



Konstrukce a vzorování 3D tkaných výztuží pro kompozity

Diplomová práce

Studijní program:

N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor:

Oděvní a textilní technologie

Autor práce:

Bc. Vanda Tomanová

Vedoucí práce:

Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.

Katedra technologií a struktur

Konzultant práce:

Ing. Karol Ježík

Katedra technologií a struktur





Zadání diplomové práce

Konstrukce a vzorování 3D tkaných výztuží pro kompozity

Jméno a příjmení: **Bc. Vanda Tomanová**
Osobní číslo: T18000044
Studijní program: N3106 Textilní inženýrství
Studijní obor: Oděvní a textilní technologie
Zadávací katedra: Katedra technologií a struktur
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte rešerši v oblasti 3D tkanin z hlediska: a) konstrukce a výroby tkaných výztuží na tkacích strojích, b) definice geometrie a modelování 3D tkaných výztuží.
2. Provedte rozbor konstrukčních možností z hlediska vazebních technik využívaných pro realizaci 3D tkaných výztuží, včetně rozboru plošné a prostorové geometrie tkaných výztuží.
3. Vytvořte v tkalcovské laboratoři KTT experimentální sadu 3D tkaných výztuží obsahujících čedičové multifily.
4. Provedte experimentální hodnocení mechanických vlastností experimentální sady tkaných výztuží.
5. Vytvořte modelovou představu prostorové geometrie navržených 3D tkaných výztuží pro definici základních geometrických parametrů tkaniny.
6. Provedte vyhodnocení mechanických vlastností ve vztahu k plošné a prostorové geometrii 3D tkaných výztuží.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby
cca 50 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] Nosek, S. Struktura a geometrie tkanin, Liberec 1996.
- [2] Miravete, A. 3-D textile reinforcements in composite materials. Cambridge CB1 6AH, England: Woodhead Publishing Limited, 1999.
- [3] Behera, B.K. and Hari,P.K. Woven Textile Structure-Theory and Applications. Cambridge CB1 6AH, England: Woodhead Publishing Limited, 2010.
- [4] Kolčavová Sirková, B. Systém projektování „příze – tkanina“. Závěrečná zpráva. Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci 2004.
- [5] Neckář, B. Fabric 2 – Models and geometry, textbook, Liberec.
- [6] Lomov,S. V.et al. Textile composites: modelling strategies, Compos. Part A Appl. Sci. Manuf., vol. 32, no. 10, pp. 1379-1394, Oct. 2001.

Vedoucí práce:

Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.
Katedra technologií a struktur

Konzultant práce:

Ing. Karol Ježík
Katedra technologií a struktur

Datum zadání práce:

15. dubna 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

10. srpna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, 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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

7. srpna 2020

Bc. Vanda Tomanová

Poděkování

Ráda bych především poděkovala vedoucí diplomové práce, Ing. Brigitě Kolčavové Sirkové, Ph.D., za konzultace, odborné vedení a cenné rady, které mi poskytla během přípravy a realizace práce. Také bych chtěla poděkovat Ing. Karolovi Ježíkovi za velkou a nenahraditelnou pomoc při tkaní experimentálních vzorků a Ing. Ivě Mertové za asistenci a cenná doporučení při navrhování modelových představ a zpracování dat.

Poděkování náleží také rodině a mému partnerovi za trpělivost a podporu po dobu studia.

Anotace

Cílem diplomové práce bylo vytvořit model délky vazné vlny dvojnásobné spojkové tkaniny, včetně realizace návrhu a výroby experimentální sady vzorků dvojnásobných spojkových tkanin. Na připravených vzorcích experimentální sady tkanin následně hodnotit mechanické vlastnosti dvojnásobné spojkové tkaniny. Modelová představa délky vazné vlny pro spojkové tkaniny byla založena na Lineárním a Peircově modelu. Sada experimentálních vzorků byla testována na přístroji Testometric M350-5CT. Výsledky měření byly srovnávány s předpoklady vlivu délky vazné vlny na mechanické vlastnosti tkaniny.

Klíčová slova:

3D tkanina, vícenásobná tkanina, spojková tkanina, délka vazné vlny, Lineární model, Peircův model, tahová deformace

Annotation

The aim of this diploma thesis was to create a model of the length of the binding weave of double layered stitch woven fabric, including design and production of an experimental set of samples of double layered stitch fabric. The mechanical properties were evaluated on the prepared set of experimental samples of double layered stitch fabric. The model of the length of the binding weave of double layered stitch woven structure was based on Linear and Peirce model. The experimental set of samples was tested on Testometric M350-5CT. The results were compared to the presumed idea of the influence of the length of binding weave on the mechanical properties of the fabric.

Key words:

3D fabric, layered fabric, stitch fabric, length of binding weave, Linear model, Peirce model, tensile deformation

Obsah

1	Rešerše v oblasti 3D tkanin.....	10
1.1	Tkanina	10
1.1.1	3D tkanina	11
1.1.2	3D tkanina rozdělení podle geometrie a uspořádání	12
1.2	Kompozitní materiály	13
1.2.1	Porovnání 3D tkanin s 2D tkaninami	14
1.3	Konstrukce	15
1.3.1	Konstrukce na jednoprošlupních tkacích strojích.....	16
1.3.1.1	Konstrukce spojkových tkanin.....	16
1.3.1.2	Konstrukce skořepinových tkanin.....	19
1.3.1.3	Konstrukce neprotkaných jednoosých ortogonálních 3D tkanin	20
1.3.2	Konstrukce 3D tkaniny za pomoci 3D tkaní	21
1.3.2.1	Konstrukce neprotkané ortogonální jednoosé 3D tkaniny	22
1.3.2.2	Konstrukce neprotkané ortogonální víceosé 3D tkaniny	24
1.3.2.3	Konstrukce trojrozměrné víceosé válcové tkaniny	28
1.3.2.4	Konstrukce protkané trojrozměrné tkaniny.....	29
2	Možnosti vzorování 3D tkanin.....	32
2.1	Vzorování spojkových tkanin	33
3	Modelování základních parametrů a vlastností.....	35
3.1	Plošná geometrie tkaniny	35
3.1.1	Materiál – jemnost použitých nití.....	35
3.1.2	Vazba tkaniny	35
3.1.3	Dostava nití.....	36
3.2	Prostorová geometrie tkaniny	36

3.2.1	Vazná buňka	37
3.2.2	Plošné zakrytí tkanin	38
3.2.3	Zvlnění nití ve tkanině v příčném pohledu	38
3.2.4	Tloušťka tkaniny.....	39
3.3	Modelování parametrů prostorové geometrie tkanin.....	40
3.3.1	Popis Lineárního modelu pro charakteristiku prostorové geometrie tkaniny	42
3.3.2	Popis Peircova modelu pro charakteristiku prostorové geometrie tkaniny	43
4	Experimentální sada vzorků	46
4.1	Vstupní materiál – Čedičový multifil	51
4.2	Výroba experimentální sady vzorků	51
4.2.1	Příprava pro tkaní, příprava útku, soukání	51
4.2.2	Příprava osnovy, snování.....	52
4.2.3	Navádění.....	53
4.2.4	Tkaní.....	53
5	Popis prostorové geometrie pro vyjádření délky vazné vlny spojkové tkaniny.....	56
5.1	Lineární model dvojnásobné spojkové tkaniny	57
5.1.1	Délka vazné vlny ve střídě – Lineární model	57
5.2	Peircův model dvojnásobné spojkové tkaniny.....	59
5.2.1	Délka vazné vlny ve střídě – Peircův model	60
5.3	Hodnocení délky nitě ve vazné vlně z pohledu modelové představy	61
6	Experimentální zjišťování mechanických vlastností.....	66
6.1	Zkušební přístroj a vzorky	66
6.2	Postup zkoušky	67
6.3	Hodnocení mechanických vlastností.....	68

6.3.1	Popis tahového chování tkaniny během jednoosého namáhání ve směru osnovy a útku	69
6.3.2	Hodnocení mechanických vlastností experimentálních vzorků	70
6.3.2.1	Hodnocení maximální síly experimentálních vzorků tkanin.....	72
6.3.2.2	Hodnocení tažnosti experimentálních vzorků	74
6.3.2.3	Hodnocení tuhosti experimentálních vzorků.....	76
7	Vliv plošné a prostorové geometrie na mechanické vlastnosti tkaní	79
7.1	Základní mechanické vlastnosti.....	79
7.1.1	Pevnost / Maximální síla	79
7.1.2	Tažnost	80
7.1.3	Tuhost.....	81
7.2	Vliv daných parametrů struktury tkaniny na mechanické vlastnosti tkaniny	82
7.2.1	Vliv dostavy na pevnost, tažnost a tuhost tkaniny.....	82
7.2.2	Vliv jemnosti na pevnost, tažnost a tuhost tkaniny	83
7.2.3	Vliv vazby a délky ve vazné vlně na pevnost, tažnost a tuhost tkaniny.....	84
7.2.4	Vliv zvlnění na pevnost, tažnost a tuhost tkaniny	87
8	Srovnání výsledků experimentu s výsledky jiných prací	89
9	Závěr.....	91
10	Literatura	93
11	Seznam Tabulek	97
12	Seznam Obrázků.....	98
13	Seznam Příloh.....	102

Seznam symbolů a zkratk

d	ekvivalentní průměr	(cm)
d _o	průměr osnovní nitě	(cm)
d _u	průměr útkové nitě	(cm)
d _{stř}	střední průměr	(cm)
D _u	dostava útkových nití	(n/1cm)
D _o	dostava osnovních nití	(n/1cm)
A	rozteč útkových nití	(cm)
B	rozteč osnovních nití	(cm)
K _o	krytí osnovy	-
K _u	krytí útku	-
K	celkové krytí	-
ξ _o	relativní zvlnění osnovy	-
ξ _u	relativní zvlnění útku	-
C	délka přepony pro jednoduchou plátnovou tkaninu získaná za pomoci Lineárního modelu	(cm)
C°	délka přepony spojkové nitě dvojnásobné plátnové tkaniny získaná za pomoci Lineárního modelu	(cm)
L _L	délka útkové nitě ve vazné vlně v jednoduché plátnové vazbě vypočítaná na 100 cm tkaniny, získaná za pomoci Lineárního modelu	(cm)
t	počet nití ve střídě, které mají jednoduchou plátnovou vazbu	-
g	počet nití ve střídě, které tvoří spojku	-
q	délka vazné vlny ve střídě pro úroveň obsahující spojkové nitě	(cm)
f	počet stříd obsažených ve 20 cm	-
m	počet útkových nití z 10 následujících útkových nití, které obsahují spojku	-

n	počet útkových nití z 10 následujících útkových nití, které neobsahují spojku	-
l_L°	délka útkové nitě ve vazné vlně na úrovni vazby, která obsahuje spojky, na 100 cm získaná za pomoci Lineárního modelu	(cm)
w	počet nití ve střídě	-
x_{P1}	přepona pomocného trojúhelníku A_1 pro jednoduchou plátňovou tkaninu získaného za pomoci Peircova modelu	(cm)
x_{P2}	přepona pomocného trojúhelníku A_2 spojkové nitě dvojnásobné plátňové tkaniny získaného za pomoci Peircova modelu	(cm)
v_{P1}	strana pomocného trojúhelníku B_1 pro jednoduchou plátňovou tkaninu získaného za pomoci Peircova modelu	(cm)
v_{P2}	strana pomocného trojúhelníku B_2 spojkové nitě dvojnásobné plátňové tkaniny získaného za pomoci Peircova modelu	(cm)
β_{P1}	úhel pomocného trojúhelníku A_1 získaného za pomoci Peircova modelu	(rad)
α_{P1}	úhel pomocného trojúhelníku A_1 získaného za pomoci Peircova modelu	(rad)
o_{P1}	oblouk vazné vlny jednoduché plátňové tkaniny získaný za pomoci Peircova modelu	(cm)
β_{P2}	úhel pomocného trojúhelníku A_2 získaného za pomoci Peircova modelu	(rad)
α_{P2}	úhel pomocného trojúhelníku B_2 získaného za pomoci Peircova modelu	(rad)
o_{P2}	oblouk vazné vlny spojkové nitě dvojnásobné plátňové tkaniny získaný za pomoci Peircova modelu	(cm)
l_{P1}	délka útkové nitě ve vazné vlně jednoduché plátňové tkaniny na pro polovinu rozteče útkových nití ($A/2$) získaná za pomoci Peircova modelu	(cm)

l_{p2}	délka útkové nitě ve vazné vlně ve spojkové nitě dvojnásobné plátňové tkaniny pro polovinu rozteče útkových nití ($A/2$) získaná za pomoci Peircova modelu	(cm)
l_{p1}°	délka útkové nitě ve vazné vlně v jednoduché plátňové vazbě vypočítaná na 100 cm tkaniny získaná za pomoci Peircova modelu	(cm)
l_{p2}°	délka útkové nitě ve vazné vlně na úrovni vazby, která obsahuje spojky, na 100 cm získaná za pomoci Peircova modelu	(cm)
K_u	útkové zakrytí	-
K_o	osnovní zakrytí	-
K	celkové zakrytí	-
ξ_o	relativní zvlnění osnovy	-
ξ_u	relativní zvlnění útku	-
t	tloušťka tkaniny	(cm)
ε_o	tažnost osnovy	(%)
ε_u	tažnost útku	(%)
ε_{p_o}	tažnost osnovní nitě	(%)
ε_{p_u}	tažnost útkové nitě	(%)
$F_{p_{o,u}}$	pevnost po osnově	(N/tex)
F_N	pevnost nitě	(N/tex)
K_{VP}	koeficient využití pevnosti	-
S_o	setkání osnovy	(%)
S_u	setkání útku	(%)
E	Modul pružnosti v tahu	(N/tex)
σ	napětí	(N/tex)
ε	deformace	(%)

Úvod

Hlavním tématem diplomové práce je konstrukce a struktura vícenásobných spojkových tkanin. Základem hodnocení je délka vazné vlny. Délka vazné vlny je důležitým parametrem prostorové geometrie tkaniny a má vliv na její mechanické vlastnosti.

U spojkové tkaniny je délka vazné vlny nitě ovlivněna počtem spojek ve tkanině. V rámci diplomové práce byly navrženy modely, které se pokoušejí predikovat délku vazné vlny. Pro popis prostorové geometrie tkaniny se využívá řada různých modelů, které vycházejí z různých zjednodušení a předpokladů struktury tkaniny. Tyto modely také pracují s různou úrovní složitosti výpočtů délky vazné vlny.

Teoretická část diplomové práce popisuje možnosti konstrukce a výroby 3D tkaných výztuží na tkacích strojích. V této části se práce zabývá 3D tkaninami také z hlediska jejich geometrie a možností modelování. 3D tkaniny jsou dále zkoumány i z pohledu možných variant jejich vzorování. Teoretická část se zároveň věnuje struktuře tkaniny obecně, a to z hlediska její plošné a prostorové geometrie.

Cílem experimentální části byla snaha o stanovení vlivu délky vazné vlny – distribuce spojek na mechanické vlastnosti tkaniny. Pro tento účel byla navržena experimentální sada vzorků. Pro popis délky vazné vlny pokusných vzorků byly navrženy dvě modelové představy. První modelová představa délky vazné vlny vycházela z předpokladů Lineárního modelu, druhá vycházela z předpokladů Peircova modelu.

Mechanické vlastnosti vzorků pak byly testovány za pomoci jednoosého namáhání a výsledky měření byly porovnávány s předpokládaným vlivem délky vazné vlny na zkoumané vlastnosti.

1 Rešerše v oblasti 3D tkanin

1.1 Tkanina

Tkanina je plošný textilní útvar. Vzniká vzájemným provázáním dvou soustav nití, které jsou na sebe kolmé. Jedná se o soustavy osnovní a útkové. V některých případech může tkanina vznikat i provázáním více soustav nití, což vede na 3D tkaniny. Soustavou osnovní je rozuměna soustava, která je vedena v podélném směru tkaniny a odpovídá tedy směru výroby tkaniny. Soustava útkových nití je vedena v příčném směru, který je kolmý ke směru výroby tkaniny. [39]

Profesor Khokar klasifikoval tkaniny na základě tkacího procesu [17]:

- Proces jednoprosáhlupního 2D tkacího procesu navrženého k protkávání dvou kolmých vlákenných soustav (osnovy a útku). Tento proces vede k vytvoření protkané 2D tkaniny na 2D tkacím stroji.
- Proces jednoprosáhlupního 2D tkacího procesu navrženého k protkávání dvou kolmých vlákenných soustav (osnovy a útku) s přidanými vlákennými soustavami, které slouží jako spojující osnovní vlákna nebo protkávající vlákna skrze tloušťku ve směru Z. Tento proces se nazývá vícevrstvé tkaní a vytváří protkanou 3D textilií skládající se ze dvou vlákenných soustav na 2D tkacím stroji.
- Proces jednoprosáhlupního 2D tkacího procesu za užití tří vlákenných soustav (plošná osnova, vrstvená osnova, vrstvený útek), který vytváří vrstvené textilie známé jako 2.5 textilie.
- Proces jednoprosáhlupního 2D tkacího procesu za užití tří vlákenných soustav, který vytváří neprotkanou textilií s vlákny v osnově a útku a směru skrze tloušťku. Tento proces vytváří neprotkanou 3D textilií se třemi vlákennými soustavami na 2D tkacím stroji.
- 3D tkací proces navržený k protkání tří ortogonálních vlákenných soustav. K prošlupu tkacího stroje dochází jak v řadách, tak ve sloupcích. Tento systém vytváří plně propojenou 3D textilií, kde jsou všechny tři vlákenné ortogonální soustavy setkány na speciálně navrženém 3D tkacím stroji.

- Netkaná, nepropojená 3D textilie vytvořená procesem, který propojuje tři ortogonální vlákenné soustavy bez užití pletení, tkaní nebo propojení. Tato textilie je držena speciálním spojujícím procesem.
- Proces 2D tkaní za užití tří vlákenných soustav, který se užívá k vytvoření 3D textilií s vlákny ve směru osnovy, útku a tloušťky. [16]

1.1.1 3D tkanina

Za 2D tkaniny jsou považovány jednoduché tkaniny, které mají jednu osnovu a jeden útek, kde jsou jedna a druhá soustava vedle sebe. 3D tkaniny jsou všechny vazební techniky, tzn. vícesnovní, víceútková a vícenásobní, kde jsou soustavy nad sebou a vytvářejí třetí rozměr.

Vícesnovní tkanina se skládá z jedné útkové soustavy a dvou a více osnovních soustav. Víceútková tkanina se skládá z jedné osnovní soustavy a dvou a více útkových soustav. Vícenásobná tkanina se skládá ze dvou a více osnovních soustav a dvou a více útkových soustav.

3D tkanina je definovaná jako tkanina, která má třetí rozměr, pracujeme tedy navíc s rozměrem tloušťky. Ve 3D strukturách je tloušťka (směr Z) značná v poměru ke směrům X a Y. Vlákna a příze jsou protkány, propleteny nebo propojeny v rozměrech X (podélná), Y (příčná) a Z (vertikální).

Vícenásobná tkanina je tvořena dvěma a více osnovními soustavami a dvěma a více útkovými soustavami a její tloušťka (směr Z) je relativně významná v poměru k podélnému směru X a křížnému Y. Tyto tkaniny mohou být vytvořeny prostorem mezi vrstvami nebo jako pevné zaplněné struktury. 3D vícenásobné tkaniny nemusí být definovány pouze svojí geometrií, ale mohou být také určeny jako struktury, které obsahují kontinuální vlákna ve třech a více směrech. [21]

Výzkumy ukazují, že není nutné protkáni na úrovni jednotlivých vrstev, aby měl materiál výhody jednoprostupního tkaní, ale že přidáním vertikálních vlákenných soustav, které spojují vrchní a spodní povrch tkaniny, poskytuje výhody plně zaplněného protkáni. [35]

3D tkaniny můžeme klasifikovat například podle geometrie a uspořádání a podle geometrie na základě jejich konstrukce.

1.1.2 3D tkanina rozdělení podle geometrie a uspořádání

3D tkaniny nedělíme pouze na základě procesu jejich výroby, ale můžeme se zaměřit i na jejich geometrii a uspořádání.

- 3D plná tkanina

- a. Neprotkaná ortogonální tkanina

Strukturu tvoří rovné osnovní nitě, rovné útkové nitě a vertikální nitě kolmé na sebe. Počet útkových nití je definován jako počet osnovních nití plus 1. Počet vertikálních nití je závislý na spojovací vazbě. Mohou se lišit hloubka provázání, počet a směr soustav.

Viz. a. na obrázku 1

- Jednoosá (soustavy nití na sebe kolmé)
- Víceosá (soustavy nití na sebe kolmé, soustavy nití úhlopříčné)
- Víceosá válcová (soustavy nití na sebe kolmé, soustavy nití úhlopříčné)

- b. Spojková (provázání pod úhlem)

Strukturu tvoří rovné osnovní nitě, které jsou provazovány útkovými nitěmi. Je možné použít i výplňkové/vycpávkové nitě. Mohou se lišit hloubka provázání a počet soustav i směr umístění výplňkových nití.

Viz. b. na obrázku 1

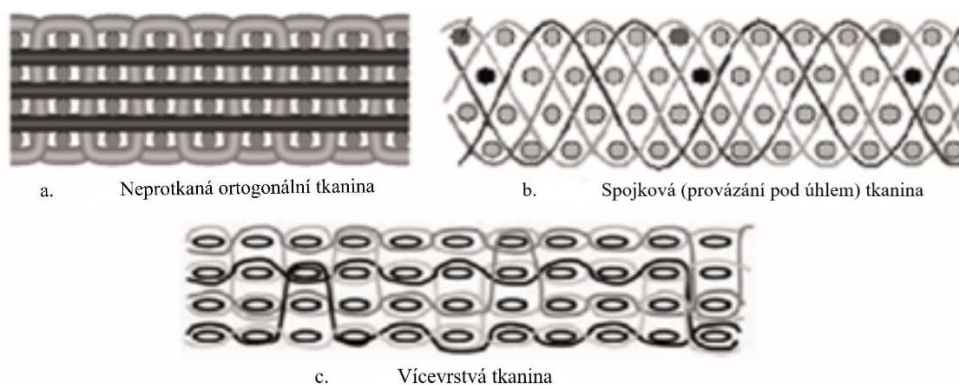
- c. Vícevrstvá

Strukturu tvoří na sebe kladené vrstvy, jejichž spojení může být docíleno protkáním nebo prošitím. Je možné použít i výplňkové/vycpávkové nitě.

Viz. c. na obrázku 1

- d. Protkaná trojrozměrná

Strukturu tvoří osnovní a útkové soustavy, které jsou provazovány za pomoci dvojího prošlupu, jak ve směru řádků, tak ve směru sloupců. Je možné použít i výplňkové/vycpávkové nitě. Mohou se lišit hloubka provázání a počet soustav i směr umístění výplňkových nití.



Obr.1: 3D plné tkaniny [16]

- 3D skořepinová tkanina

Strukturu tvoří jedna osnovní a jedna útková soustava a rozměru tloušťky je dosaženo za pomoci kombinace různých vazeb nebo kombinace různých hustot útku.

1.2 Kompozitní materiály

Vývoj 3D tkanin je spojen s vývojem kompozit, proto je důležité definovat, co jsou kompozitní materiály a kde se používají.

Kompozity jsou materiály, které se skládají z dvou a více odlišných materiálů. Spojení těchto materiálů má být spojením synergickým. Obecně mluvíme o spojení dvou fází, matrice a výztuže. Výztuž je pevnější nespojitá fáze a matrice je poddajnější fáze s funkcí pojiva. Tyto fáze musí mít makroskopicky rozeznatelné rozhraní a zároveň odlišné mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti.

Kompozitní materiály jsou provázány s industriálním užitím 3D tkanin, které se využívají jako materiál pro výztuže. 3D tkané výztuže slouží jako struktura, která je následovně spojena pryskyřicí a tvaruje se, čímž dochází ke stlačení vláken a zvýšení jejich hustoty v konečném materiálu. Z hlediska jejich konstrukce a výroby nabízejí 3D tkaniny řadu výhod ve srovnání s jednoduchými 2D tkaninami. 3D tkaniny se vzhledem k nízkým nákladům na výrobu primárně využívají jako výztuže v různých průmyslových odvětvích. Jedná se například o stavebnictví nebo automobilový a letecký průmysl.

