,64	12,13	20,17	20,98	11,64	11,8	19,02	20,66	12,13	11,97
6.	20,17	20,67	11,66	12,67	20,65	20,5	12,67	12,17	20,17	20,5	11,66	12
7.	18,49	19,24	11,36	11,21	18,94	18,95	11,21	11,36	19,09	18,78	11,52	11,53
8.	18,13	18,44	11,72	11,88	18,13	18,44	10,79	11,09	18,44	18,44	11,41	11,09
9.	20,74	20,57	11,46	11,76	18,97	19,09	11,96	11,76	20,38	20,35	11,97	11,65
10.	18,66	18,66	11,83	11,93	19,93	19,16	11,67	11,33	19,16	18,83	11,83	12,33
průměr	19,49	19,58	11,40	11,87	19,42	19,55	11,76	11,35	19,59	19,42	11,74	11,63
Směrodatná o.	0,87	1,18	0,32	0,47	0,73	1,03	0,55	0,60	0,86	0,83	0,29	0,48
rozptyl	0,76	1,39	0,10	0,22	0,53	1,06	0,30	0,37	0,74	0,69	0,09	0,23
Variační koef. [%]	4,47	6,02	2,83	3,96	3,75	5,26	4,69	5,33	4,38	4,26	2,51	4,10
95% IS	0,54	0,73	0,20	0,29	0,45	0,64	0,34	0,37	0,53	0,51	0,18	0,30
IS dolní	18,95	18,85	11,20	11,58	18,97	18,92	11,42	10,98	19,06	18,91	11,56	11,34
IS Horní	20,03	20,31	11,60	12,16	19,88	20,19	12,10	11,73	20,13	19,94	11,92	11,93

Tabulka 23.: Roztažnost materiálu v příčném směru [mm]

video	1. protlačení		1. uvolnění		2. protlačení		2. uvolnění		3. protlačení		3. uvolnění	
	1.	18,43	18,43	11,14	11,11	18,86	18,24	11,7	11,29	19	18,43	11,4
2.	20,07	20,07	12,6	12,2	20,7	20,85	12,93	12,6	20,08	20,45	12,46	12,44
3.	21,41	21,08	13,03	12,84	21,25	21,35	12,72	13,01	21,42	21,43	12,6	12,72
4.	18,62	18,62	11	11,08	18	18,77	10,92	11,69	18,62	18,77	11,54	11,54
5.	19,18	19,02	11,45	11,15	18,85	19,02	11,8	11,3	19,66	19,5	11,8	11,47
6.	19,67	19,33	11,83	11,5	19,83	19,67	11,33	11,67	19,17	19,5	12,17	11,33
7.	18,33	17,88	11,06	10,91	18,03	18,33	11,06	10,91	18,03	17,88	11,21	10,91
8.	18,91	18,59	11,25	11,41	18,75	19,37	11,25	11,41	18,59	18,91	11,56	11,41
9.	19,53	19,42	11,44	12,02	20,42	20,16	11,97	11,63	19,66	19,84	11,79	12,34
10.	19,83	19,83	11,83	11,5	20,17	20,33	11,83	12	19,83	19,67	12,17	12,17
průměr	19,40	19,23	11,66	11,57	19,49	19,61	11,75	11,75	19,41	19,44	11,87	11,78
Ssměrodatná o.	0,88	0,88	0,64	0,58	1,08	1,00	0,63	0,60	0,91	0,97	0,44	0,56
rozptyl	0,77	0,78	0,41	0,33	1,17	1,00	0,40	0,36	0,82	0,94	0,19	0,32
Variační Koef. [%]	4,54	4,60	5,52	4,97	5,55	5,10	5,37	5,13	4,67	4,98	3,70	4,77
95% IS	0,55	0,55	0,40	0,36	0,67	0,62	0,39	0,37	0,56	0,60	0,27	0,35
IS dolní	18,85	18,68	11,26	11,22	18,82	18,99	11,36	11,38	18,84	18,84	11,60	11,43
IS horní	19,94	19,78	12,06	11,93	20,16	20,23	12,14	12,12	19,97	20,04	12,14	12,12