Vláknenné kompozity, pod které 3D vláknenné kompozity řadíme, používají zejména kovová, skleněná, uhlíková, keramická nebo polymerní vlákna. [17] [47]

1.2.1 Porovnání 3D tkanin s 2D tkaninami

Pokud porovnááme 3D tkaniny s vrstvenými 2D jednoduchými tkaninami z hlediska využití pro kompozitní výztuže, zjistíme, že 3D tkaniny nabízejí tyto výhody [17]:

- Materiály s ortogonální a spojkovou kompozicí mají díky své propojené struktuře větší sílu ve směru tloušťky (Z) a také se projevují lepšími interlaminárními vlastnostmi. [38]
- Tyto materiály jsou komplikované z hlediska geometrie, což umožňuje vytvářet struktury blízké požadovanému finálnímu tvaru (near-net-shape). Tato schopnost může výrazně snižovat náklady, protože není třeba materiály napojovat, čímž se redukuje odpadní materiál i nutnost pracného vrstvení.
- Mohou sloužit jako výztuž z toho důvodu, že jejich rovinný plán má schopnost se nezvltnit a dosahuje vysokého poměru vláken, což vede k silné a zároveň lehké struktuře.
- 3D vícevrstvé tkaniny mají vysokou balistickou odolnost a dochází jen k malému poškození při rychlém nárazu, což je naopak velký problém u 2D tkanin. Vlákna ve směru Z přidávají pevnost v tomto směru, a tak zabraňují rozpojení materiálu i při zvýšeném tlaku. [38]
- Vysoce výkonná vlákna, jako jsou uhlíková, keramická, aramidová, křemenová a kovové příze, mohou být zaplétány do vícenásobné textilie o tloušťce až 2,54 cm a šířce 183 cm.
- Ke zvýšení síly mohou být použita výplňková vlákna. Zůstávají rovná, a proto se jejich síla plně uplatňuje ve směru jejich vložení. Spojovací vlákna jsou látkou protkaná, a to je důvod, proč se jejich síla nesoustředí jen ve směru tloušťky, kde se projeví primárně, ale i v kolmém směru.
- Látky se snadno tvarují do komplikovanějších tvarů, protože nevzniká protkání mezi osnovou a spojovacími vlákny. Tím pádem je materiál ohebný, nenarušuje se jeho plošná pevnost a nevzniká plošné zvlnění.
- Při tvarování (s užitím pryskyřice) kompozity s 3D tkanou výztuží rychleji vysychají při otevřeném i uzavřeném tvarování, což zkracuje čas modelace. Tato rychlost je dána strukturální pravidelností a vnitřní otevřeností vláknenné struktury,

kteřá je ovlivněná umístěním vláken ve směru Z. Navíc vlákna ve směru Z slouží jako kapilární kanály, které pomáhají pryskyřici snáze proniknout do vnitřku tkaniny. Zvýšená propustnost se projeví ve zkrácení výrobního časového cyklu.

Přestože jsou tyto materiály obecně dražší než 2D textilie, je nutné na ně pohlížet v kontextu jejich využití. Poté se projeví faktory jako jsou poměrné snížení pracovního vytížení, vyšší výkon 3D tkanin a zlepšení výrobního procesu. Z toho vyplývá, že pro určité průmyslové aplikace jsou 3D tkané výztuže nejen vhodnější z hlediska jejich mechanických vlastností, ale i cenově výhodnější.

1.3 Konstrukce

Konstrukce tkaniny je soubor parametrů, které definují složení tkaniny a její chování. Vychází z plošné geometrie a je definována na základě toho, k jakému účelu je tkanina použita.

Tvorba 3D tkanin na jednoprosáupným tkacím stroji je v principu založena na stejném principu jako tkaní 2D tkanin.

Tvorbu tkaniny na jednoprosáupným tkacím stroji je možné popsat tkacím cyklem s následujícími fázemi:

- I. otevření prošlupu – za pomoci prošlupního ústrojí dojde k vytvoření klínového prostoru z osnovních nití pro zanesení útku
- II. zanesení útku – za pomoci zanašeče je do prošlupu po celé šířce vložena útková nit
- III. zavření prošlupu – dochází ke změně polohy osnovních nití za pomoci prošlupního mechanismu a jejich následným překřížením je ohraničen zanesený útek

a příraz útku – zanesený útek je za pomoci paprsku přiražen ke tkanině a tkanina je odtažena odtahovým válcem

Jednoprosáupní tkací stroje můžeme dělit podle prošlupního mechanismu nebo podle prohozního mechanismu.

Podle prošlupního mechanismu dělíme na [46]:

- listové / vačkové prošlupní zařízení

- listové / listovkové prošlupní zařízení (rotační listovka)
- žakárské prošlupní zařízení

Podle prohozního mechanismu dělíme na [46]:

- mechanismy balistického typu s pevným zanašečem (člunkové, skřipcové)
- mechanismy kinematického typu s pevným zanašečem (jehlové)
- tryskové mechanismy se zanašečem ve formě média (vodní, vzduchové)

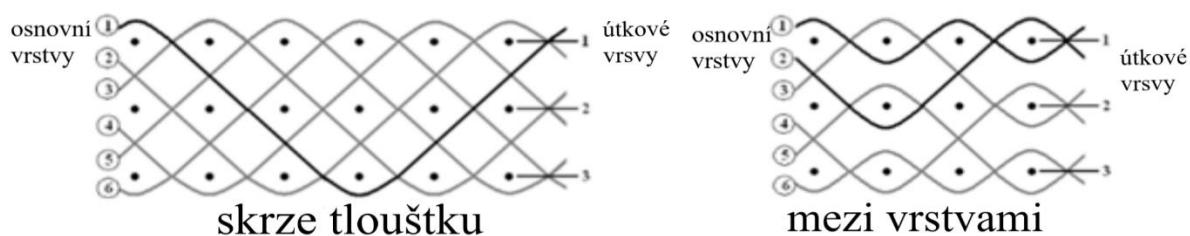
Výroba vícenásobných 3D tkanin je možná na jednopřšlupních 2D tkacích strojích, upravených jednopřšlupních 2D tkacích strojích a speciálních 3D tkacích strojích.

Princip výroby vícenásobné 3D tkaniny je založen na různých způsobech utváření těchto vrstev a jejich spojení. Spojení vrstev může probíhat za pomoci vnitřních (útkových nebo osnovních) nebo vnějších nití (spojovacích). Pro výrobu 3D tkanin na jednopřšlupních tkacích strojích se používají víceosnovní tkací stroje. U tohoto typu tkacích strojů je možné připojit naváděcí „spojovací“ soustavy. Dále je možné použít speciálně konstruovaných 3D tkacích strojů. Neexistuje však pouze jedna metoda 3D tkání nebo jedna verze 3D tkacího stroje. Obecně můžeme jako hlavní rozdíl mezi 2D tkáním a 3D tkáním označit přítomnost dvojího prošlupu u 3D tkání.

Jednopřšlupní tkací stroje s úpravou nebo bez úpravy je možné používat pro konstrukci 3D tkanin. Některé struktury lze vytvářet pouze na speciálních 3D tkacích strojích. [17]

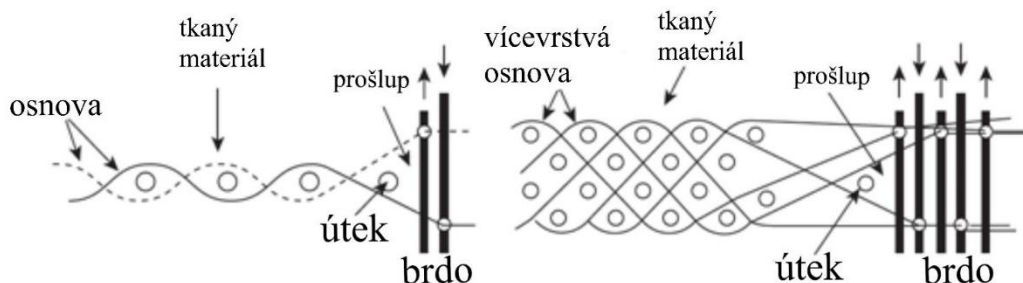
1.3.1 Konstrukce na jednopřšlupních tkacích strojích

1.3.1.1 Konstrukce spojkových tkanin

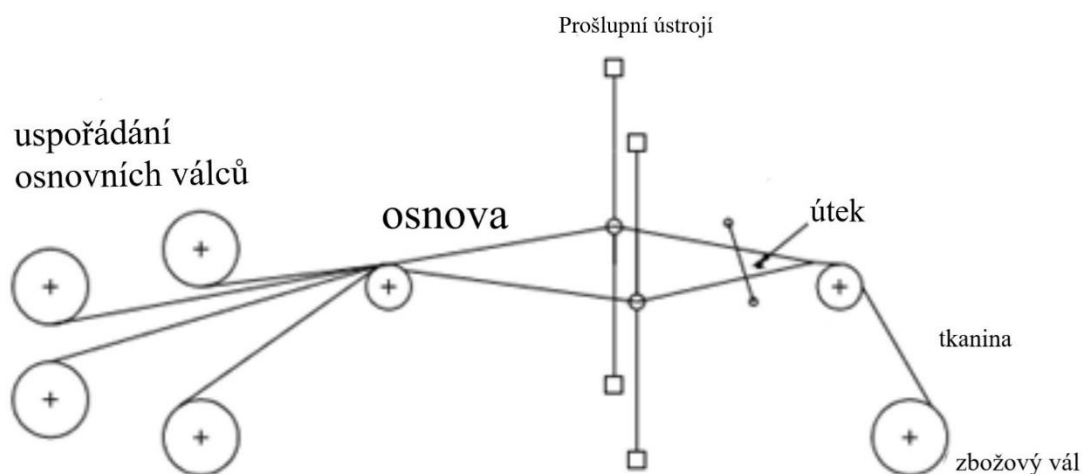


Obr.2: Ukázka spojkové tkaniny provázané skrze tloušťku (vlevo), spojkové tkaniny provázané od vrstvy k vrstvě (vpravo) [44]

Spojkové tkaniny jsou tkané na jednoproslupním tkacím stroji s více osnovními soustavami, přičemž vznikají dva typy spojkových struktur. Jde o struktury provázané skrze tloušťku a struktury provázané od vrstvy k vrstvě. Pro zlepšení mechanických vlastností v určitém směru je možné použít vycpávkových vláken. Více vrstev osnovy a útku utváří výšku (Z), délku (Y) a šířku (X) za pomoci protkáni osnovy a útku. Více osnovních vrstev je umístěno v délkovém směru a útky jsou zanášeny do prošlupů, které vznikají postupným otevíráním mezer mezi jednotlivými vrstvami, tomuto principu říkáme plný zdvih. Směry X, Y, Z nejsou u takovéto tkaniny umístěny kolmo na sebe. Není nutné používat vnější spojovací vláknenné soustavy. [16]



Obr.3: Ukázka procesu tkaní u spojkových tkanin [17]

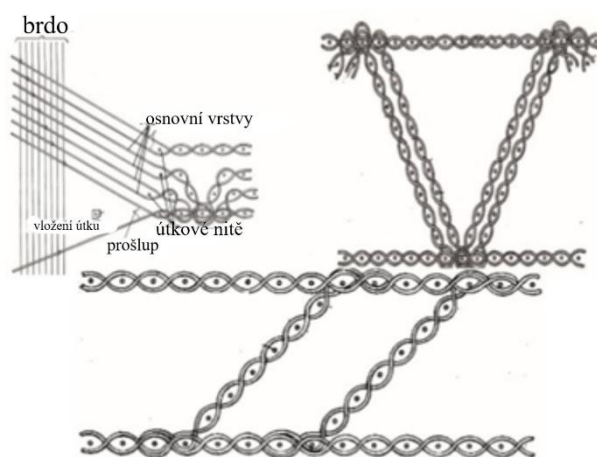


Obr.4: Ukázka tkacího stroje vhodného ke tkaní spojkových tkanin [44]

Dle komplikovanosti tvarů, které tkanina vytváří, je nutné přizpůsobit prošlupní mechanismus. Za pomoci principu plného zvedání jsme schopni na jednopřšlupních tkacích strojích vytvářet i skladatelné tkaniny. Efekt skladatelnosti vzniká strategickým propojením vrstev jednoduchých tkanin, jejichž výroba probíhá nad sebou.

Výroba dvou skladatelných spojkových tkanin na jednopřšlupních tkacích strojích:

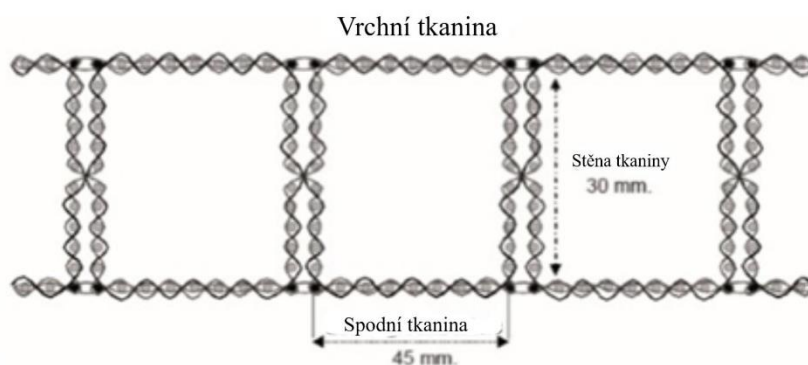
1. První typ 3D vícenásobné spojkové tkaniny se skládá z dvojitého žebroví spojujícího spodní a vrchní vrstvy. Tento typ 3D vícenásobné spojkové tkaniny má průřez ve tvaru I nebo V podle tvaru, který tvoří žebroví mezi vrstvami. Tyto tkaniny mohou být vytvořeny na jednopřšlupním tkacím stroji. Pro výrobu uvedených typů tkaniny musí tkací stroj používat 4 oddělené útkové soustavy a 8 oddělených listů, z nichž každý ovládá jinou skupinu osnovních nití. Oba uvedené typy mají schopnost skladatelnosti, ačkoli jsou vytvořeny na tkalcovském stroji. V okamžiku, kdy se tkanina sejme z tkalcovského stroje, uvolní se napětí a otevrou se průřezy ve tvaru I a V. [43].



Obr.5: Výroba a vzhled tkaniny s dvojitým žebrovím a vzhled tkaniny s průřezem ve tvaru I. [43]

2. Další typ 3D vícenásobné spojkové tkaniny se také skládá z dvojitého žebroví spojujícího spodní a vrchní vrstvy. Vrchní vrstva projde žebrovím a přechází ve spodní vrstvu atd., zatímco spodní vrstva projde žebrovím a přechází ve vrchní vrstvu. Tento typ vícenásobné spojkové textilie je navržen pro lehké kompozitní materiály. Ke tkaní zmíněného typu je nutná úprava jednopřšlupního

tkalcovského stroje a úpravy prošlupu a přírazu. Tkaní probíhá ve třech fázích; tkaní spodních a vrchních tkanin, tkaní stěn žebroví a zpětný pohyb plovoucích těsných tkanin (tvorba stěn tkaniny). [5]



Obr.6: Vzhled tkaniny s dvojitým žebrovím a střídanou vrchní a spodní vrstvou. [5]

1.3.1.2 Konstrukce skořepinových tkanin

Jedná se o speciální typ 3D struktury, jejíž tloušťkový rozměr není primárně závislý na počtu vrstev. Tento typ tkanin vzniká kombinací vazeb, typů přírazu nebo tvarováním. Může se jednat o vícevrstvou i jednoduchou tkaninu, výsledný produkt je však vždy trojrozměrný. Využívá se i metody stříhu a sešití.

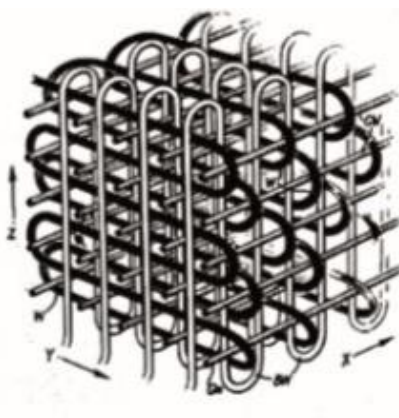
Jednoprošlupní tkaní však umožňuje vznik skořepinové tkaniny pouze za pomoci kombinací vazeb nebo změnou hustoty útku. Využíváme kombinaci vazeb s dlouhou a krátkou flotáží. Jako častý příklad kombinace vazeb se uvádí kombinace vazby plátňové, keprové (2/2) a atlasové (pětivazný). Plátňová vazba je nejpevnější a je umístěna doprostřed struktury, keprová vazba ji pak ohraničuje a tvoří tak střední kruh, pětivazný atlas tvoří vnější okruh. Kombinací různých délek flotáže u tkaniny s konstantní dostavou je dosaženo klenutého efektu.

Dalším způsobem vytváření skořepinové tkaniny je změna hustoty útku za pomoci změny odtahu tkaniny. V jednoduché 2D tkanině je snaha zachovat rovnováhu mezi přiváděním osnovy a odtahováním tkaniny, aby nevznikala nepravidelnost v hustotě útku. U skořepinových tkanin je dosaženo klenutého efektu za pomoci regulace a kombinace více předem zvolených rychlostí odtahu tkaniny na rozdělené šířce tkaniny. [50]

Tato metoda je efektivní a nenákladný způsob, jak vytvořit materiály, které potřebují pouze malý klenutý efekt. Pokud je však nutné vytvořit výraznější klenutý efekt, není tato metoda dostačující. [16]

1.3.1.3 Konstrukce neprotkaných jednoosých ortogonálních 3D tkanin

Neprotkané jednoosé ortogonální 3D tkaniny jsou tkané na jednoproslupných 2D tkacích strojích s více osovnými soustavami. Často jsou také označovány jako NOOB textilie, což je akronym pro Neprotkané, Ortogonální, Orientované a Propojené (Noninterlacing, Orthogonally Orientating and Binding). [22] Uvedené tkaniny mají odlišnou strukturu, pokud je srovnáváme s jednoduchými 2D tkanými textiliemi. Jedná se o tři vlákenné soustavy, které jsou orientované ve třech směrech (X, Y a Z). Vlákenné soustavy však nejsou vzájemně provázány.



Obr.7: Příklad jednoosé 3D tkaniny [14]

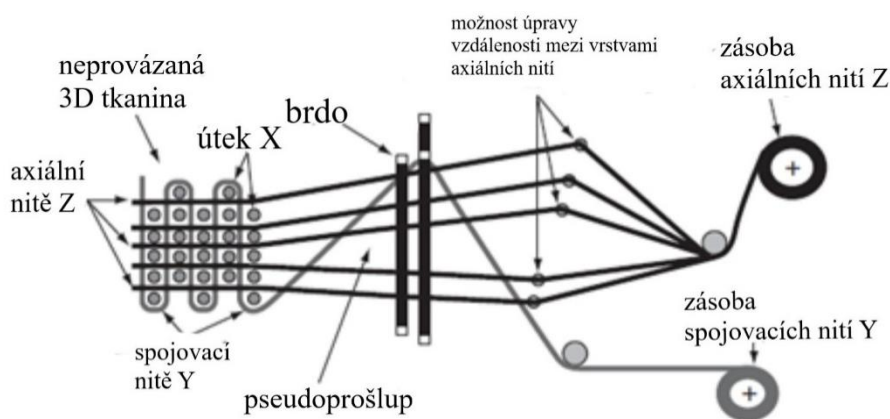
Spodní osovná soustava je orientovaná v řadách, které jsou umístěny ve směru X. Ve směru Y jsou umístěny útkové nitě, které tvoří sloupce mezi osovnými nitěmi ve směru Y. Ve směru Z jsou použity extra spojovací osovné nitě, které strukturu spojují. Pro prošlup je zapotřebí pouze jednoho paprsku, kterého je využito k zanášení spojovací osnovy ve směru Z, aby pevně držela zbytek vícevrstvé struktury.

Spodní osovná soustava prochází přes válec na zařízení, které vytváří vzdálenost mezi vrstvami pozemní osnovy (sady sloupců, které zajišťují horizontální rozdělení nebo tyče, které zajišťují toto rozdělení), následně pokračují do nitěnek. Předchozí horizontálně umístěné zařízení umožní otevření osnovy a mezi sousedními vrstvami spodní osovné soustavy vzniká mezera, tedy i prošlup a možnost zanesení útku. Pro každou z těchto vrstev jsou potřebné dvě tyče. Jedna je pod příslušnou vrstvou a jejím úkolem je zvednutí

vrstvy, druhá je naopak nad vrstvou a má za úkol ji snížit. Spojovací nitě jsou kontrolovány brdem, které se zvedá a zvyšuje.

Tkaní pak probíhá následovně: Když je brdo ve spodní pozici, jsou všechny tyče ve spodní pozici a slouží ke zvednutí a snížení, kromě dvou tyčí, které drží jednu z vrstev. Ty se zdvihnou, vytvoří prošlup a dojde k prvnímu zanesení útku. Poté dojde ke zdvihu dalších dvou tyčí, které se přidají k prvním již zdviženým tyčím, vytvoří se znovu prošlup a dojde k dalšímu zanesení útku. Tento proces pokračuje až do zanesení posledního útku. Za pomoci paprsku dojde v dalším kroku k přírazu k čelu tkaniny, poté k zdvihu brda a zanesení vertikální spojovací nitě. Po dvojicích jsou pak tyče snižovány a po každém snížení dojde k zanesení útku, dokud není zanesena vertikální řada útkových nití. Na závěr cyklu dojde znovu k přírazu a brdo je sníženo k zanesení vertikální spojovací nitě.

[14]



Obr.8: Proces jednoosého 3D tkaní na upraveném jednoproslupném tkacím stroji [17]

1.3.2 Konstrukce 3D tkaniny za pomoci 3D tkaní

Hlavním principem 3D tkaní, které odlišuje tento proces od jednoproslupného tkacího stroje, je proces dvojího prošlupu. Ten můžeme obecně charakterizovat zanášením útku ve dvou různých směrech. Existují různé varianty 3D tkacích strojů. Tyto stroje umožňují různé vzorování, ale i prostorové uspořádání struktury, které většinou vychází z úpravy osnovního uspořádání v „mřížovém“ systému. Metody se mohou lehce lišit i pro stejný typ vzniklé struktury na základě různých patentů 3D tkacích strojů. [17].

1.3.2.1 Konstrukce neprotkané ortogonální jednoosé 3D tkaniny

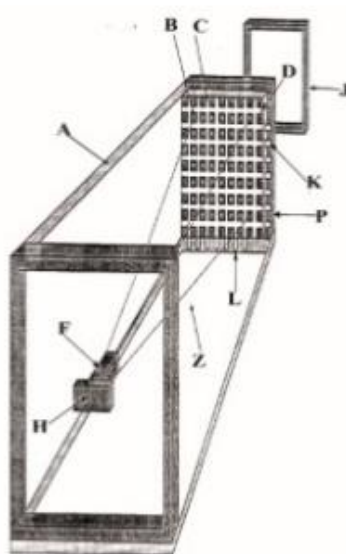
Obecně se jedná o „mřížově“ uspořádanou osnovu, která tvoří řady a sloupce, do kterých jsou vkládány útky. Přířaz probíhá za pomoci mřížového paprsku. Pro ilustraci jsou v diplomové práci uvedeny 3 patentované tkací stroje:

1. Khokar, 2002
2. Fukuta et al., 1974
3. Weinberg, 1995

1. Khokar, 2002

Patent tohoto typu 3D tkacího stroje můžeme vidět na Obr. 9. Osnovní nitě jsou zaneseny ve směru Z ve formě sítě, tvoří tedy řady a sloupce, do kterých jsou zanášeny spojovací nebo útkové nitě ve směrech X a Y. Spojovací nitě tvoří uzavřené smyčky a propojují tkaninu.

Mřížové uspořádání je tvořeno deskou P, která má dvě vzorové dráhy (D a C) s vzájemně kolmým rozložením. Nosiče cívek a zařízení, které vedou spojovací nitě, se nacházejí v jedné rovině s povrchem desky P. Nosiče jsou umístěny na opačných koncích mezi drahami D a C. Otvory (B) na desce P jsou řazeny v řadách a sloupcích, aby umožnily průchod axiálními nitěmi (Z) a přířazu tkaniny (H). [22]

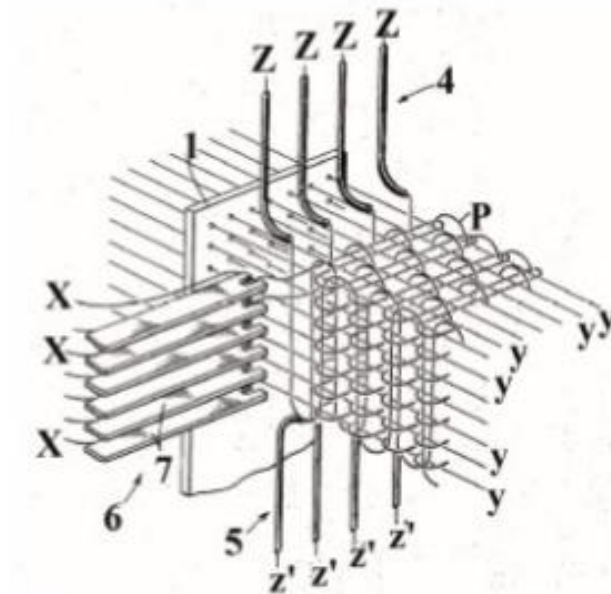


Obr.9: Výroba neprotkané ortogonální jednoosé 3D tkaniny na 3D tkacím stroji [22]

2. Fukuta et al., 1974

Patent tohoto typu 3D tkacího stroje můžeme vidět na Obr. 10. Osnovní nitě (Y) jsou umístěny v paprsku ve více vrstvách a za pomoci mřížového uspořádání vznikají sloupce a řady, které jsou rozmístěny v pravidelných rozestupech v horizontálním i vertikálním směru. Zařízení pro zanesení útkové nitě (6) je tvořeno prodlouženými člunkovými deskami (7) umístěnými od sebe ve stejné vzdálenosti, což umožňuje bezpečné zanesení útku do prostoru mezi vrstvami napnutých osnovních nití.

Při zanesení útkových (X) a vertikálních nití (Z) do horizontálně a vertikálně zarovnaných osnovních nití je zařízení pro zanesení útkové nitě (6) umístěno příčně nebo kolmo k osnovním nitím. Zároveň jsou zařízení pro zanesení vertikálních nití (4 a 5) ve spodní a vrchní zatažené poloze. Každá z útkových nití (X) vložená mezi osnovní nitě s dvojitým přeložením vytváří smyčku. Zařízení pro zanesení útkové nitě (6) je dočasně zastaveno, když je přední část útkových nití vysunuta z osnovních nití na opačnou stranu, aby umožnila zanesení spojovací nitě P. [12].

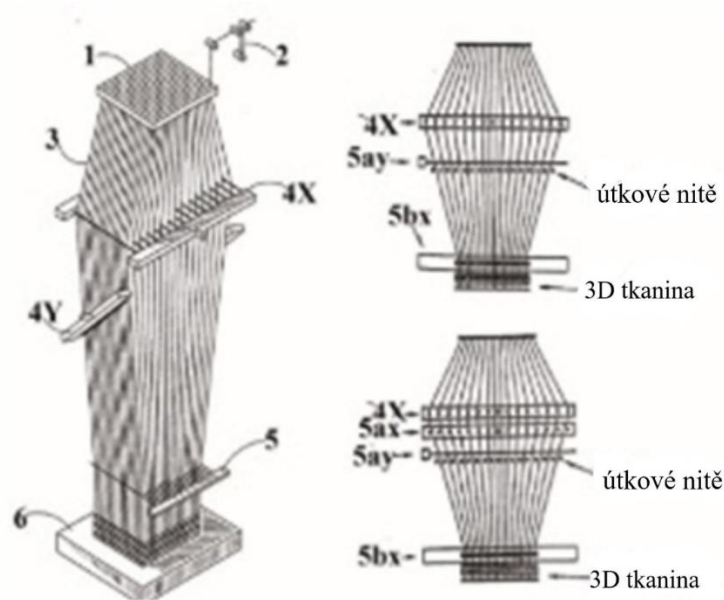


Obr.10: Specializovaný 3D tkací stroj pro výrobu neprotkané ortogonální jednoosé 3D tkaniny [12]

3. Weinberg, 1995

Patent třetího typu 3D tkacího stroje můžeme vidět na Obr. 11. Osnovní soustavy jsou napnuty mezi dvěma rovnoběžnými perforovanými panely. Vzdálenost mezi těmito

panely je dostatečná, aby umožnila prošlup a zanesení útku. Vrchní panel se může posunovat po osnovních nitích, zatímco spodní panel slouží jako zakotvení konců osnovních nití. K zanesení kolmých útkových nití může dojít v libovolném směru. [48]

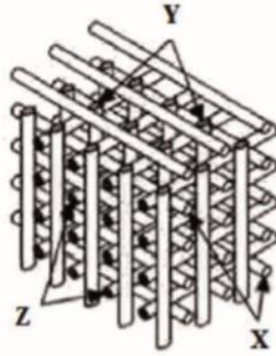


Obr.11: Weinbergova variace na 3D tkací stroj [48]

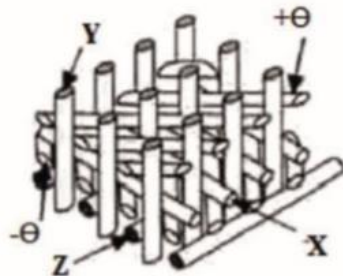
1.3.2.2 Konstrukce neprotkané ortogonální víceosé 3D tkaniny

Víceosé 3D tkaniny se liší od těch jednoosých přidáním úhlopříčných vláken ve směru $\pm 45^\circ$ od rovinné osy. Tímto se vyrovnávají nedostatečné vlastnosti v rovině mimo kolmé osy. Vlákná jsou orientována ve směru tloušťky v úhlu $\pm 45^\circ$. Nicméně vlákna v rozměru tloušťky pozitivně neovlivní vlastnosti výztuže v rovině a mimo osu. Vzhledem k tomu, že na jednoproslupných tkacích strojích není možné tato úhlopříčná vlákna zanášet, je nutné vytvářet specializované tkací stroje. [16]

Vzniklá struktura se skládá ze 4 vlákenných struktur; tří soustav vláken X, Y a Z ve vzájemně kolmém uspořádání a dodatečné rovné vlákenné soustavy (většinou jedna až dvě soustavy) v úhlopříčných směrech. [22]



Obr.12: Jednoosá neprotkaná ortogonální 3D tkanina [22]



Obr.13: Víceosá neprotkaná ortogonální 3D tkanina [22]

Pro ilustraci výroby neprotkané ortogonální víceosé 3D tkaniny jsou v diplomové práci uvedeny 2 patentované tkací stroje:

1. Anahara, 1993
2. Mohamed, 1995

1. Anahara, 1993

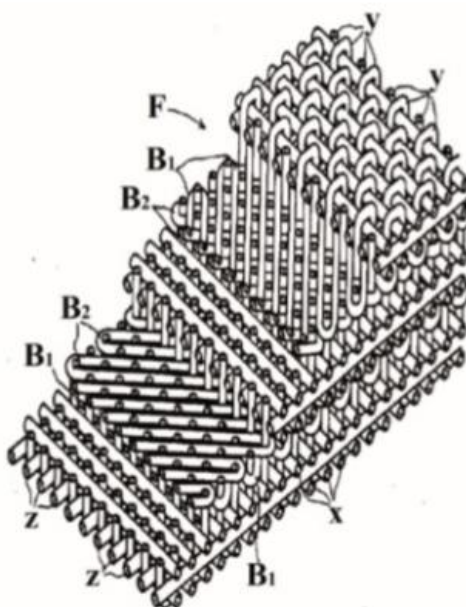
Speciální tkací stroj pro výrobu neprotkané ortogonální víceosé 3D tkaniny. V této tkanině je pět různých os, které společně vytvářejí tkaninu;

1. osnovní vlákna, která jsou umístěna ve směru délky tkaniny (Z)
2. útková vlákna, která jsou umístěna ve směru šířky tkaniny (X)
3. dvě soustavy úhlopříčných vláken, která svírají vzájemný úhel $\pm 45^\circ$.
4. spojovací vlákna umístěna vertikálně (Y)

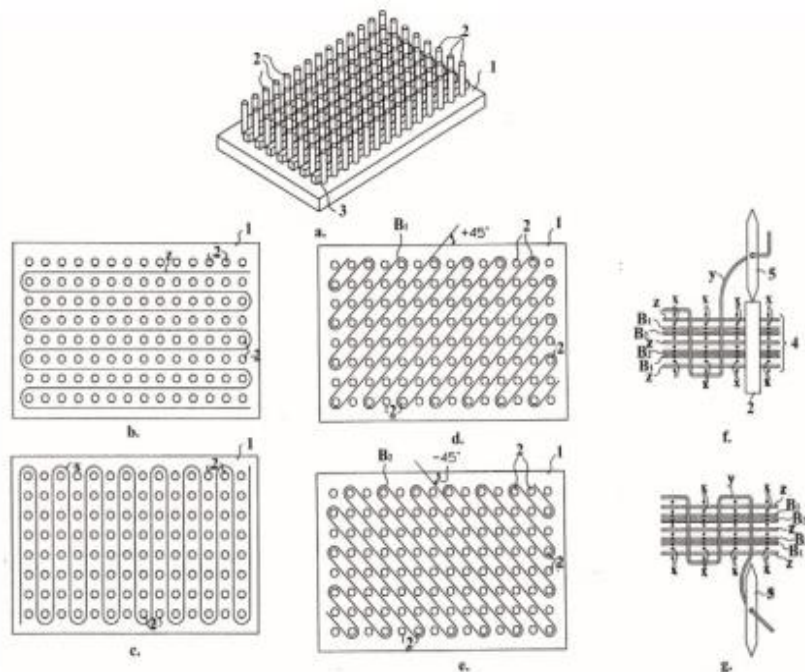
Soustavy vláken 1-3 jsou tedy v jedné rovině a jsou propojeny až čtyř vlákennou soustavou.

Patent prvního uvedeného typu 3D tkacího stroje můžeme vidět na Obr. 15. U výroby neprotkané ortogonální víceosé 3D tkaniny je využito rovného povrchu (1), v němž jsou umístěny kolíky (2), které se dají přemístit, což umožňuje změnu osového uspořádání. Podpurná tyč (3) může být umístěna mezi kolíky (2) na rovném povrchu (1). Linie útku (X), osnovy (Z) a obou úhlopříčných soustav jsou uspořádány mezi kolíky (2) a tvoří smyčku zpět okolo kolíků (2), které jsou umístěny podél obvodu povrchu (1). Soustavy útku (X), osnovy (Z) a obě soustavy úhlopříčných vláken jsou provázány v pořadí.

1. Osnovní vlákna jsou umístěna paralelně ve směru délky tak, že jsou opakovaně otáčena tam a zpět okolo kolíků. (b)
2. Útková vlákna jsou umístěna paralelně ve směru šířky tak, že jsou opakovaně otáčena tam a zpět okolo kolíků. (c)
3. Úhlopříčná vlákna 1 jsou umístěna v úhlopříčkách ve směru šířky tak, že jsou opakovaně otáčena tam a zpět okolo kolíků a svírají úhel $+45^\circ$. (d)
4. Úhlopříčná vlákna 2 jsou umístěna v úhlopříčkách ve směru šířky tak, že jsou opakovaně otáčena tam a zpět okolo kolíků a svírají úhel -45° . (e)
5. Poté, co jsou na sebe vrstvy umístěny v předem určeném pořadí, jsou kolíky vyjmuty z rovného povrchu a vyměněny za vertikální osnovní vlákna (f a g). [4]



Obr.14: Struktura víceosé 3D tkaniny [4]



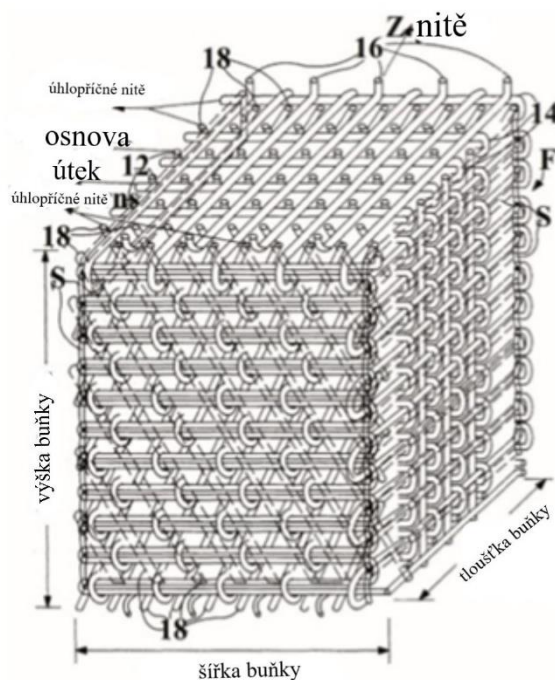
Obr.15: Výroba víceosé 3D tkaniny [4]

2. Mohamed, 1995

Patent druhého zmíněného typu 3D tkacího stroje můžeme vidět na Obr. 16. Tímto způsobem vzniklá tkaná struktura se skládá z více osnovních vrstev (12), více útkových nití (14) a více Z (spojovacích) nití (16), které jsou umístěny ve tloušťkovém směru tkaniny a \pm úhlopříčných vláken. Úhlopříčná vlákna se nacházejí v přední a zadní části tkaniny, přičemž jednotlivé části jsou propojeny spojovacími Z nitěmi. Výroba této struktury probíhá opakováním cyklu výroby tkaniny, dokud nedojde k dosažení požadované předem určené délky. Tkací cyklus je níže definovanými body:

1. Osnovní nitě uspořádány v systému řad a sloupců dle zvolené vazby.
2. Úhlopříčné nitě jsou vzájemně orientovány v úhlu $\pm 45^\circ$ na povrchu struktury.
3. Útkové nitě jsou umístěny do řad osnovních nití a smyčky útkových nití jsou upevněny za pomoci lemů na obou krajích tkaniny.
4. Spojovací Z nitě jsou umístěny do sloupců osnovních nití a překřížují útkové nitě.
5. Útkové nitě jsou znovu umístěny do řad osnovních nití a útkové nitě se tím vrátí do původní pozice.

6. Spojovací Z nitě jsou nyní znovu umístěny do sloupců osnovních nití, a tím se vrátí do původní pozice a zablokují umístění úhlopříčných a útkových nití.
7. Vložené nitě jsou přiřazeny k čelu tkaniny a tkanina je posunuta z tkací zóny na zbožový regulátor. [37]



Obr.16: Struktura víceosé ortogonální 3D tkaniny [37]

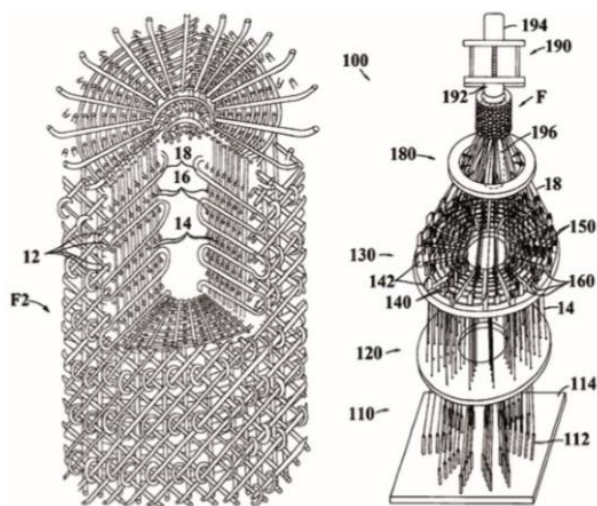
1.3.2.3 Konstrukce trojrozměrné víceosé válcové tkaniny

Trojrozměrná víceosá válcová tkanina, která má jádro, se skládá z pěti vlákenných soustav: axiální, obvodové, radiální a dvou úhlopříčných (orientovány v úhlu $\pm 45^\circ$ k podélným osám válcové tkaniny). Vzniká tak polární uspořádání.

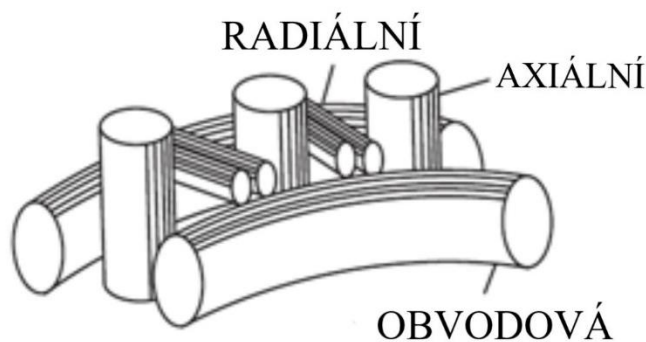
Pro ilustraci je uveden patent. Patent zvoleného typu 3D tkacího stroje můžeme vidět na Obr. 17. Úhlopříčné nitě se vyskytují na vnitřním a vnějším povrchu. Tkanina je vyráběna za pomoci víceosého kruhového tkacího zařízení, které se skládá ze čtyř částí: podávací jednotky (110), lůžka stroje (130), jednotky pro příraz (180), zbožového regulátoru (190). Postup výroby tkaniny je následovný [8]:

1. Rotace nosičů kladných a záporných úhlopříčných nití o jednu vzdálenost.
2. Rotace nosičů obvodových nití o jednu vzdálenost.

3. Posun nosičů radiálních nití mezi vnějšími a vnitřními kraji lůžkového stroje.
4. Vložené nitě jsou přiřazeny k čelu tkaniny a tkaná struktura je odstraněna z tkací zóny na zbožový regulátor.



Obr.17: Struktura vícevrstvé válcové 3D tkaniny a vícevrstvého kruhového tkacího zařízení [8]

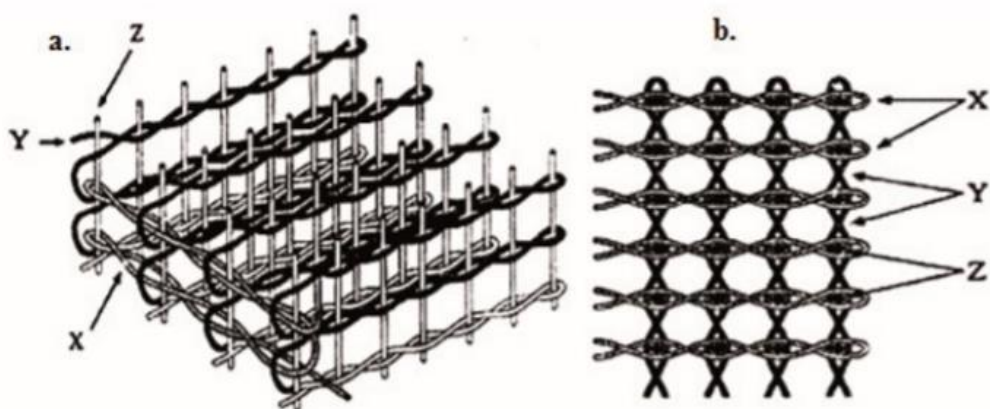


Obr.18: Ukázka polární struktury [17]

1.3.2.4 Konstrukce protkané trojrozměrné tkaniny

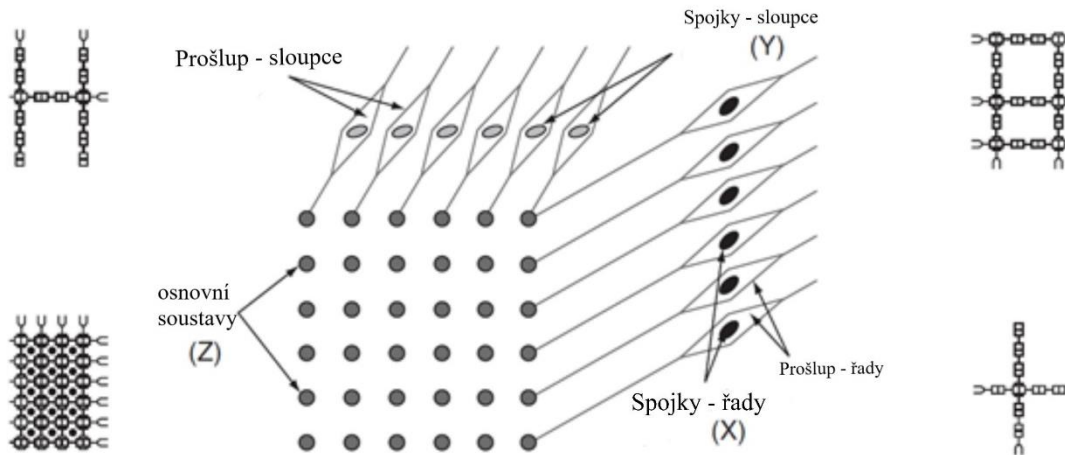
Účelem výroby plně protkané 3D tkaniny je vytvoření flexibilní struktury výztuže, která projevuje vysokou mechanickou sílu oproti zatížení, ale zároveň si uchovává výhody lehké váhy. Proces prošlupu vytlačuje mřížově uspořádanou osnovu (Z) ve směru tloušťky i šířky, což vede k tomu, že obě vzájemně kolmě uspořádané útkové soustavy

(horizontální X a vertikální Y) jsou zaneseny do vytvořených prošlupů. Protkáním osnov (Z) s vertikálními (Y) a horizontálními (X) útky vzniká plně provázaná tkanina. Vlivem provázání se tvoří zvlněné nitě ve všech třech směrech, což může být nevýhodou pro potenciální uplatnění tohoto typu tkané výztuže.

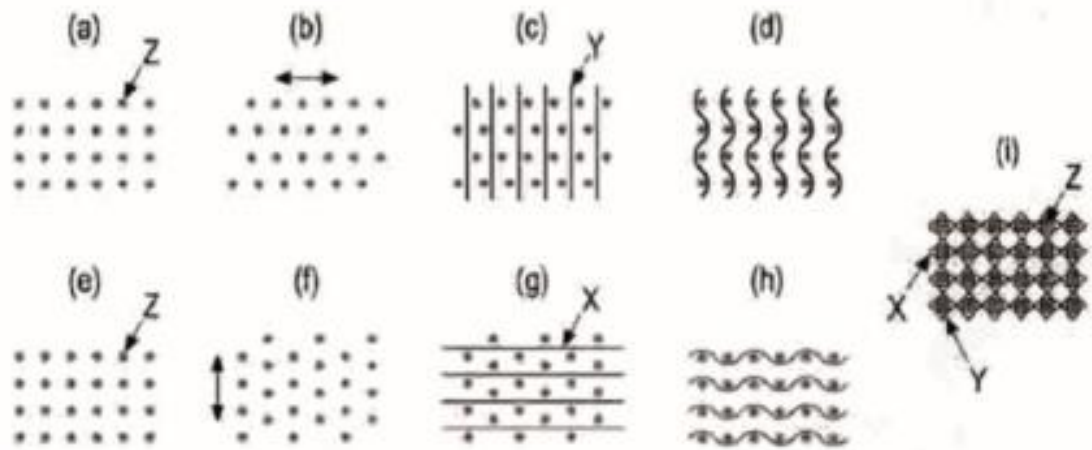


Obr.19: Protkaná trojrozměrná tkanina (a) pohled ze strany (b) pohled ze shora [13]

V tomto typu tkaniny jsou X a Y označovány jako horizontální a vertikální útkové nitě, které jsou příslušně provázány v řadách a sloupcích s vícevrstvou osnovní nití. Zanesení vícevrstevných osnovních nití se neaplikuje pouze ve směru tloušťky jako u ortogonálních 3D tkanin, ale také ve směru šířky. K vytvoření struktury je nutný dvojitý prošlup, který umožňuje prošlup v řadách a prošlup v sloupcích, aby mohlo dojít k vytvoření plně protkané 3D tkaniny. Skládá se z vícevrstvé osnovy (Z) uspořádané do mříže a dvou kolmých soustav útků (soustava X-horizontální soustava útku, soustava Y-vertikální soustava útku) (Obr.20). Počet útků musí vždy konvenovat s počtem prošlupů v odpovídajících směrech.



Obr.20: Schéma dvojitého prošlupu [17]



Obr.21: Postup dvojitého prošlupu a zanesení útků [23]

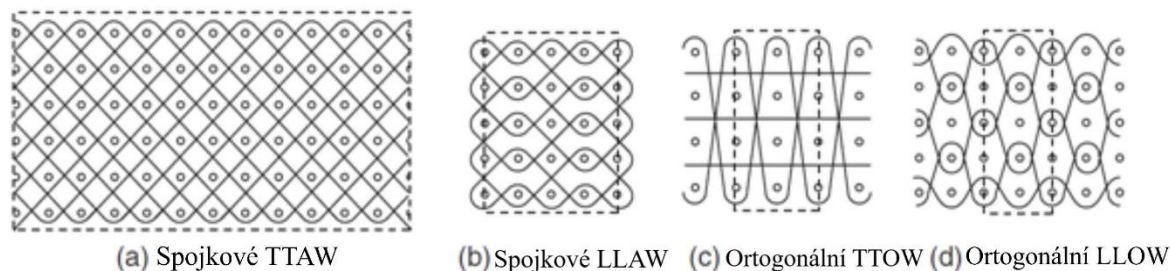
Výroba protkané trojrozměrné tkaniny probíhá opakováním tkacího cyklu (viz. Obr.21):

1. Vícevrstvá osnova (Z) umístěna do mříže je v počáteční pozici. (a)
2. Více prošlupů vzniká synchronizovaně v sloupcích (b), dojde k zanesení vertikálních útků Y (c) a následnému uzavření prošlupu. (d)
3. Více prošlupů vzniká synchronizovaně v řadách (f), dojde k zanesení horizontálních útků X (g) a následnému uzavření prošlupu. (h)

Sloupcové a řadové prošlupy vznikají postupně a odpovídající útkové nitě jsou do nich zanášeny ve směru tam a zpět, tímto způsobem vzniká plátňová 3D tkanina. (i) [16], [17]

2 Možnosti vzorování 3D tkanin

Různě konstruované tkaniny nabízejí i různé možnosti vzorování. Diplomová práce se zabývá spojkovými tkaninami. Z hlediska možností vzorování budou porovnány s ortogonálními tkaninami se zaměřením na rozložení nití a provázání spojkové nitě.



Obr.22: Možnosti vzorování [17]

K dispozici jsou dva základní typy propojení 3D tkaniny spojkové (provázané pod úhlem) a 3D ortogonální, ty se pak oba dále dělí na dvě podskupiny na základě toho, které vrstvy propojují spojovací nitě [17]:

- Spojkové – spojovací nitě spojující všechny vrstvy TTAW (through thickness angle interlock woven) (obr.22-a)
- Spojkové – spojovací nitě spojující jednotlivé vrstvy LLAW (layer to layer angle interlock woven) (obr.22-b)
- Ortogonální – spojovací nitě spojující všechny vrstvy TTOW (through thickness orthogonal woven) (obr.22-c)
- Ortogonální – spojovací nitě spojující jednotlivé vrstvy LLOW (layer to layer orthogonal woven) (obr.22-d)

Použitím vzorování je možné upravit vlastnosti výsledné tkaniny. Yi a Ding (2004) zkoumali rozdíly vlastností mezi výše uvedenými typy struktur. Jejich poznatky je možné shrnout následovně:

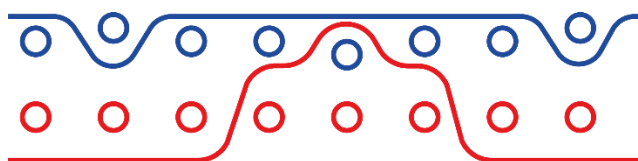
- Ortogonální spojení má větší poměr vláken ve struktuře, zvláště ve směru tloušťky než spojkové.
- Spojkové spojení přináší zvýšenou schopnost ohebnosti materiálu, proto je vhodnější volit tento typ vazeb pro komplexnější struktury.

3. Typ se spojením skrze různé vrstvy má díky možnosti překrývání různých vláken větší poměr vláken ve struktuře.
4. Hloubka penetrace spojek může ovlivnit výsledné vlastnosti tkaniny.

2.1 Vzorování spojkových tkanin

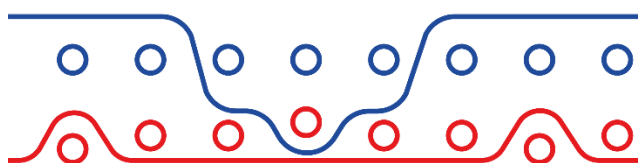
Pokud se zaměříme na vzorování spojkových tkanin, můžeme kromě vazby jednotlivých vrstev tkaniny měnit vzdálenost spojek a jejich rozložení z hlediska plošné geometrie tkaniny podle toho, kolik vrstev propojují, a které soustavy spojky tvoří. Tyto parametry stanovuje designér. Vzdálenost spojek je omezena pouze střídou vazby navrhované tkaniny a prošlupním mechanismem zvoleného tkacího stroje.

Pokud jsou spojky tvořeny osnovní soustavou mluvíme o osnovních spojkách. Osnovní spojky vznikají provázáním osnovních nití spodní tkaniny nad útkové nitě vrchní tkaniny. Osnovní spojky jsou také označovány jako spojky na zdvih.



Obr.23: Osnovní spojky (podélný řez) vlastní vizualizace [6]

Pokud jsou spojky tvořeny útkovou soustavou, mluvíme o útkových spojkách. Útkové spojky vznikají provázáním vrchních osnovních nití pod útkové nitě spodních tkanin. Útkové spojky jsou také označovány jako spojky na stah. Tyto spojky jsou tvořeny na místě, kde je vynecháno plnozdvihání.



Obr.24: Útkové spojky (podélný řez) -vlastní vizualizace [6]

Pokud jsou spojky tvořeny zároveň osnovní a útkovou soustavou, mluvíme o kombinovaných spojkách. [6]

Zkoumáním vlastností u spojkových tkanin s osnovními spojkami byly zjištěny tyto výsledky [18]:

- Zvyšování počtu vrstev u struktury zvyšuje sílu struktury. Pokud jsou struktury propojené osnovními nitěmi, je struktura silnější ve směru útku než ve směru osnovy.
- Strukturální stabilita vícevrstvé tkaniny se s vyšším počtem vrstev zvyšuje.
- U vícevrstvých struktur má kombinace vazby malý vliv na silové vlastnosti, ale hraje velkou roli ve strukturální stabilitě.
- Zvýšení hustoty spojek u vícevrstvých struktur obecně sníží sílu struktury, ale vliv na strukturální stabilitu není známý. Vliv na strukturální stabilitu může být ovlivněn podmínkami tkaní i rozptýlením spojek.
- Spojkové tkaniny umožňují větší prodloužení ve směru osnovním než ve směru útkovém.
- Větší množství vrstev spojkové tkaniny způsobuje obtíže s ohybem struktury, což se projeví v útkovém směru výrazněji než ve směru osnovním. Zároveň však množství vrstev má malý vliv na modul pevnosti.

3 Modelování základních parametrů a vlastností

Struktura tkaniny

Popis základních parametrů a vlastností tkaniny je v zásadě popisem její struktury. Strukturu tkaniny, o které často mluvíme jako o geometrii tkaniny, je nutné popisovat z hlediska plošné a prostorové geometrie.

Plošná geometrie je vymezena parametry jako jsou vazba, materiál nebo dostava. Je to soubor údajů, které definuje desinatér Tkanina je jimi však určena jen zčásti. Důležitou roli hraje také prostorová geometrie tkaniny, jejímž hlavním parametrem může být například zvlnění osnovy a útku ve vazné buňce tkaniny. Prostorová geometrie je ovlivněna typem a seřízením tkacího stroje. [42]

3.1 Plošná geometrie tkaniny

Struktura tkaniny může být hodnocena z hlediska plošné geometrie tkaniny. Plošná geometrie tkaniny popisuje hodnocenou tkaninu z hlediska vnějšího uspořádání, jak vzoru ve tkanině, tak také nití v jednotlivých soustavách. Vlastní konstrukce tkaniny se obvykle definuje souborem údajů stanovených desinatérem. [26] Níže budou popsány některé základní parametry, které určují plošnou geometrii tkaniny.

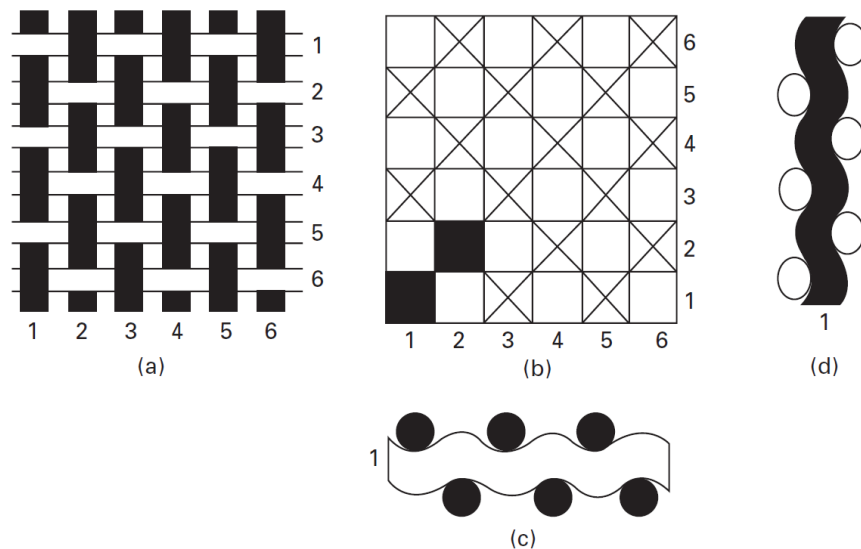
3.1.1 Materiál – jemnost použitých nití

Jemnost neboli měrná lineární hmotnost je definována jako hmotnost vlákna na jednotku jeho délky. V jednotkách [tex] jsou to gramy na 1 km.

$$T = \frac{m}{l} = \frac{l \cdot s \cdot \rho}{l} = \rho \cdot S \quad (1)$$

3.1.2 Vazba tkaniny

Vycházíme z vazného bodu jako základní jednotky vazby. Osnovní vazný bod je bod, u kterého leží osnovní nit nad útkovou nití a útkový vazný bod je bod, u kterého leží útková nit nad osnovní nití. Rozložením těchto bodů vzniká vazba. Strída vazby je pak nejmenší opakující se seskupení vazných bodů. [25]



Obr.25: (a) plátňová vazba (b) vzornice plátňové vazby (c) podélný řez (d) příčný řez [7]

Základní vazby jsou plátňová, keprová a atlasová. V této diplomové práci je pozornost zaměřena na popis pouze plátňové vazby ve vícenásobných tkaninách spojkových. Jde o vazbu nejjednodušší, s nejhustším provázáním. Střída vazby je tvořena dvěma osnovními a dvěma útkovými vazebnými body. Používá se pro základní popis modelových představ struktury tkaniny, který je případně možné rozšířit na jiné vazby. [26]

3.1.3 Dostava nití

Dostava nití popisuje počet nití na určitou jednotku délky. Počet nití se přepočítává na 1 cm nebo na 10 cm. Dostava útku je pak počet útkových nití na centimetr a dostava osnovy je počet osnovních nití na centimetr. Pokud jsou obě dostavy stejné, mluvíme o čtvercové dostavě. [39]

3.2 Prostorová geometrie tkaniny

Prostorová geometrie tkaniny popisuje údaje hodnocenou tkaninu z hlediska vnitřního uspořádání nití v jednotlivých soustavách. Prostorová geometrie je ovlivněna typem a seřízením stroje (špatným seřízením může dojít k přepětí osnovní soustavy, což se odrazí na výsledné struktuře tkaniny). Lze dosáhnout toho, že tkanina téže konstrukce může být za různých podmínek nebo na různých strojích setkána v poněkud odlišných prostorových

strukturách provázání. [26] Níže budou definovány některé základní parametry, které určují plošnou geometrii tkaniny.

3.2.1 Vazná buňka

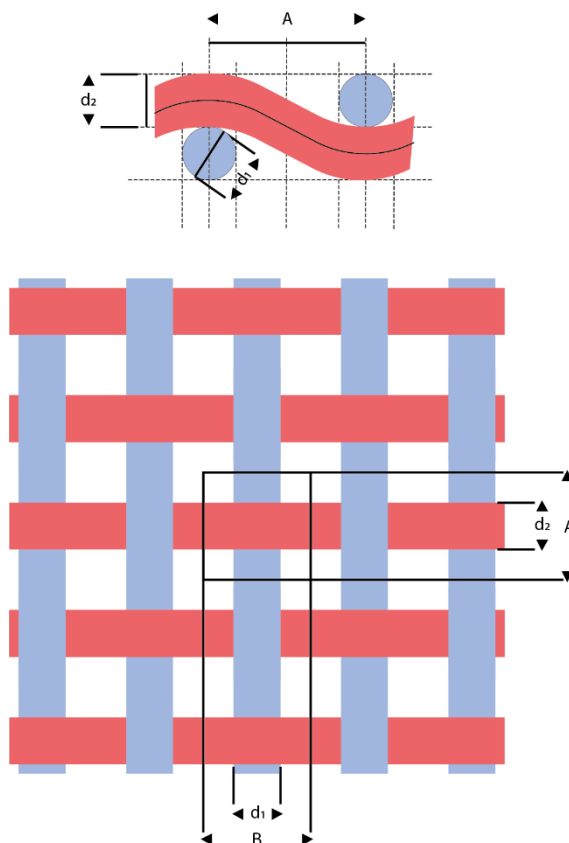
Vazná buňka je základní jednotkou tkaniny. Jedná se o okolí jednoho zakřížení osnovní a útkové nití.

Vazná buňka je definovaná roztečí útkových nití (A), která určuje hloubku buňky ve směru podélné osy [42]

$$A=1/D_u \quad (2)$$

a roztečí osnovních nití (B), která definuje šířku buňky.

$$B=1/D_o \quad (3)$$



Obr.26: Vazná buňka tkaniny a řez vaznou buňkou – vlastní vizualizace [42]

3.2.2 Plošné zakrytí tkanin

Plocha vazné buňky je z části zakryta osnovní a útkovou nití. Rozeznáváme zakrytí osnovní (K_o) nebo útkovou nití (K_u) a celkové plošné zakrytí (K). Stupeň zakrytí nikdy nepřekračuje hodnotu 1 (100 %). [25]

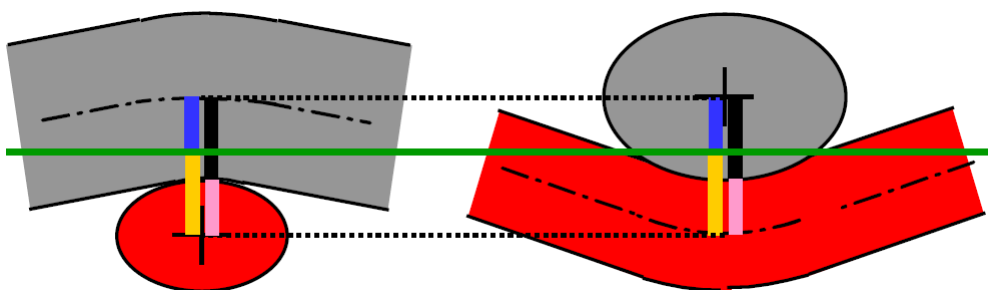
$$K_o = \frac{\text{"plocha" osnovní nití}}{\text{plocha vazné buňky}} = \frac{d_o A}{AB} = \frac{d_o}{B} \quad (4)$$

$$K_u = \frac{\text{"plocha" útkové nití}}{\text{plocha vazné buňky}} = \frac{d_u B}{AB} = \frac{d_u}{A} \quad (5)$$

$$K = \frac{\text{viditelná půdorysná plocha nití}}{\text{plocha vazné buňky}} = \frac{d_o A + d_u B - d_o d_u}{AB} = K_o + K_u - K_o K_u \quad (6)$$

3.2.3 Zvlnění nití ve tkanině v příčném pohledu

Míra zvlnění nitě je výška vazné vlny, tedy největší vzdálenost osy od střední roviny.



Obr.27: Výška vazné vlny osnovy... h_o (!), výška vazné vlny útku... h_u (!) [40]

Zvlnění tkaniny popisuje vzájemný kontakt osnovních a útkových nití ve vazném bodě. Míru zvlnění nití ve tkanině, parametr e_o , e_u , je možné přibližně popsat užitím jednotlivých fází provázání vycházejících z práce Novikova. Ve své práci Novikov zavedl klasifikaci provázání tkaniny podle míry zvlnění obou soustav nití. Fází provázání je devět a jsou odstupňovány podle míry zvlnění osnovy e_o .

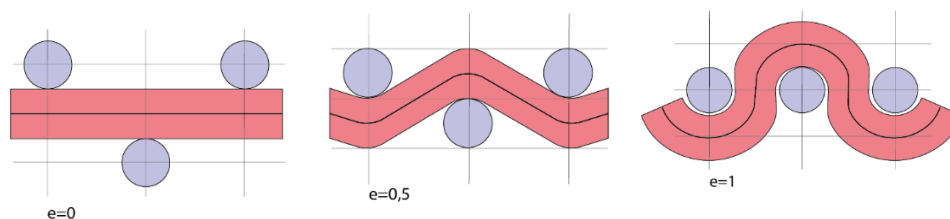
fáze 1 - $e_o = 0$... osnova napřímena

fáze 5 - $e_o = 0.5$

fáze 9 - $e_o = 1$... osnova maximálně zvlněná.

Fáze 1 a 9 představují krajní fáze. U fáze 1 nedojde ke zvlnění jedné ze soustav (osnovy nebo útku) a fáze 9 naopak zvlnění kompenzuje a nabývá maxima. Fáze 5 představuje

symetrickou nebo vyrovnanou tkaninu, kde obě soustavy nabývají stejné úrovně zvlnění [42].



Obr.28: Novikov – fáze zvlnění nití – vlastní vizualizace [33]

Zmíněné fáze můžeme také vyjádřit parametrem relativního zvlnění. Relativní zvlnění je poměr absolutního zvlnění osnovy nebo útku k celkovému zvlnění. Každá z hodnot relativního zvlnění leží v intervalu 0 - 1, mohou ale nabývat různých hodnot především v závislosti na roztečích, průměrech, ohybové tuhosti a osových napětích osnovních a útkových nití. [28] Pro vyrovnanou tkaninu je relativní zvlnění obou soustav stejné. $\xi_o=0,5$, $\xi_u=0,5$.

$$\xi_o = h_o/(h_o+h_u) \quad (7)$$

$$\xi_u = h_u/(h_o+h_u) \quad (8)$$

$$\xi_o + \xi_u = 1 \quad (9)$$

3.2.4 Tloušťka tkaniny

Tloušťka tkaniny je závislá na relativním zvlnění tkaniny nebo na zvlnění, které můžeme také popsat s pomocí fází podle Novikova. Pro maximální zvlnění jedné ze soustav (Novikov fáze 1, 9) platí:

Tloušťka tkaniny je

$$t = d_o + 2d_u \quad (10)$$

při stejných průměrech osnovní a útkové nití

$$t = 3d \quad (11)$$

Stejnou hodnotu zvlnění osnovy a útku bude mít tkanina např. budou-li obě soustavy nití stejné, budou mít stejné dostavy i stejné osově napětí. Pokud si relativní zvlnění obou soustav bude rovné, pak platí:

$$t = d_o + d_u \quad (12)$$

(Novikov fáze 5) [28]

3.3 Modelování parametrů prostorové geometrie tkanin

K modelování prostorové geometrie lze přistupovat různými způsoby. Je možné využít jistá zjednodušení, abychom se nezabývali množstvím zavádějících informací. Nelze ani opomenout, že každý vazný element reálné tkaniny je jiný. Model proto musí zobecňovat a co nejjednodušší formou vyjádřit co nejvíce obecných strukturálních rysů a vlastností společných pro větší počet prvků. Při tvorbě modelu hledáme vztah mezi technologickými vstupními parametry a zkoumanými vlastnostmi textilie.

Je nezbytné definovat na základě, jakých informací a zjednodušení budeme vytvářet model vazného prvku, tedy jaké jsou naše vstupní parametry.

Znalosti, ze kterých vycházíme:

1. Nitě a jejich vlastnosti, především pak
 - geometrie nezatížené nitě (tvar osy, průřezu, zaplnění...),
 - deformační vlastnosti nitě (ohybové apod., reologie deformace).
2. Proces výroby plošné textilie, charakterizovaný silovým působením na nit, ze kterého vyplývá deformace nitě a její výsledná geometrie v plošné textili.
3. Stav plošné textilie, na kterém závisí mimo jiné i obsah energie a silové působení mezi nitěmi ve vazných bodech. [28]

Předpoklady a zjednodušení, z kterých vycházíme, tedy který typ modelů tvoříme.

1. Mechanický, který respektuje deformace ve tkanině (podél i napříč). Tyto modely berou ohledy na mechanické síly ve tkanině. Z fyzikálního hlediska se jedná o nejkorektnější možnost, ale tento popis je často velmi obtížný.
2. Apriorně geometrický, který vychází z předem stanovených předpokladů o tvarech průřezů a os nití.
 - a) Osy nití
 - složené jen z úseček (Lineární model)
 - složené z kruhů, oblouků a úseček (Peircův model)
 - vytvořené jinými křivkami (harmonické, hyperbolické aj.)

- b) Průřezy nití ve vazném bodě tkaniny:
 - kruhové (Peirce)
 - jiné (elipsa, „čočka“, „Kempův průřez“ aj.)
- c) Zvlnění osnovy a útku:
 - vyrovnaná tkanina
 - nevyrovnaná tkanina [40]

Úroveň, na které vazební prvek popisujeme

- a) úroveň nitě
 - geometrie neutrální osy nitě v prvku,
 - geometrie průřezu nitě (v nejjednodušším případě původně válcové těleso kruhového průřezu), rozložení hustoty vláken v průřezu závislé na silových a dalších podmínkách apod.,
- b) úroveň vláken
 - geometrie neutrální osy vláken v nitě,
 - geometrie průřezu vláken,
 - morfologie vláken,
- c) úroveň makromolekulární (polymerní),
- d) úroveň molekulární, atomovou atd. [28]

Tato diplomová práce se zaměřuje na modely apriorně geometrické, a to na úrovni nitě a zabývá se modelovou představou vazné vlny – osy nitě ve vazné buňce. Geometrické modely příčných řezů vazné buňky vycházejí ze vstupních parametrů plošné geometrie tkaniny, jako jsou dostava a jemnost vstupního materiálu.

Základními výstupní parametry získanými z popisu vazné vlny jsou:

- délka nitě ve vazné vlně ve střídě vazby (platí pro osnovu i útek) – délka nitě, která odpovídá vazné vlně, ovlivňuje setkání nití v tkanině a dále také spotřebu materiálu při samotném tkaní;
- úhel provázání (platí pro osnovu i útek) – úhel provázání ve vazné vlně ovlivňuje silové, ale i deformační poměry nití v tkanině. [25]

Pro popis délky vazné vlny se nejčastěji používají Peircův model, model Hyperbolický, Parabolický, Lineární, Sinový (Kosinový) a Olofssonův model. V diplomové práci byly zvoleny modely Peircův a Lineární, protože přes relativní jednoduchost použitých výpočtů vykazují srovnatelné hodnoty délky vazné vlny ve srovnání s jinými

matematicky složitějšími modely. Při srovnání výpočtů jednotlivých modelů zjistíme, že se liší v setinách milimetru viz Tab. 1. [26]

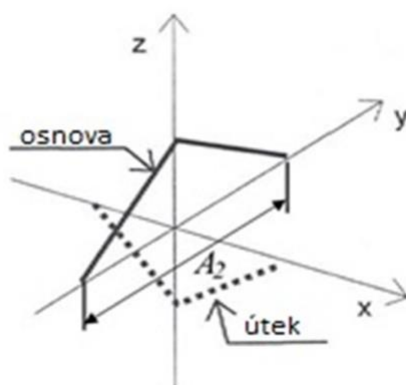
Tab.1: Srovnání výpočtu délky nitě-Kolčavová KVT [26]

Modely	Délka nitě [mm]
lineární model	0,219
hyperbolický model	0,223
parabolický model	0,226
Fourier model	0,226
sinus popis	0,224
Peirce model	0,229

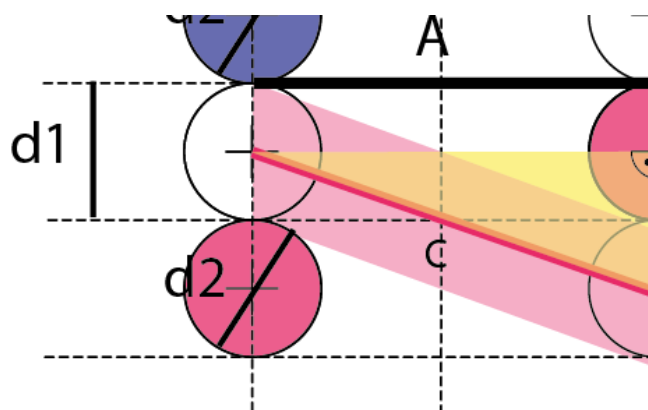
Dále jsou zde uvedeny modelové představy Lineárního a Peircova modelu, které pracují s vyrovnanou tkaninou v plátnové vazbě za předpokladu stejného průměru nitě a stejného relativního zvlnění.

3.3.1 Popis Lineárního modelu pro charakteristiku prostorové geometrie tkaniny

Tento model je jedním z nejjednodušších teoretických modelů používaných pro popis prostorové geometrie tkaniny. Nebere v úvahu skutečný tvar vazné vlny v příčném řezu. Všechna zakřížení a provázání nití jsou nahrazena úsečkou. [33]



Obr.29: Lineární model, plátnová vazba jednoduchá tkanina [33]



Obr.30: Modelová představa – Lineární model, plátňová, vyrovnaná tkanina – popis vychází ze struktury příčného řezu vícenásobné tkaniny

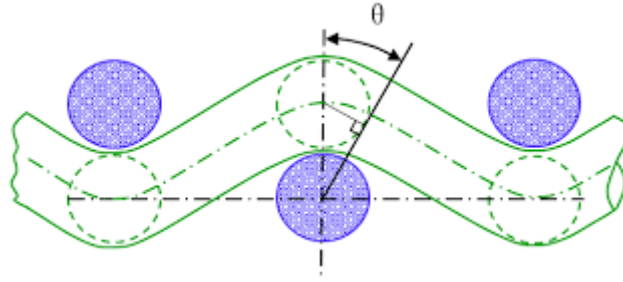
Výpočet vycházel ze vstupních parametrů: dostava a jemnost materiálu. Z těchto vstupních parametrů byla získána rozteč nití a efektivní průměr kruhového průřezu materiálu. Výstupním parametrem je délka nitě vazné jednoduché vyrovnané tkaniny. Délka je počítána jako přepona pomocného trojúhelníku.

$$C = \sqrt{(A^2 + d_{st}^2)} \quad (13)$$

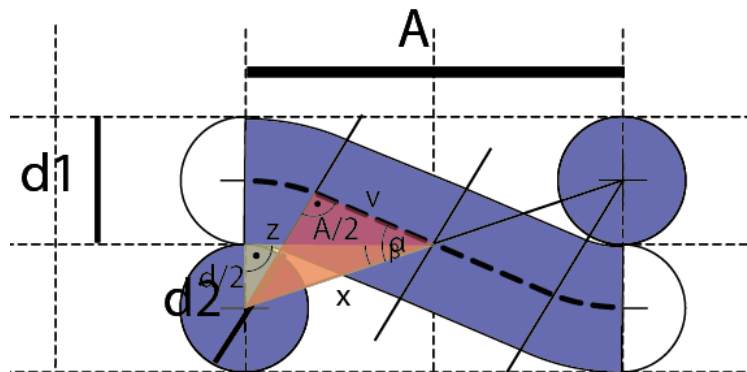
3.3.2 Popis Peircova modelu pro charakteristiku prostorové geometrie tkaniny

Peircův model, který byl publikován v roce 1937, vychází z kombinace oblouků a úseček a je dodnes nejpoužívanějším modelem. Peircův model započal systematickou studii geometrie tkaniny. Model plátňové vazby je tvořen na základě představy silně nestlačitelných přízí s kruhovým průřezem. Příze musí být zároveň dokonale ohebné, aby mohla být uplatněna představa, že mají všechny příze stejné zakřivení vzniklé kruhovým průřezem provázaných přízí.

Základem analýzy je odvození vztahu mezi geometrickým modelem a parametry jako jsou rozteč nití, výška vazné vlny, úhel provázání a tloušťka tkaniny. Model je optimální pro kalkulaci a strukturní vlastnosti tkaniny a je vhodnější pro velmi otevřené struktury. Předpoklady modelu, jako jsou kruhový průřez, uniformní struktura v podélném směru, perfektní ohebnost a nestlačitelnost, nejsou realistické, a proto omezují možnosti užití tohoto modelu. [8][40]



Obr.31: Peircův model, plátňová, vyrovnaná tkanina [30]



Obr.32: Modelová představa – Peircův model, plátňová, vyrovnaná tkanina

Výpočet vycházel ze vstupních parametrů: dostava a jemnost materiálu. Z těchto vstupních parametrů byla získána rozteč nití a efektivní průměr kruhového průřezu materiálu. Výstupním parametrem je délka nitě vazné jednoduché vyrovnané tkaniny. S využitím pomocných trojúhelníků byla vypočítána délka vazné vlny a ze vstupních aplikací goniometrických funkcí a Pythagorovy věty byla získána přepona prvního pomocného trojúhelníku x_{P1} :

$$x_{P1} = \sqrt{\left(\frac{A}{2}\right)^2 + \left(\frac{dstř}{2}\right)^2} \quad (14)$$

za pomoci x_{P1} délka úsečky v_{P1}

$$v_{P1} = \sqrt{(x_{P1}^2 - dstř^2)} \quad (15)$$

za pomoci goniometrických funkcí úhel provázání

$$\text{tg } \beta_{P1} = dstř/A \quad (16)$$

$$\sin \alpha_{P1} = dstř/x_{P1} \quad (17)$$

z úhlu provázání délka oblouku

$$O_{P1} = (\alpha_{P1} - \beta_{P1}) * \text{dstř} \quad (18)$$

z délky oblouku a délky úsečky byla finálně zjištěna délka vazné vlny pro polovinu rozteče útkových nití.

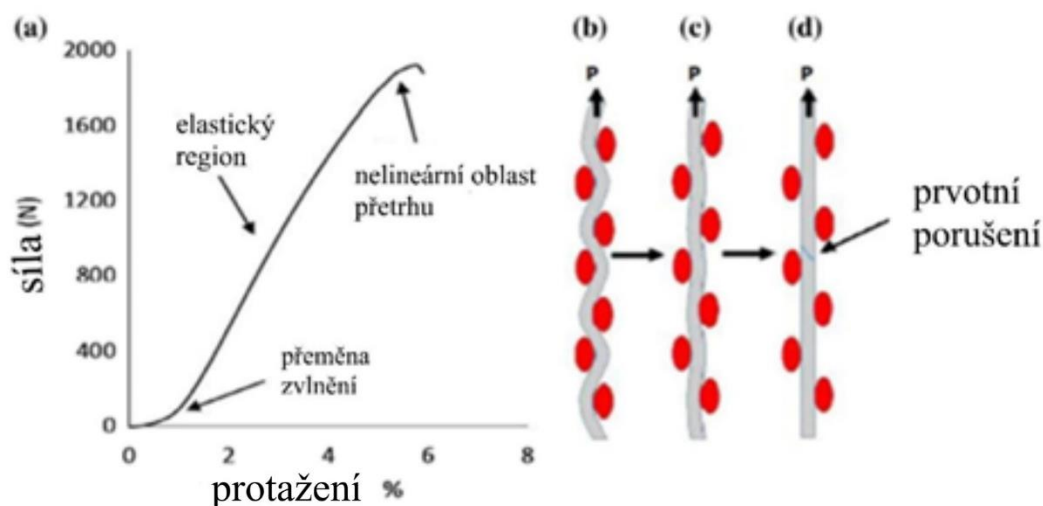
$$l_{P1} = O_{P1} + V_{P1} \quad (19)$$

4 Experimentální sada vzorků

Experimentální sada vzorků byla navržena tak, aby bylo možné zkoumat vztah mezi délkou vazné vlny a mechanickými vlastnostmi tkaniny.

Pro viskoelastický materiál jako je čedičový multifil můžeme tahovou křivku jednoosého namáhání rozdělit na tři fáze. V první fázi dochází k přeměně zvlnění, kdy je vyrovnána soustava v jejímž směru dochází k namáhání a druhá soustava je naopak zvlněna. V druhé fázi dochází k namáhání tkaniny, příze a vláken, tuto část nazýváme elastickým regionem. Ve třetí fázi dochází k náhodným přetrhům vláken ve svazcích příze, což vede k přetrhu, tuto část nazýváme nelineární oblast přetrhu. [3]

Pokud vycházíme z tohoto popisu chování tkaniny, předpokládáme, že první fáze tahového namáhání by měla být závislá na zvlnění tkaniny. Čím vyšší je zvlnění tkaniny, tím větší je délka vazné vlny. Pokud zvýšíme počet spojek ve tkanině, zvýšíme délku vazné vlny. S vyšším počtem spojek lze předpokládat, že tkanina bude mít delší proces výměny zvlnění, a proto je později narovnána. Vzorky navržené s větším počtem spojek na plochu by měly mít na základě tohoto předpokladu větší tažnost. Tento předpoklad byl ověřován za pomoci vzorků s různou distribucí spojek.



Obr.33: Tahová křivka s popisem jejích částí(a), výměna zvlnění(b), elastický region(c), nelineární oblast přetrhu (d) [3]

Zvoleny byly vzorky s následující distribucí spojek: 1 cm x 1 cm, 2 cm x 2 cm, 3 cm x 3 cm, 4 cm x 4 cm, 5 cm x 5 cm a vzorek vrstvené jednoduché tkaniny bez spojek.

- Vzorek 1 - distribuce spojek 1 cm x 1 cm
- Vzorek 2- distribuce spojek 2 cm x 2 cm
- Vzorek 3 - distribuce spojek 3 cm x 3 cm
- Vzorek 4 - distribuce spojek 4 cm x 4 cm
- Vzorek 5 - distribuce spojek 5 cm x 5 cm
- Vzorek 6 – vrstvená jednoduchá plátňová tkanina

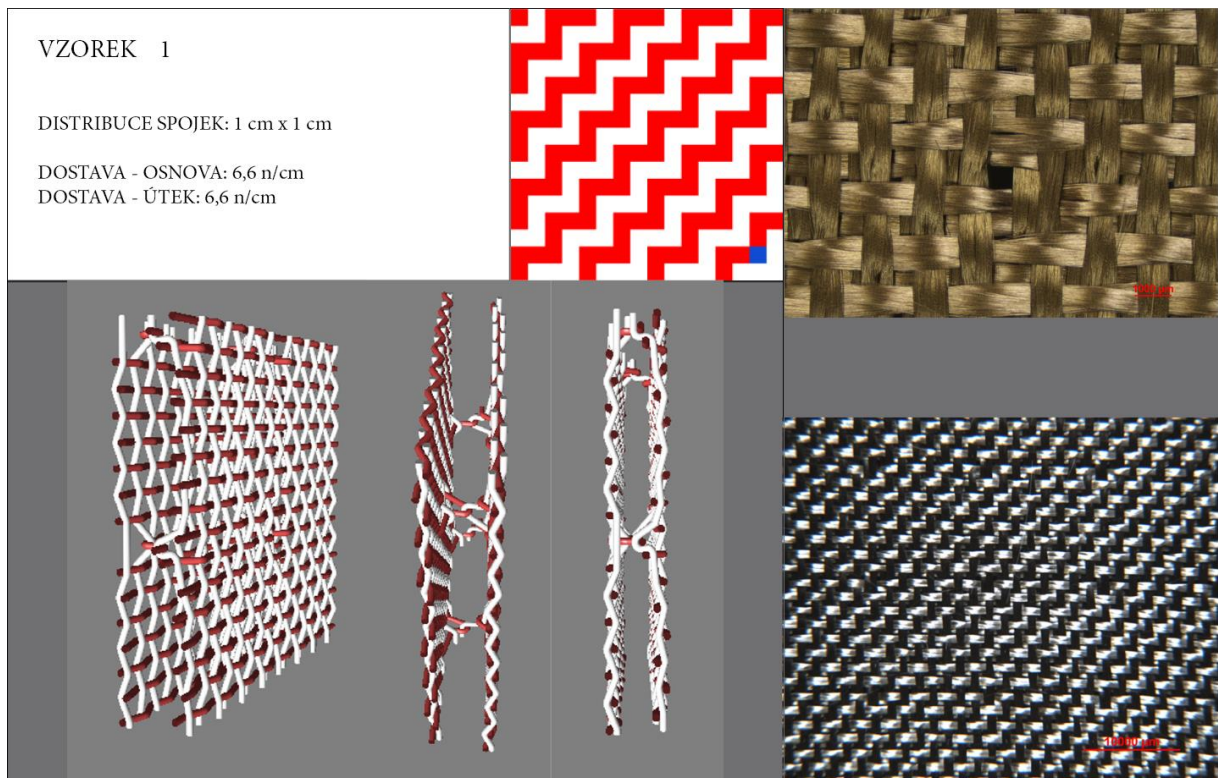
Experimentální řada tkanin byla vytvářena ve čtvercových střídách vazby. Dostava tkaniny byla stejná po osnově i po útku. Osnovu i útek tvořil stejný materiál.

$$d_{o,u}=0,340 \text{ mm}$$

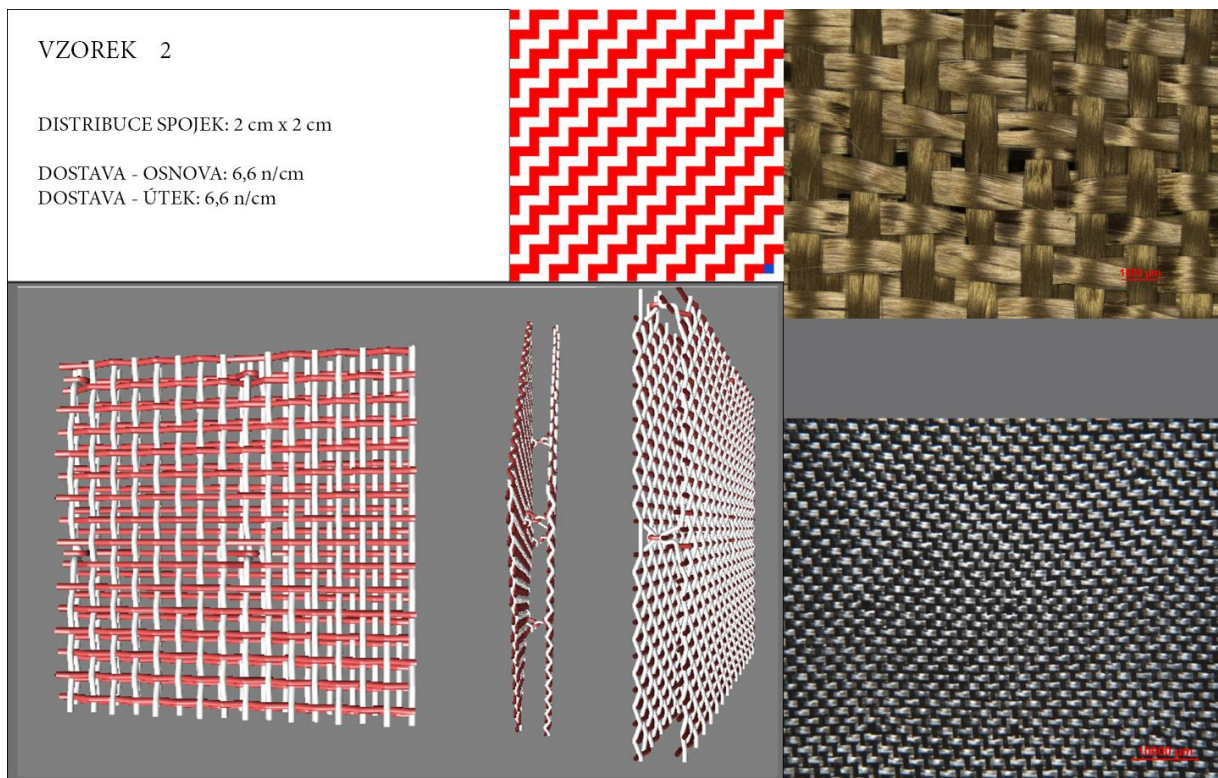
$$D_{o,u}=6,6 \text{ n/cm}$$

Všechny vzorky byly tkány za pomoci plného zdvihu. Vzorky byly navrženy s hypotézou, že vzorek s rozložením spojek 5 cm x 5 cm by se měl vlastnostmi blížit vrstvené tkanině bez spojek, a tedy si zachovat i její tuhost.

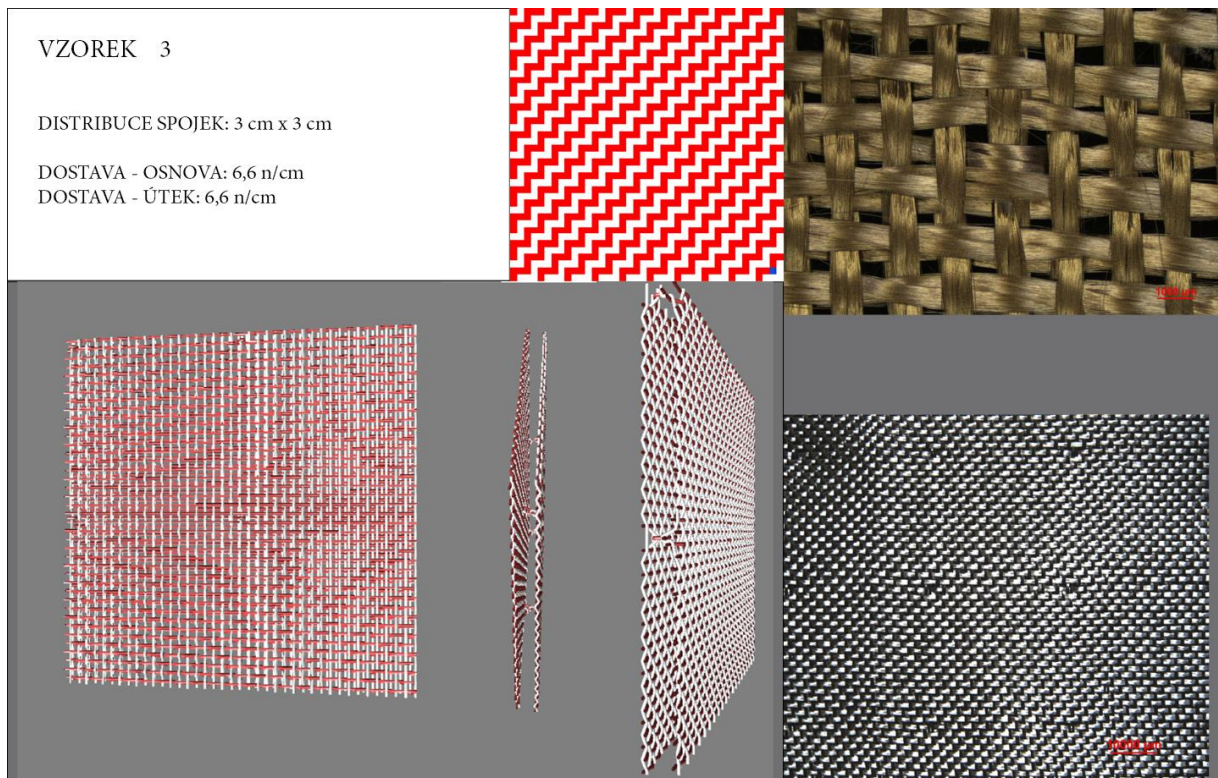
V programu EAT DesignScopeVictor byly zhotoveny vizualizace vzorků spojkových tkanin. Vizualizace byly vytvářeny pro čtyřnásobek střídy vazby pro všechny vzorky kromě vzorku 5. Vizualizace vzorku 5 byla nepřehledná, proto byla vytvořena pro vzorek 5 vizualizace pouze pro střídu vazby bez opakování.



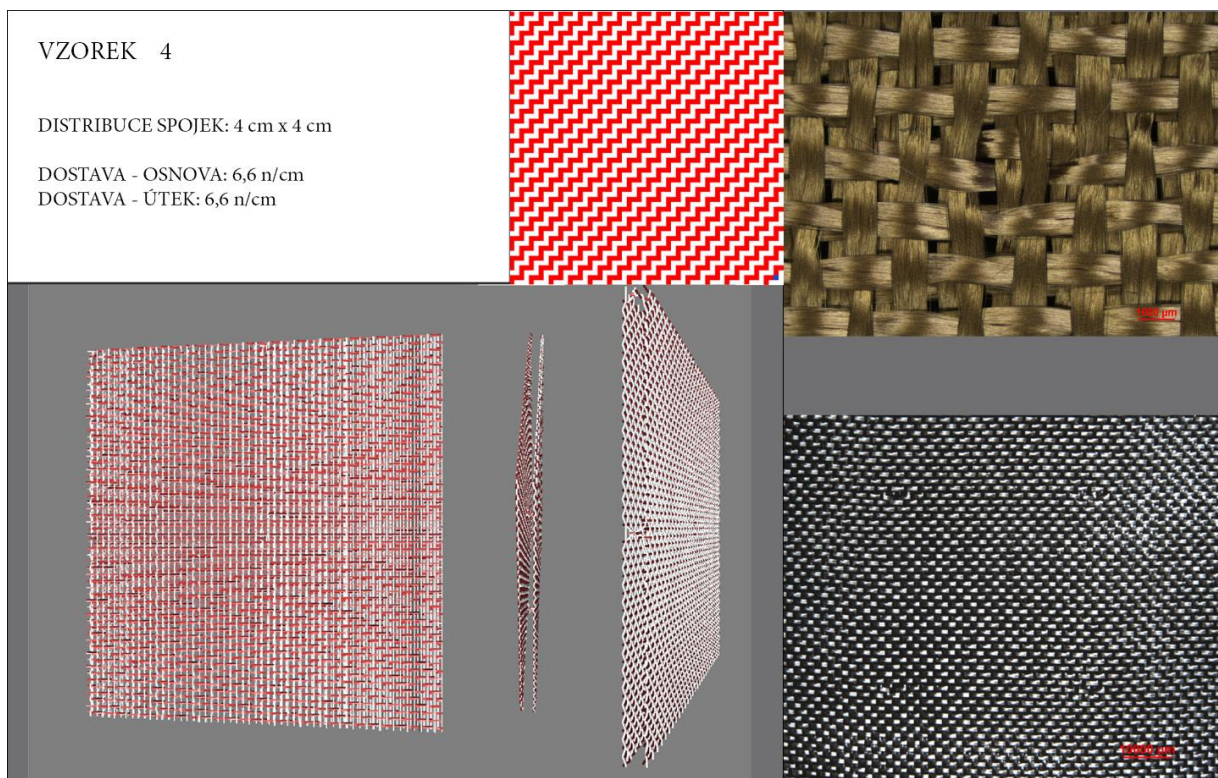
Obr.34: Vzorek 1, střída vazby, plošné snímky, EAD vizualizace



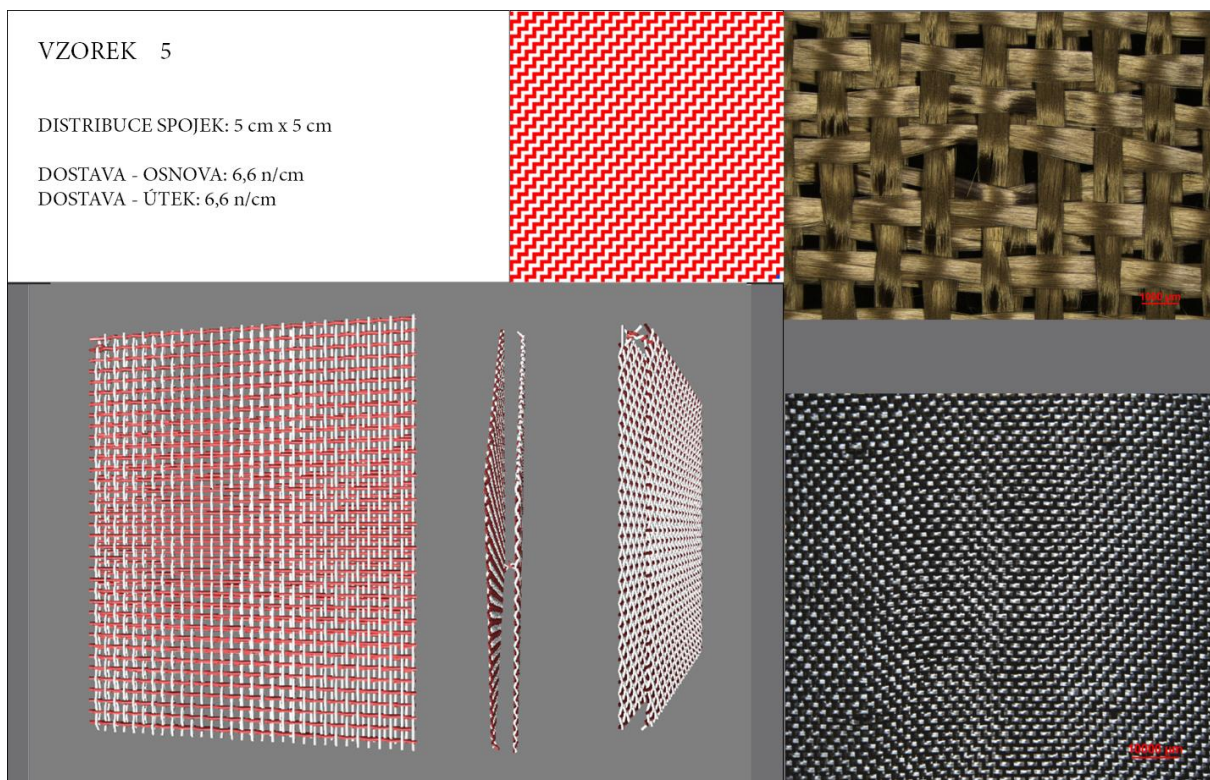
Obr.35: Vzorek 2, střída vazby, plošné snímky, EAD vizualizace



Obr.36: Vzorek 3, střída vazby, plošné snímky, EAD vizualizace



Obr.37: Vzorek 4, střída vazby, plošné snímky, EAD vizualizace



Obr.38: Vzorek 5, střída vazby, plošné snímky, EAD vizualizace

Tab.2: Základní parametry zkoumaných vzorků tkanin.

	<i>Vzorek 1</i>	<i>Vzorek 2</i>	<i>Vzorek 3</i>	<i>Vzorek 4</i>	<i>Vzorek 5</i>	<i>Vzorek 6</i>
d_u	0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm
d_o	0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm
<i>pořadí nitě se spojkou po osnově</i>	8	14	21	28	36	-
<i>pořadí nitě se spojkou po útku</i>	8	14	21	28	36	-

4.1 Vstupní materiál – Čedičový multifil

Čedičová vlákna patří mezi přírodní vlákna. Jedná se o ztuhlou lávu některých sopek, která obsahuje řadu kysličníků. Pro tato vlákna je typický křehký lom, na který je nutné brát zřetel při výrobě tkaniny. Pevnost čedičových vláken se pohybuje okolo 1,1-1,5 GPa, smykový modul zhruba 21,76 GPa a tažnost přibližně 2 %. Díky svým vlastnostem se čedičová vlákna často používají jako materiál pro výztuž kompozitních materiálů. Pro výrobu experimentální sady vzorků byl aplikován dvojmo skaný čedičový multifil o jemnosti 2x68 tex.

4.2 Výroba experimentální sady vzorků

4.2.1 Příprava pro tkaní, příprava útku, soukání

Nit pro útkovou soustavu byla převinuta z předlohového potáče na útkovou cívku. Při překročení určité délky materiálu převinutého z předlohového potáče docházelo k vzájemnému prokluzu vláken. Pokud došlo k prokluzu vláken na útkové cívce, docházelo pak při procesu tkaní k nerovnoměrnému dodávání útkové nitě. Nerovnoměrné dodávky vedly k nahrnutí útkové nitě a k jejímu přetrhu. Proto bylo nutné převíjet útkovou nit častěji po menších délkách. Aby se zabránilo vzájemnému prokluzu nití, byla útková cívka také vložena do pleteného obalu, který pomáhal zachovat získané navinutí nití.



Obr.39: Příprava útku-soukání, vlastní fotodokumentace

4.2.2 Příprava osnovy, snování

Za pomoci pásového snování byla získána osnova o požadované dostavě, šířce a délce. Z předlohového potáče byl materiál snován na snovací buben pás po pásu. Předlohový potáč byl po krátkých časových intervalech posouván ve směru snování, aby se výrazně nezvyšoval úhel opásání v průběhu snování.



Obr.40: Příprava osnovy-snování, vlastní fotodokumentace a vizualizace

Při převíjení na osnovní vál byla mezi vrstvy osnovy vložena potravinová folie, aby se zabránilo vzájemnému tření a propojení vrstev. Mezi osnovní vrstvy byly dle potřeby vkládány skládané pruhy papíru, které pomohly zachovat stejnou úroveň osnovních nití po celé šíři osnovního válce.



Obr.41: Příprava osnovy-snování, vlastní fotodokumentace

4.2.3 Navádění

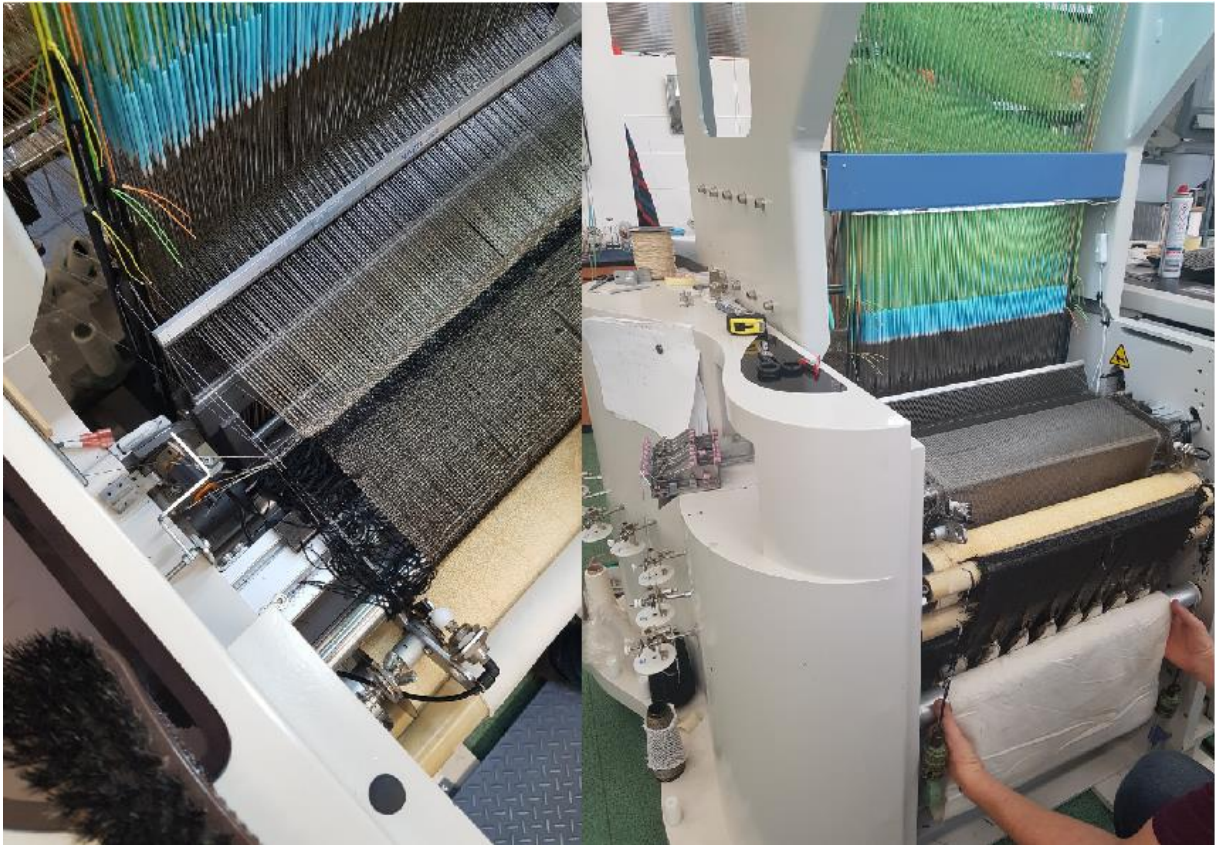
Vzorky byly vyráběny na jednoproslupním tkacím jehlovém stroji CCI se žakárským elektronickým proslupním mechanismem BONAS. Navádění probíhalo ručně. Vzhledem k velikosti stroje a možnosti kontroly tkacího procesu byly nitě navlékány přímo do žakárských nitěnek. Lamely na tomto stroji nejsou. Z důvodu menšího počtu nití v tkané tkanině, než je počet nitěnek žakárského brda na tkacím stroji, byla vynechána každá druhá řada nitěnek, střídalo se tedy 14 prázdných a 14 navedených žakárských nitěnek. Do paprsku byly pak vedeny nitě tak, aby v každém zubu byly 4 osnovní nitě pro zajištění zadané dostavy osnovních nití.



Obr.42: Příprava tkání – navádění, fotodokumentace

4.2.4 Tkaní

Diplomová práce se zaměřuje na spojkové 3D tkané výztuže vyráběné na jednoproslupním tkacím jehlovém stroji CCI se žakárským elektronickým proslupním mechanismem BONAS. Byla zvolena výroba na tkacím stroji se žakárským proslupním mechanismem, protože umožňuje větší vzorovací možnosti. U tkacích strojů s listovým proslupním mechanismem lze ovládat maximálně 24 listů, to znamená, že v listových tkaninách může být maximálně 24 různě provazujících nití. Tím je omezena velikost střídy vazby.



Obr.43: Tkání, fotodokumentace

Vícenásobné spojkové tkaniny je nutné tkát na základě principu plného zvedání osnovních nití. Tímto principem je možné tkát více jednoduchých tkanin nad sebou v rámci jednoho tkacího procesu. V případě, že se pracuje s plátňovou vazbou, střída vazby jedné jednoduché tkaniny je 2x2 a střída vazby dvojnásobné plátňové tkaniny je pak 4x4. Při zdvihu nití spodní tkaniny je nutné zvednout všechny nitě horní tkaniny. Pro více než dvojnásobnou tkaninu je nutné zvednout všechny osnovní nitě tkaniny, které jsou nad provazovanou osnovou tkané tkaniny. Při tkání spojkové nitě se nezvednou osnovní nitě horní tkaniny, které budou tvořit spojky. Vytváříme tedy vícenásobné spojkové tkaniny s útkovými spojkami.

Pro správné opakování vazby tkaniny musí být střída vazby dělitelná čtyřmi, protože máme plátňovou vazbu pro dvě osnovy, tedy dvě nitě pro každou osnovu z plátňové vazby. Pro navržení experimentální sady tkanin, kde se spojka opakuje se vzdáleností 1 cm, byl přepočten nití střídý zohledněn s dostavou nití ve tkanině. V daném případě nejbližší číslo násobku 7 (zaokrouhlená hodnota dostavy), které je dělitelné čtyřmi. Musíme, ale čísla násobit dvěma, abychom získali počet nití, který provazuje ve střídě. Počet nití pro horní vrstvu dvojnásobné tkaniny je polovina střídý.

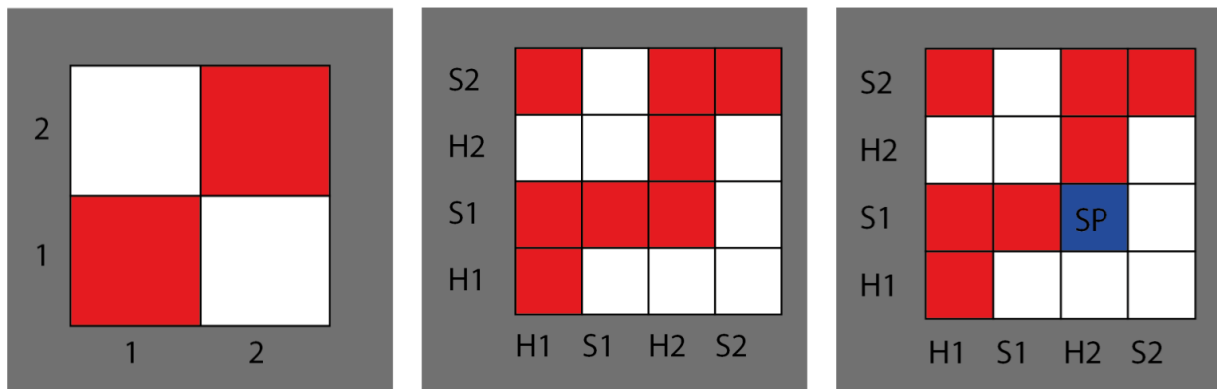
Na 1 cm $6,6 \div 7 = 7 \cdot 2$ nejbližší číslo dělitelné 4 je $16/2=8$

Na 2 cm $7 \cdot 2 = 14 \cdot 2$ nejbližší číslo dělitelné 4 je $28/2=14$

Na 3 cm $7 \cdot 3 = 21 \cdot 2$ nejbližší číslo dělitelné 4 je $40/2=20$

Na 4 cm $7 \cdot 4 = 28 \cdot 2$ nejbližší číslo dělitelné 4 je $56/2=28$

Na 5 cm $7 \cdot 5 = 35 \cdot 2$ nejbližší číslo dělitelné 4 je $72/2=36$



Obr.44: Modelová představa-Princip plného zdvihu, střída plátnové vazby, střída dvojnásobné plátnové tkaniny, střída dvojnásobné plátnové tkaniny se spojkou.

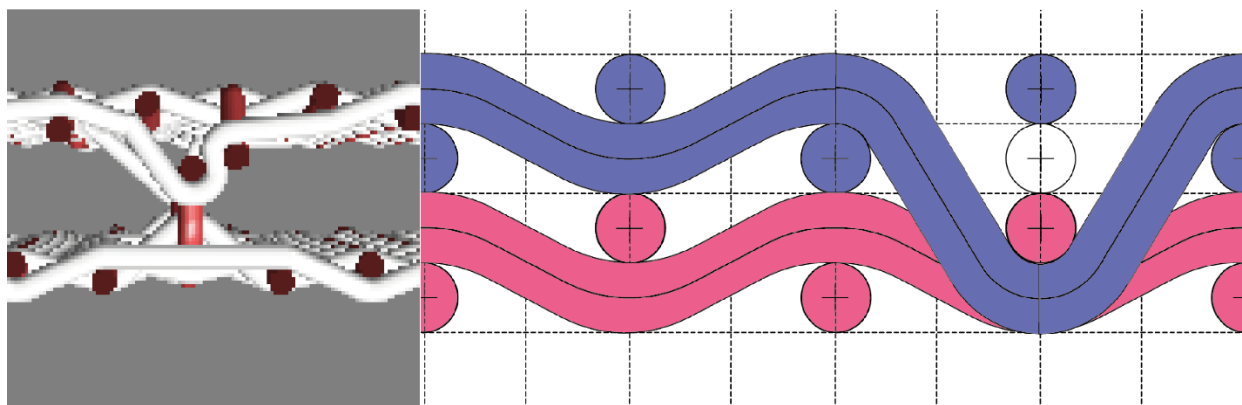
5 Popis prostorové geometrie pro vyjádření délky vazné vlny spojkové tkaniny

Na základě Lineárního a Peircova modelu pro jednoduchou tkaninu byla vytvořena modelová představa dvojnásobné spojkové tkaniny s plátňovou vazbou. Z předpokladů výše uvedených modelů byla vyjádřena a modelována představa délky vazné vlny v jednoduché vyrovnané tkanině s plátňovou vazbou.

Ve snaze vytvořit modelovou představu prostorové geometrie dvojnásobné spojkové tkaniny byla vytvořena základní představa dvou vyrovnaných jednoduchých tkanin s plátňovou vazbou, které leží nad sebou.

Vycházíme z představy vyrovnaných jednoduchých tkanin s čtvercovou dostavou, které jsou tvořeny stejným materiálem. Výpočet vycházel ze vstupních parametrů: dostava a jemnost materiálu. Z těchto vstupních parametrů byla získána rozteč nití a efektivní průměr kruhového průřezu materiálu. Stanovené parametry jsou pro obě na sobě položené tkaniny stejné. Vzhledem ke skutečnosti, že pracujeme s předpokladem vyrovnané tkaniny, můžeme se domnívat, že tloušťka tkaniny se rovná součtu průměrů osnovy a útku ($t = d_o + d_u$). Pokud jsou tedy dvě takové tkaniny nad sebou, vycházíme z předpokladu, že jejich tloušťka je dvojnásobek součtu jejich průměrů. Vycházíme-li z této představy spojkové tkaniny, můžeme mluvit o limitním stavu z pohledu tloušťky, protože nebereme v úvahu prostor mezi tkaninami.

Zaměříme se na popis vazné buňky, jíž prochází útková nit horní tkaniny, která propojuje obě jednoduché tkaniny a vytváří tak tkaninu dvojnásobnou. Výstupním parametrem je tedy délka nitě vazné vlny spojkové vyrovnané tkaniny s plátňovou vazbou.



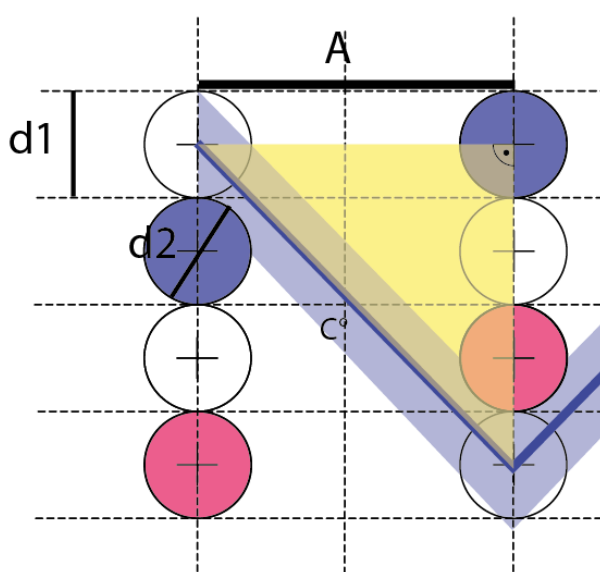
Obr.45: vizualizace spojkové nitě – program EAD, Peircův model-modelová představa

5.1 Lineární model dvojnásobné spojkové tkaniny

Představa dvojnásobné spojkové tkaniny, která vychází ze znalostí Lineárního modelu a z představy dvou jednoduchých plátnových vyrovnaných tkanin, ležících přímo nad sebou. Popisujeme tedy modelovou představu limitní struktury.

Výpočet vycházel ze vstupních parametrů rozteče a průměru nitě. Výstupní parametr – délka vazné vlny spojkové dvojnásobné vyrovnané tkaniny byla získána jako přepona pomocného trojúhelníku.

$$C^{\circ} = \sqrt{(A^2 + (3 * d_{stř})^2)} \quad (20)$$



Obr.46: Modelová představa limitní struktury – Lineární model, dvojnásobná, vyrovnaná tkanina, plátnová vazba

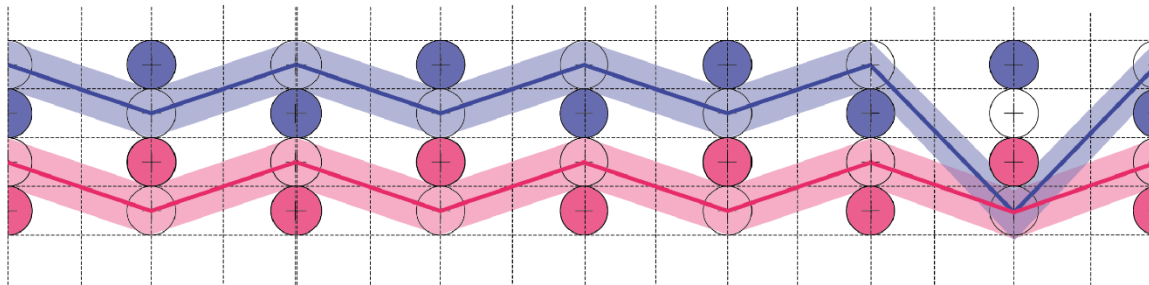
5.1.1 Délka vazné vlny ve střídě – Lineární model

Délka vazné vlny ve střídě byla vypočítána pro jednotlivé střidy vazeb za pomoci určení délky vazné vlny ve vazné buňce jednoduché vyrovnané plátnové tkaniny a vazné buňky dvojnásobné spojkové vyrovnané plátnové tkaniny. Vycházelo se ze stejné dostavy a jemnosti materiálu pro oba typy vazné buňky. Délka vazné vlny pro oba typy buňky byla založena na Lineárním modelu. Tyto vazebné buňky pak byly sečteny na základě vazby tkaniny pro daný experimentální vzorek.

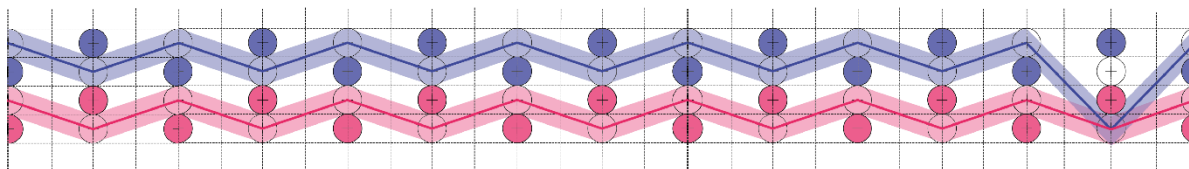
$$q_L = C^{\circ} * t + C * g \quad (21)$$

Za účelem srovnávání délky vazných vln jednotlivých vzorků byly údaje získané ze střídy vazby přepočítány, aby byla stanovena délka vazné vlny na 100 cm tkaniny.

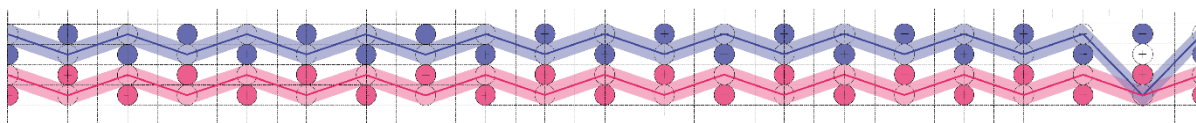
$$l_L^{\circ} = q \cdot f \quad (22)$$



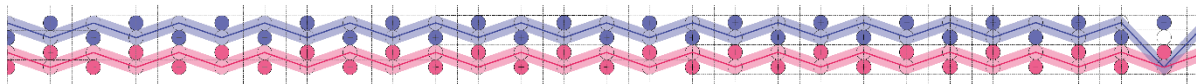
Obr.47: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 1



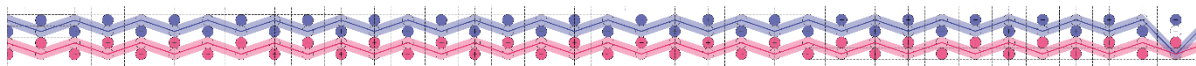
Obr.48: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 2



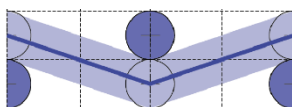
Obr.49: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 3



Obr.50: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 4



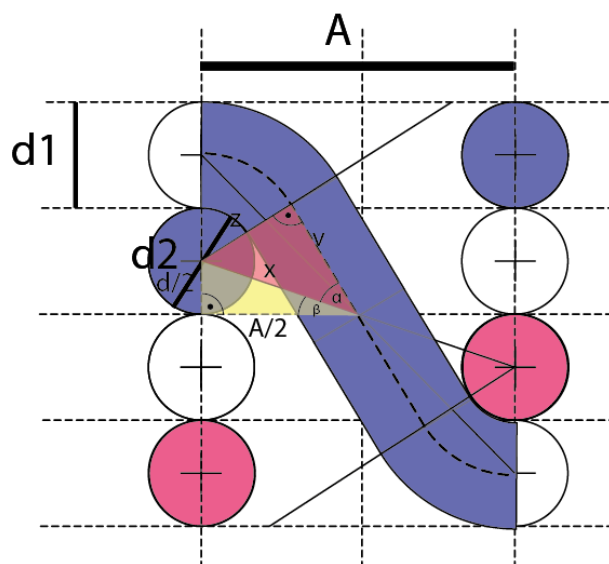
Obr.51: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 5



Obr.52: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 6

5.2 Peircův model dvojnásobné spojkové tkaniny

Představa dvojnásobné spojkové tkaniny, vycházející ze znalostí Peircova modelu a z představy dvou jednoduchých plátňových vyrovnaných tkanin, které leží přímo nad sebou. Popisujeme tedy modelovou představu limitní struktury.



Obr.53: Vlastní vizualizace – Peircův model, dvojnásobná, vyrovnaná tkanina, plátňová vazba

Výpočet vycházel ze vstupních parametrů rozteče a průměru nitě. Výstupní parametr – délka vazné vlny spojkové dvojnásobné vyrovnané tkaniny byla získána s využitím pomocných trojúhelníků. Bylo využito goniometrických funkcí a Pythagorovy věty.

Byla získána přepona prvního pomocného trojúhelníku x_{P2} :

$$x_{P2} = \sqrt{\left(\frac{A}{2}\right)^2 + \left(\frac{dstř}{2}\right)^2} \quad (23)$$

Za pomoci x_{P1} byla získána délka úsečky v_{P2}

$$v_{P2} = \sqrt{(x_{P2}^2 - dstř^2)} \quad (24)$$

Za pomoci goniometrických funkcí byl získán úhel provázání

$$\text{tg } \beta_{P2} = \text{dstř}/A \quad (25)$$

$$\sin \alpha_{P2} = \text{dstř} / x_{P2} \quad (26)$$

Z úhlu provázání byla získána délka oblouku

$$o_{P2} = (\alpha_{P2} + \beta_{P2}) * \text{dstř} \quad (27)$$

Z délky oblouku a délky úsečky byla finálně získána délka vazné vlny pro polovinu rozteče útkových nití.

$$l_{P2} = o_{P2} + v_{P2} \quad (28)$$

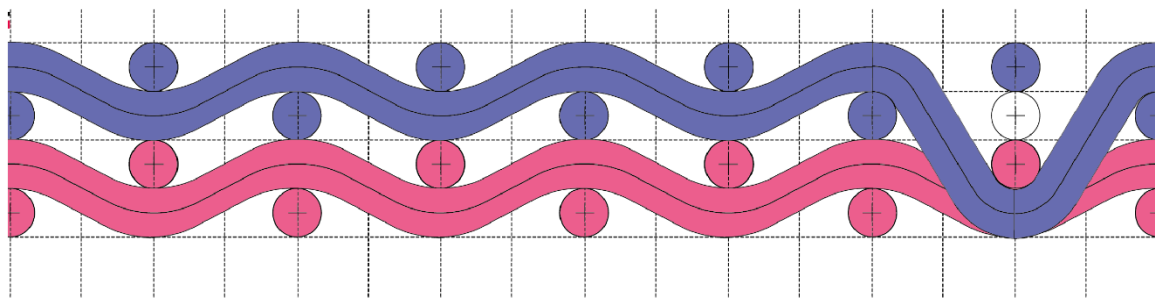
5.2.1 Délka vazné vlny ve střídě – Peircův model

Délka vazné vlny ve střídě byla stanovena pro jednotlivé střídy vazeb za pomoci výpočtu délky vazné vlny ve vazné buňce jednoduché vyrovnané plátnové tkaniny a vazné buňce dvojnásobné spojkové vyrovnané plátnové tkaniny. Vycházelo se ze stejné dostavy a jemnosti materiálu pro oba typy vazné buňky. Délka vazné vlny pro oba typy buňky byla založena na Peircově modelu. Tyto vazebné buňky pak byly sečteny na základě vazby tkaniny pro daný experimentální vzorek.

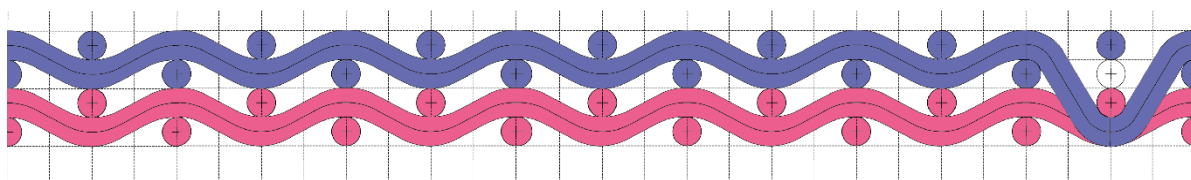
$$q_P = l_{P1} * t + l_{P2} * g \quad (29)$$

Pro lepší možnost srovnání vzorků byla spočtena délka vazné vlny na 100 cm tkaniny

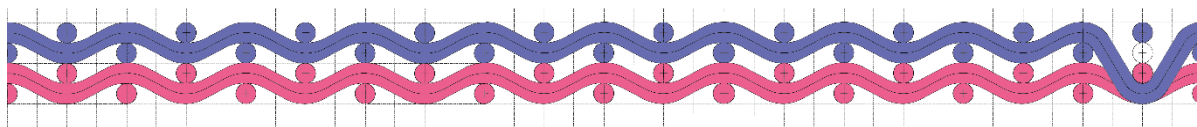
$$l_{P2}^{\circ} = q * f \quad (30)$$



Obr.54: Modelová představa – Peircův model střídy vazby vzorek 1



Obr.55: Modelová představa – Peircův model střídy vazby vzorek 2



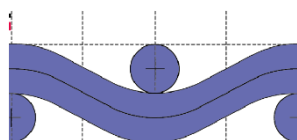
Obr.56: Modelová představa – Peircův model střídý vazby vzorek 3



Obr.57: Modelová představa – Peircův model střídý vazby vzorek 4



Obr.58: Modelová představa – Peircův model střídý vazby vzorek 5



Obr.59: Modelová představa – Peircův model střídý vazby vzorek 6

5.3 Hodnocení délky nitě ve vazné vlně z pohledu modelové představy

Výpočty délky vazné vlny získané za pomoci Lineárního a Peircova modelu se vzájemně liší, protože oba modely vycházejí z jiných zjednodušení a předpokladů. Abychom byli schopni posoudit, zda je jeden z modelů pro tento výpočet vhodnější, musíme srovnat data získaná oběma modely.

Délky nitě ve vazné vlně vyjádřené a vypočítané za pomoci Lineárního modelu a Peircova modelu ukazují malé rozdíly v setinách až tisícínách centimetru (viz Tab.3 a Tab.4). Rozdíl mezi daty získanými oběma modely je více zjevný u delších stříd vazby.

Tab.3: Délka vazné vlny ve střídě získaná za pomoci Lineárního modelu

LINEÁRNÍ MODEL DÉLKA VE VAZNÉ VLNĚ VE STŘÍDĚ						
	Vz.1	Vz.2	Vz.3	Vz.4	Vz.5	Vz.6
počet nití ve střídě	8	14	21	28	36	2
délka vazné vlny ve střídě	1,270 cm	2,201 cm	3,288 cm	4,375 cm	5,617 cm	0,311 cm

Tab.4: Délka vazné vlny ve střídě získaná za pomoci Peircova modelu

<i>PEIRCŮV MODEL DÉLKA VE VAZNÉ VLNĚ VE STŘÍDĚ</i>						
	<i>Vz.1</i>	<i>Vz.2</i>	<i>Vz.3</i>	<i>Vz.4</i>	<i>Vz.5</i>	<i>Vz.6</i>
<i>počet nití ve střídě</i>	8	14	21	28	36	2
<i>délka vazné vlny ve střídě</i>	1,273 <i>cm</i>	2,206 <i>cm</i>	3,294 <i>cm</i>	4,381 <i>cm</i>	5,625 <i>cm</i>	0,311 <i>cm</i>

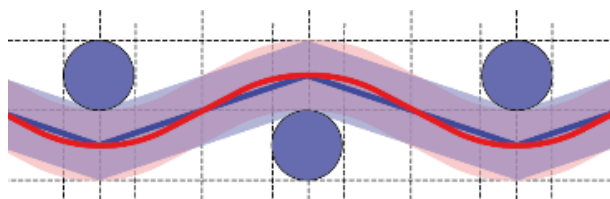
Tab.5: Délka vazné vlny ve střídě vazby přepočítaná na 100 cm tkaniny získaná za pomoci Lineárního modelu

<i>LINEÁRNÍ MODEL DÉLKA VE VAZNÉ VLNĚ-PŘEPOČET NA 100 cm</i>						
	<i>Vz. 1</i>	<i>Vz.2</i>	<i>Vz.3</i>	<i>Vz.4</i>	<i>Vz.5</i>	<i>Vz.6</i>
<i>počet nití ve střídě</i>	8	14	21	28	36	2
<i>délka vazné vlny ve střídě vazby přepočítaná na 100 cm tkaniny</i>	104, 738 <i>cm</i>	103, 772 <i>cm</i>	103, 343 <i>cm</i>	103, 128 <i>cm</i>	102, 985 <i>cm</i>	102, 484 <i>cm</i>

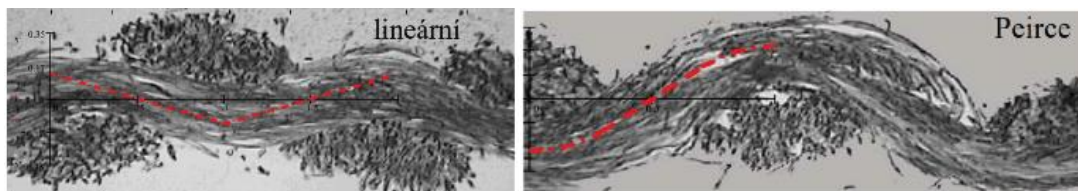
Tab.6: Délka vazné vlny ve střídě vazby přepočítaná na 100 cm tkaniny získaná za pomoci Peircova modelu

<i>PEIRCŮV MODEL DÉLKA VE VAZNÉ VLNĚ-PŘEPOČET NA 100 cm</i>						
	<i>Vz.1</i>	<i>Vz.2</i>	<i>Vz.3</i>	<i>Vz.4</i>	<i>Vz.5</i>	<i>Vz.6</i>
<i>počet nití ve střídě</i>	8	14	21	28	36	2
<i>délka vazné vlny ve střídě vazby přepočítaná na 100 cm tkaniny</i>	105, 043 <i>cm</i>	103, 983 <i>cm</i>	103, 512 <i>cm</i>	103, 277 <i>cm</i>	103, 119 <i>cm</i>	102, 569 <i>cm</i>

Peircův model, který ve svém popisu vychází z oblouků a úseček, má ve srovnání s Lineárním modelem, který vychází pouze z úseček, větší délku vazné vlny (viz. Obr. 60 a Obr. 61). Oblouky, které tvoří podstatnou část délky vazné vlny v Peircově modelu, jsou silně závislé na úhlu provázání tkaniny.



Obr.60: Srovnání Lineárního modelu a Peircova modelu – modelová představa

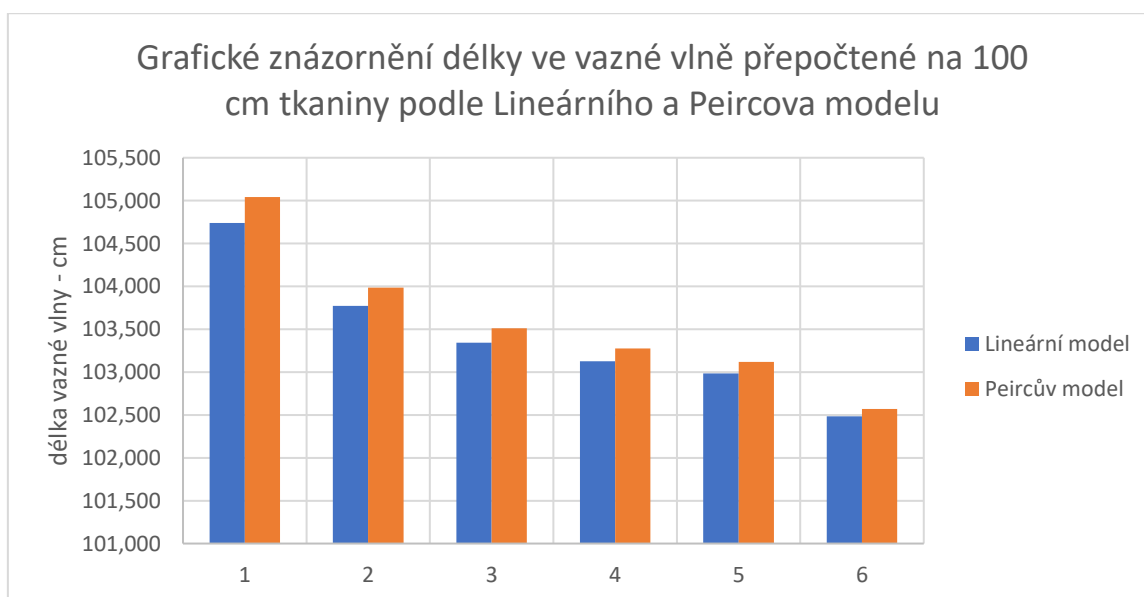


Obr.61: Srovnání Lineárního modelu a Peircova modelu-řezy tkaniny [26]

Rozdíl mezi modely se více projeví u vazné buňky se spojkou (viz Tab. 7). To vychází z předpokladu, že vazná vlna spojkové nitě má výrazně vyšší úhel provázání. Tento faktor se výrazněji projeví v Peircově modelu.

Tab.7: Délka vazné vlny pro 1 rozteč nití

Délka vazné vlny pro 1 rozteč nití	vazná buňka bez spojky	vazná buňka se spojkou
Lineární model	0,1553 cm	0,1826 cm
Peircův model	0,1554 cm	0,1854 cm



Obr.62: Graf 1 - Grafické znázornění délky ve vazné vlně přepočtené na 100 cm tkaniny

Výsledky grafu 2 lze vysvětlit za pomoci tabulky 7 a tabulky 8. Budeme tedy vycházet z počtu spojek na 100 cm tkaniny a rozdílu mezi získanou délkou vazné vlny určenou z Lineárního modelu a Peircova modelu.

Nejmenší rozdíl mezi délkou vazné vlny na 100 cm získanou Lineárním modelem a délkou vazné vlny na 100 cm získanou Peircovým modelem je u vzorku 6. Největší rozdíl mezi délkou vazné vlny na 100 cm získanou Lineárním modelem a délkou vazné vlny na 100 cm získanou Peircovým modelem je u vzorku 1. Vzorek 6 neobsahuje spojky ve tkanině a Vzorek 1 obsahuje největší počet spojek na délku tkaniny. U Vzorku 6 se tedy neprojeví vliv vazného úhlu spojkové nitě na délku vazné vlny v Peircově modelu, zatímco u Vzorku 1 se tento vliv projeví nejvíce.

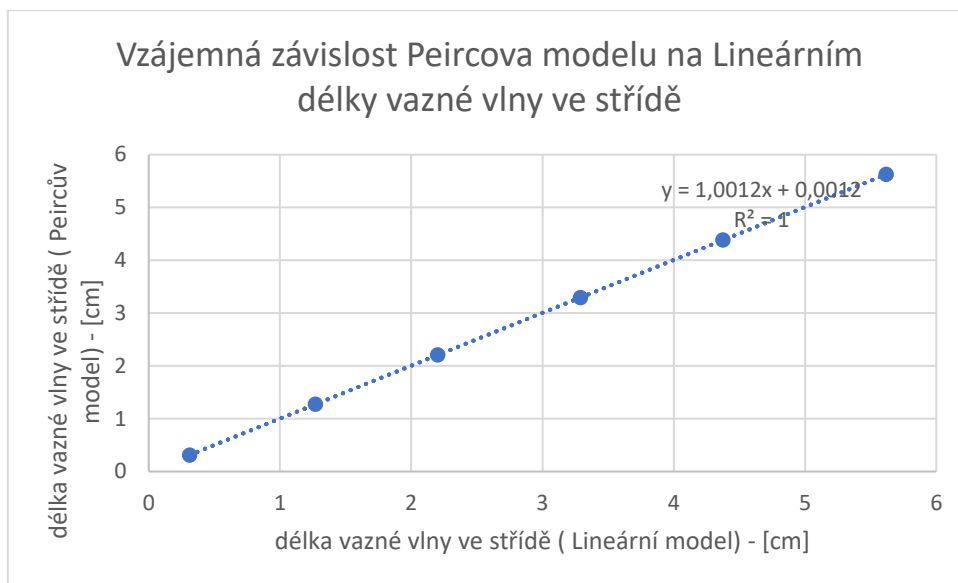
Největší rozdíl v délce vazné vlny získané oběma modely je mezi Vzorkem 1 a Vzorkem 2. Nejmenší rozdíl v délce vazné vlny získané oběma modely je mezi Vzorkem 4 a Vzorkem 5. Tyto rozdíly v délce vazné vlny přímo vycházejí z počtu spojek ve vzorku. Vzorek 1 má o 43 % více spojek než Vzorek 2, zatímco Vzorek 4 má o 22 % více spojek než Vzorek 5.

Na grafu 1 je vidět, že čím vyšší je distribuce spojek ve tkanině, tím větší je predikovaná délka vazné vlny ve tkanině přepočítané na 100 cm. Pokud je dostatečně velký rozdíl v počtu spojek mezi vzorky, jako u Vzorku 1 a Vzorku 2, je rozdíl v predikované vzdálenosti mezi oběma modely méně podstatný. Pokud ale srovnáváme vzorky s malým rozdílem počtu spojek, jako jsou vzorky 4 a 5, je větší rozdíl v predikované vzdálenosti Peircova a Lineárního modelu než mezi vzorky vzájemně.

Tab.8: Počet spojek na 100 cm tkaniny pro sadu experimentálních vzorků

POČET SPOJEK NA 100 cm TKANINY					
Vz.1	Vz.2	Vz.3	Vz.4	Vz.5	Vz.6
82,5	47,143	31,429	23,571	18,333	0

Koeficient determinace regresní přímky ($R^2=1$) ukazuje silnou závislost obou modelů (viz Obr. 63). Tento výsledek lze předpokládat, protože střída vazby je počítána stejně pro oba modely vazné vlny, a proto je lineární závislost zjevná. Protože je mezi výsledky takto silná závislost, je možné pro predikci vybrat oba modely. Lineární model je vhodnější vzhledem k jednoduchosti využívaných výpočtů.



Obr.63: Graf 2 - Vzájemná závislost modelů pro získanou délku vazné vlny ve střídě

6 Experimentální zjišťování mechanických vlastností

V rámci diplomové práce byla zkoumána tažnost, pevnost a tuhost vzorků za pomoci jejich jednoosého namáhání. Byla zvolena metoda Strip. Podstata této zkoušky spočívá v napínání vzorku textilie o daných rozměrech konstantní rychlostí, dokud nedojde k jeho přetržení. [11] Rozměr vzorku a rychlost jeho napínání je určen za pomoci normy ČSN EN ISO 13934-1.

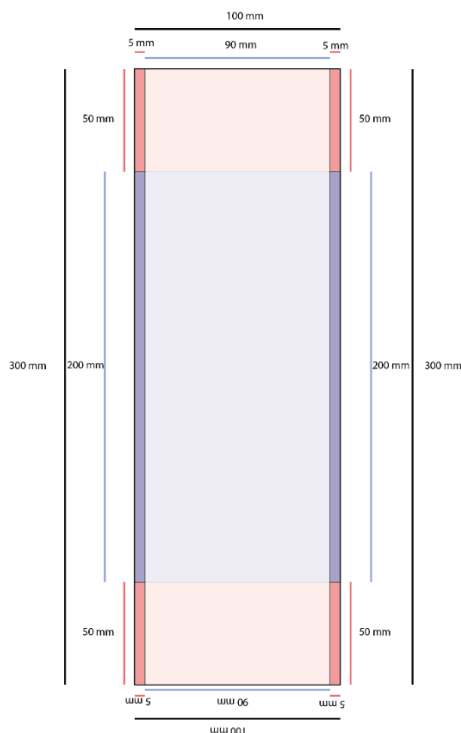
6.1 Zkušební přístroj a vzorky

Norma ČSN udává, že má být použit přístroj s konstantním přírůstkem, prodloužený nastavitelnou upínací délkou. Šíře čelistí by měla být minimálně 60 mm a zároveň by neměla být menší, než je šíře testovaného vzorku. Ke zkoušce byl využit přístroj Testometric M350-5CT, který má šířku čelistí 100 mm.

Šíře normovaného vzorku je 60 mm, z každé strany bylo odpáráno 5 mm, výsledná šíře je 50 mm. Odpárané nitě zajistí, že při upnutí do čelistí bude zajištěna šířka a nedojde k vypadnutí postranních nití.

Upínací délka normovaného vzorku je 200 mm, je nutné přidat 50 mm po každé straně, které slouží k uchopení do čelistí. Testované vzorky pak mají délku 300 mm.

Z důvodu zkoumání vlivu distribuce spojek bylo nutné upravit šířku testovaných vzorků. Byla zvolena větší šířka vzorků, a to 100 mm, kdy 5 mm je odpáráno z obou stran a výsledná šíře je pak 90 mm. Byla zachována normovaná délka vzorku. Jedná se o maximální šířku, která je při šířce čelistí přístroje Testometric možná. [11]



Obr.64: Upravené rozměry testovacího vzorku – vlastní vizualizace

6.2 Postup zkoušky

Rychlost posuvu čelistí je normou stanovena na $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ a vzorky jsou upnuty bez předpětí. Vzorek je pak upnut do čelisti tak, aby je nepřesahoval.

Přístroj vzorek napíná po dobu, než dojde k jeho přetržení. Zaznamenává pevnost v [N] a prodloužení v [mm].

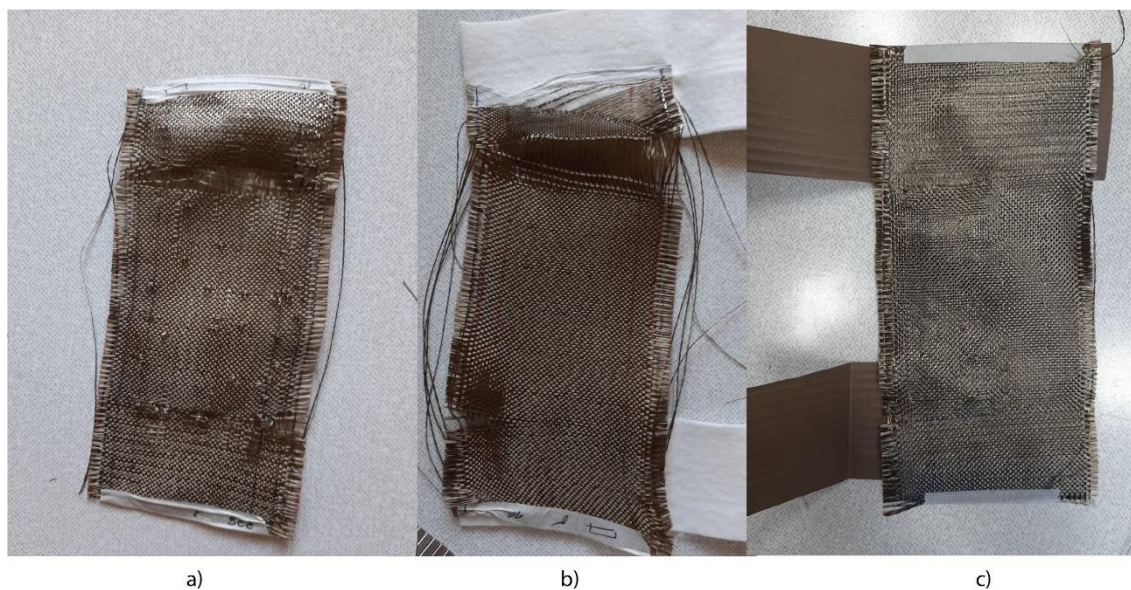
Bylo měřeno minimum pěti vzorků ve směru osnovy a pěti vzorků ve směru útku. [11] Vzhledem k tomu, že byl zkoumán vliv distribuce spojky, bylo nutné klást důraz i na jejich umístění ve vzorku. Vzorky byly voleny se stejnou vzdáleností spojek od krajů vzorku pro každý vzorek tak, aby byla vzdálenost stejná, jak pro vzorky ve směru osnovy, tak pro vzorky ve směru útku. Takto ohraničené vzorky mají stejný počet spojek v každém vzorku.

Byly zvoleny následující vzdálenosti spojek od krajů-počet spojek ve vzorku:

- Vzorek 1 - vzdálenost od kraje ke spojce 1 cm-9 spojek
- Vzorek 2- vzdálenost od kraje ke spojce 1 cm-5 spojek
- Vzorek 3 - vzdálenost od kraje ke spojce 2 cm-3 spojky

- Vzorek 4 - vzdálenost od kraje ke spojce 3 cm-2 spojky
- Vzorek 5 - vzdálenost od kraje ke spojce 2,5 cm-2 spojky
- Vzorek 6 - jednoduchá plátňová tkanina-bez spojek

Vzhledem k použitému materiálu (čedičový multifil) docházelo v průběhu zkoušky k prokluzu vláken. Ve snaze zabránit tomuto prokluzu byl umístěn materiál mezi čelisti a testovaný vzorek – filc, smirkový papír. Byl srovnán průběh tahových zkoušek pro vzorek (viz. Obr. 65), který byl umístěn přímo do čelistí (a), vzorek umístěn do čelistí a obalen filcem (b) a vzorek umístěn do čelistí a obalen smirkovým papírem (c). Na základě tohoto srovnání byl vybrán postup, kdy všechny vzorky byly obaleny smirkovým papírem. Smirkový papír nepřesahoval oblast čelistí, a tak pomohl vzorek lépe zachytit v čelistech.



*Obr.65: Srovnání tahových zkoušek – vzorek, vzorek s filcem, vzorek a smirkový papír-
fotodokumentace*

Mechanické působení vnějších sil má vliv na mechanické vlastnosti materiálů. Diplomová práce se zabývá mechanickými vlastnostmi, které jsou reakcí na deformační síly, a to konkrétně na deformaci v jednoosém tahu.

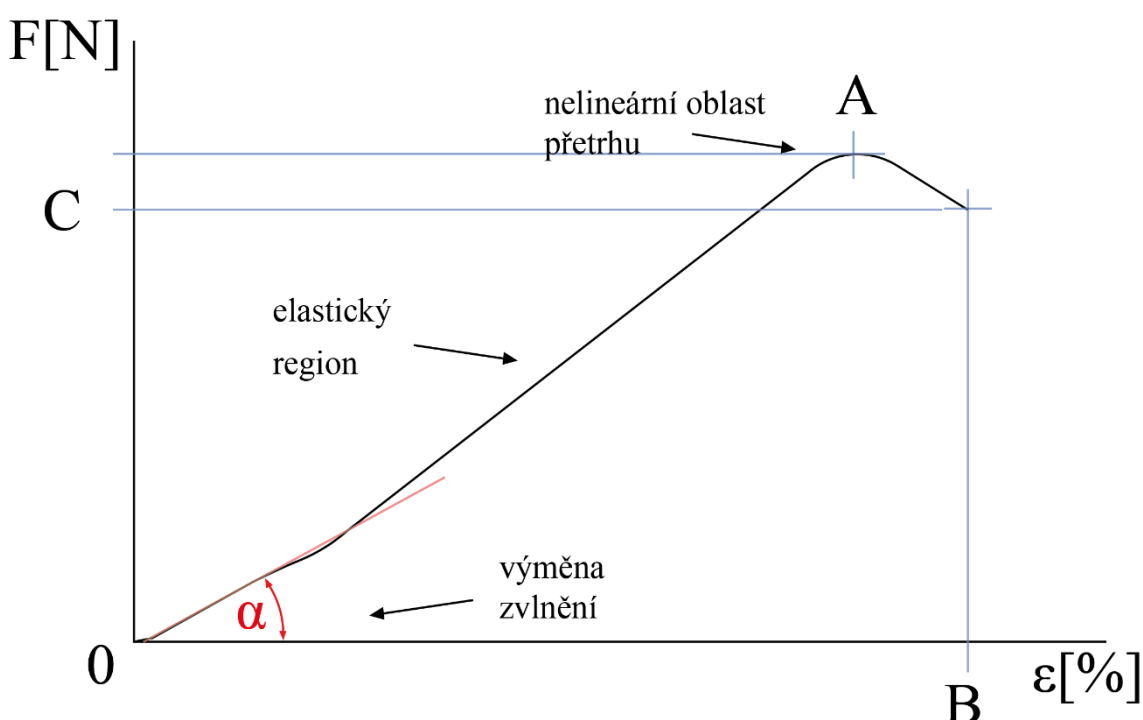
6.3 Hodnocení mechanických vlastností

Tahová deformace u plošných textilií může být způsobena jednoosým nebo víceosým zatížením a je závislá na velikosti zatížení, rychlosti namáhání a době trvání zatížení.

V diplomové práci je pozornost zaměřena na jednoosé zatížení a jeho vliv na mechanické vlastnosti z hlediska působení na plošnou a prostorovou geometrii tkaniny. Tahová deformace tkaniny se popisuje grafem závislosti síly na prodloužení neboli tahovou křivkou.

6.3.1 Popis tahového chování tkaniny během jednoosého namáhání ve směru osnovy a útku

Jednoosé namáhání tkaniny probíhá ve směru jedné z hlavních soustav. Tahová křivka popisuje vliv síly na protažení tkaniny. Průběh tahové křivky můžeme dělit na jednotlivé fáze podle chování, které se odehrává ve tkanině v reakci na tahovou sílu.



Obr.66: Tahová křivka pro kovové materiály-vlastní vizualizace [3][52]

Bod A označuje bod maximální síly F_{\max} [N]. Bod B označuje maximální prodloužení – Δl_{\max} [mm] a bod C označuje bod destrukce. Červená přímka značí tangentový počáteční modul. V DP práci je hodnocena maximální síla, protože po dosažení maxima dochází k poklesu síly z důvodu přetrhu prvních fibril v multifilu tkaniny.

V první fázi dojde k výměně zvlnění. Pokud je tkanina namáhána v jednom z hlavních směrů, bude probíhat vyrovnání vazné vlny ve směru vyvinuté síly. Dojde k vzájemné

záměně zvlnění ve vazném bodě, pokud u jedné soustavy dojde k snížení zvlnění, dojde u druhé soustavy k nárůstu zvlnění.

Předpokládáme, že nit se při napínání tkaniny ve směru osnovy (útku) může zcela napřímit. Je to předpoklad reálný, neboť při namáhání tkaniny na mez pevnosti deformace průřezu nití jejich napřímení zpravidla dovolí.

Na základě tohoto předpokladu můžeme uvažovat, že vazební prvek se prodlouží z hodnoty rozteče osnovních nití (A) na $l_o(1+\epsilon_n)$ pro napínání ve směru osnovy a z hodnoty rozteče útkových nití (B) na $l_u(1+\epsilon_n)$ pro napínání ve směru útku. [28]

V druhé fázi dochází k namáhání tkaniny, příze a vláken. Tuto část nazýváme elastickým regionem. Když je tkanina více protažena aplikovanou silou, protáhnou se i příze a vlákna. V této části dojde k zmenšení efektivních průměrů vláken. V celkovém protažení se však protažení příze projeví jen z malé části ve srovnání s protažením vzniklým ztrátou zvlnění. V místě vazného bodu také dochází k individuálním pohybům vláken vně přízí.

Ve třetí fázi dochází k náhodným přetrhům vláken ve svazcích příze a následnému přetrhu, tuto část nazýváme oblast přetrhu. [7]

6.3.2 Hodnocení mechanických vlastností experimentálních vzorků

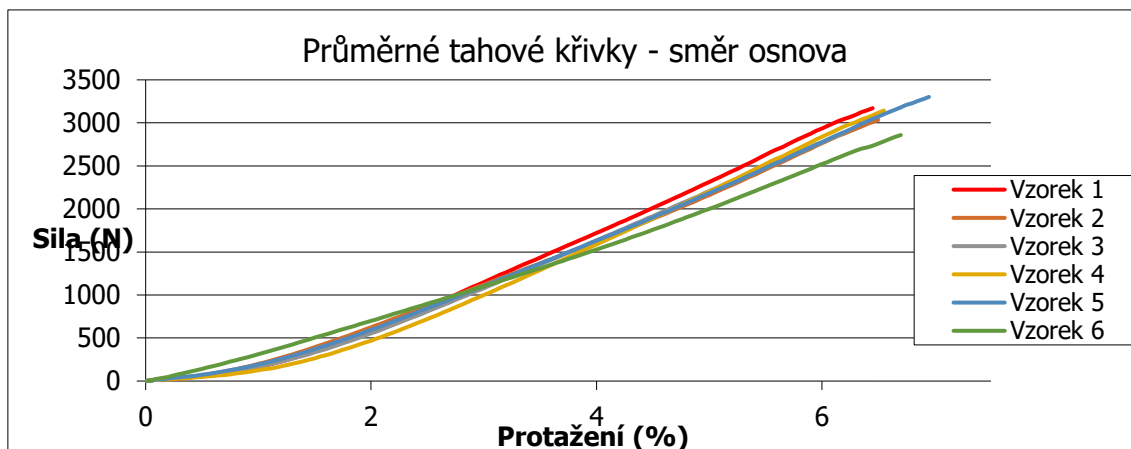
Experimentální vzorky byly zkoumány z hlediska tahové deformace. Zkoumalo se jednoosé namáhání, a to ve směru osnovy a ve směru útku. Hodnocení výsledků tahových zkoušek se zaměřilo na maximální sílu, tažnost a tuhost.

V programu MatLab byly pro jednotlivé vzorky vypracovány průměrné tahové křivky získané ze všech provedených zkoušek, a to samostatně ve směru osnovy a ve směru útku.

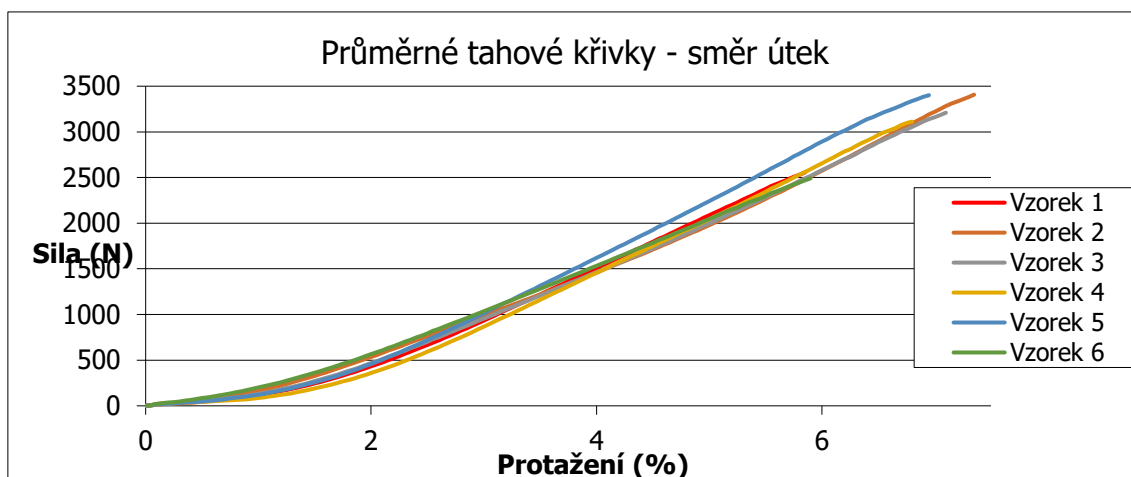
V programu MatLab byly pro tyto průměrné tahové křivky vypracovány tangentové počáteční moduly. Pro tangentový počáteční modul byl zvolen počátek 0,5 mm. Tento počátek byl zvolen ve snaze najít stejný počátek pro všechny průměrné křivky tak, aby tečna co nejlépe procházela tahovou křivkou.

Ze všech provedených zkoušek byly pro jednotlivé vzorky v obou směrech nalezeny střední hodnoty tažnosti a maximální síly a 95% intervaly spolehlivosti (IS 95 %) (viz Tab.9 a Tab.10).

Srovnání průměrných tahových křivek všech vzorků ve směru osnova, ani srovnání průměrných tahových křivek všech vzorků ve směru útku nevykazuje žádný jasný trend.

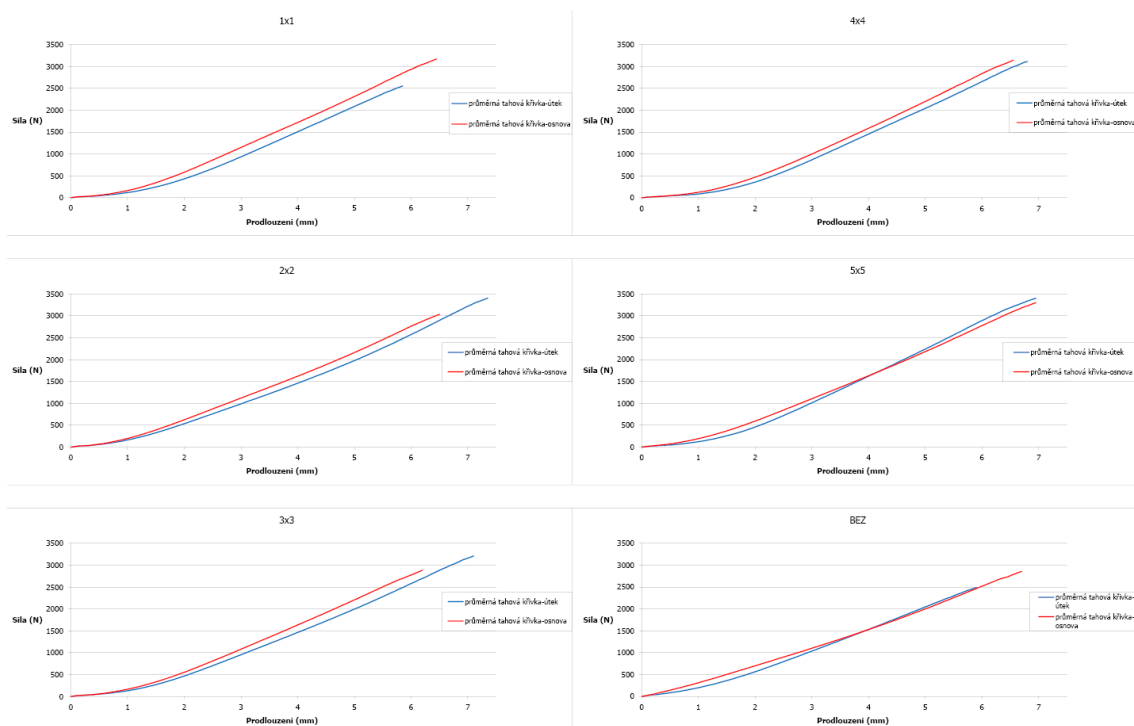


Obr.67: Průměrné tahové křivky – směr osnova



Obr.68: Průměrné tahové křivky – směr útek

Pro jednotlivé vzorky byly porovnány průměrné tahové křivky ve směru osnova s průměrnými tahovými křivkami ve směru útku. V tomto srovnání byl patrný trend, který se projevil hlavně v počáteční fázi průběhu tahových křivek vzorků. Vzorky napínané ve směru osnova vykazují strmější průběh, což odpovídá vyšší tuhosti tkaniny v daném směru. Vzorky 1 – 4 mají strmější průběh tahové křivky v celém rozmezí, zbytek vzorků má strmější průběh pouze v počáteční části tahové křivky.



Obr.69: Průměrné tahové křivky –srovnání: směr osnova, směr útek

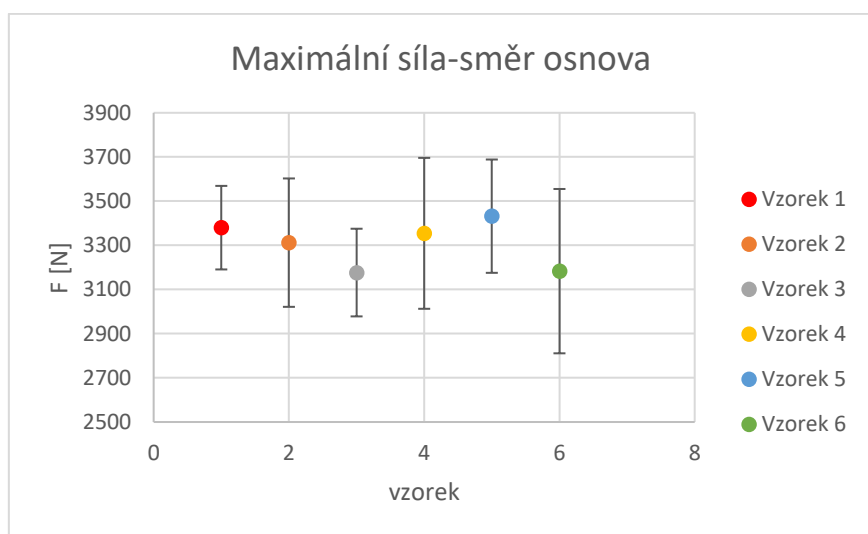
6.3.2.1 Hodnocení maximální síly experimentálních vzorků tkanin

Rozdíly středních hodnot maximální síly ve směru osnovy i ve směru útku jsou statisticky nevýznamné. Graf maximální síly ve směru osnovy ani graf maximální síly ve směru útku nevykazují jasný trend. Pro hlubší analýzu by bylo nutné větší množství měření, protože intervaly spolehlivosti 95 % mají velký rozptyl. Z důvodu použití stejné čtvercové konstrukce u všech tkanin, rozdíl je pouze v počtu spojek /m, lze předpokládat, že rozdíl v pevnosti bude minimální. Vliv spojky se neprojeví na pevnosti, ale lze předpokládat, že rozdíl bude ovlivňovat tuhost tkaniny.

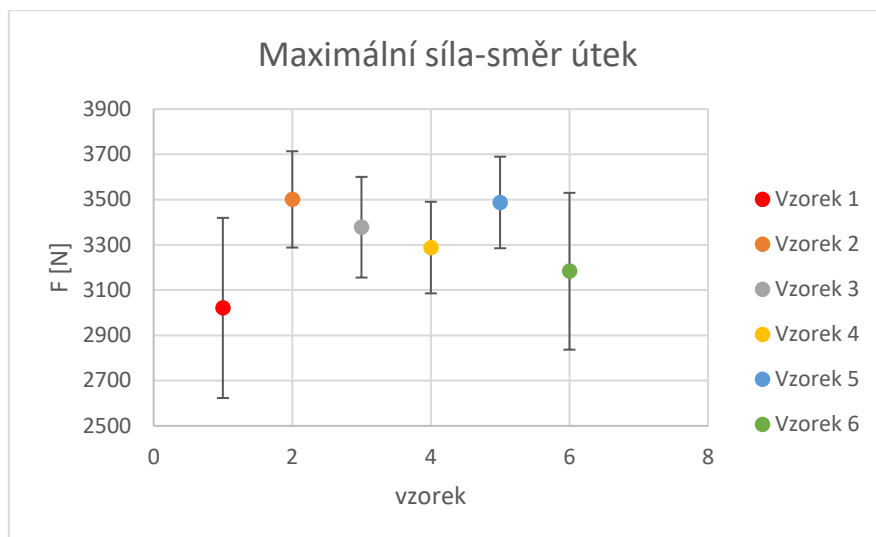
Tab.9: Maximální síla experimentálních vzorků-střední hodnota, IS-95%

Útek	maximální síla											
	V1		V2		V3		V4		V5		V6	
střední hodn.	3021,186	3500,886	3377,971	3288,020	3487,300	3183,400						
IS-95%	2623,143	3419,229	3287,989	3713,782	3155,490	3600,453	3085,649	3490,391	3156,706	3817,894	2836,916	3529,884
Osnova												
střední hodn.	3379,914	3312,063	3176,612	3354,220	3431,975	3183,000						
IS-95%	3190,744	3569,084	3021,430	3602,696	2978,135	3375,090	3012,545	3695,895	3175,394	3688,556	2811,006	3554,994

		Maximální síla					
		směr			-útek		
		V1	V2		V3		
střední hodnota		3021,186	3500,88		3377,97		
IS-95%		2623,143	3419,22	3287,98	3713,78	3155,49	3600,45
		9	9	2	0	3	
		V4	V5		V6		
střední hodnota		3288,020	3487,30		3183,40		
IS-95%		3085,649	3490,39	3156,70	3817,89	2836,91	3529,88
		1	6	4	6	4	
		směr -osnova					
		V1	V2		V3		
střední hodnota		3379,914	3312,06		3176,61		
IS-95%		3190,744	3569,08	3021,43	3602,69	2978,13	3375,09
		4	0	6	5	0	
		V4	V5		V6		
střední hodnota		3354,220	3431,97		3183,00		
IS-95%		3012,545	3695,89	3175,39	3688,55	2811,00	3554,99
		5	4	6	6	4	



Obr.70: Maximální síla-směr osnova



Obr.71: Maximální síla-směr útek

6.3.2.2 Hodnocení tažnosti experimentálních vzorků

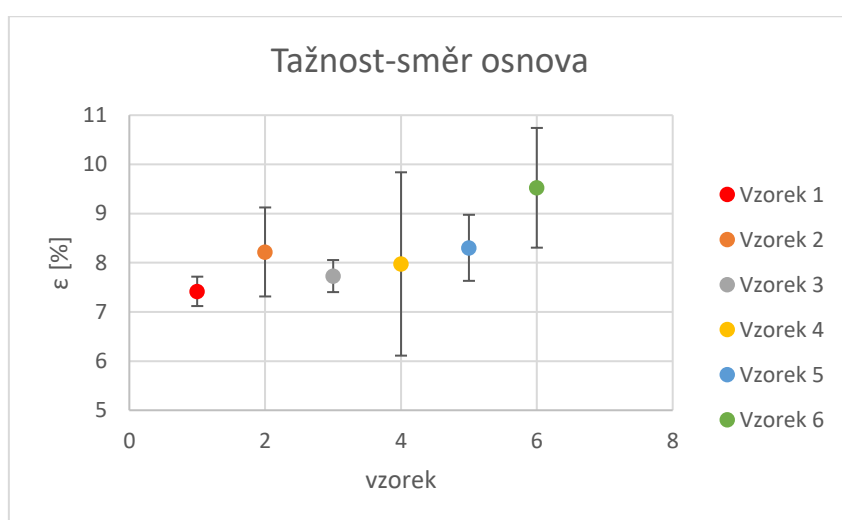
Rozdíly středních hodnot tažnosti ve směru osnovy i ve směru útku jsou statisticky nevýznamné. Graf maximální tažnosti ve směru osnovy a graf tažnosti ve směru útku vykazují opačné trendy. Pro hlubší analýzu by bylo nutné větší množství měření, protože intervaly spolehlivosti 95 % mají velký rozptyl.

Tab.10: Tažnost experimentálních vzorků-střední hodnota, IS-95%

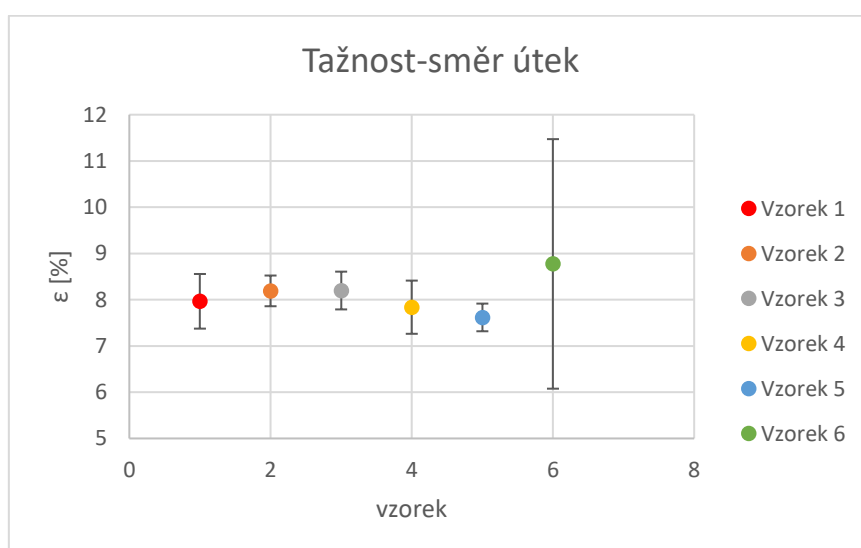
	Tažnost					
	směr-útek					
	V1		V2		V3	
střední hodnota	7,965		8,191		8,198	
IS-95%	7,119	7,717	7,314	9,124	7,403	8,055
	V4		V5		V6	
střední hodnota	7,838		7,617		8,774	
IS-95%	6,111	9,839	7,632	8,975	6,076	11,472
	směr-osnova					
	V1		V2		V3	
	V4		V5		V6	
střední hodnota	7,418		8,219		7,729	
IS-95%	7,119	7,717	7,314	9,124	7,403	8,055
střední hodnota	7,975		8,303		9,524	
IS-95%	6,111	9,839	7,632	8,975	8,306	10,741

Tab.10: Tažnost experimentálních vzorků-střední hodnota, IS-95%

		Tažnost											
Útek	V1	V2			V3		V4		V5		V6		
střední hodnota	7,96 5	8,19 1			8,19 8		7,83 8		7,61 7		8,77 4		
IS-95%	7,11 9	7,71 7	7,31 4	9,124	7,40 3	8,05 5	6,11 1	9,83 9	7,63 2	8,97 5	6,07 6	11,47 2	
Osnova	V1	V2			V3		V4		V5		V6		
střední hodnota	7,41 8	8,21 9			7,72 9		7,97 5		8,30 3		9,52 4		
IS-95%	7,11 9	7,71 7	7,31 4	9,124	7,40 3	8,05 5	6,11 1	9,83 9	7,63 2	8,97 5	8,30 6	10,74 1	



Obr.72: Tažnost-směr osnova



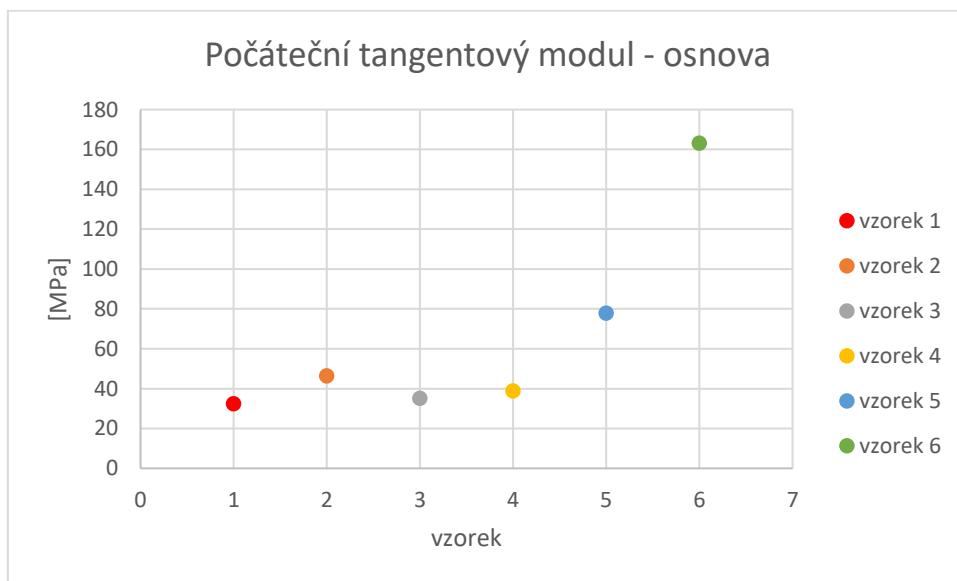
Obr.73: Tažnost-směr útek

6.3.2.3 Hodnocení tuhosti experimentálních vzorků

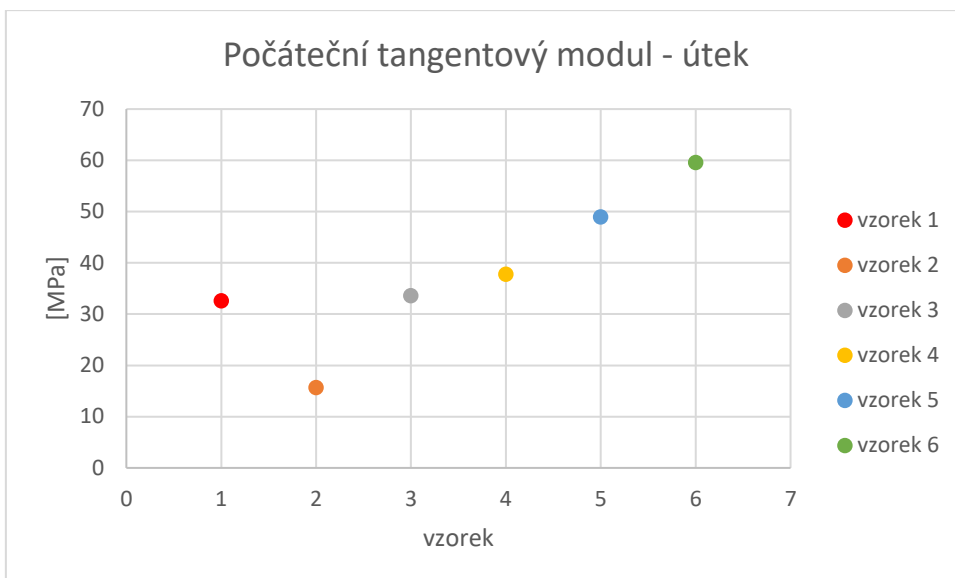
Počáteční moduly získané z programu MatLab s výjimkou počátečního modulu pro Vzorek 2 vykazují vzestupnou tendenci.

Tab.11: Počáteční tangentový modul

modul [MPa] počátek 0,5 [mm]					
Osnova					
<i>1x1</i>	<i>2x2</i>	<i>3x3</i>	<i>4x4</i>	<i>5x5</i>	<i>BEZ</i>
32,42	46,41	35,11	38,86	77,82	163,08
Útek					
<i>1x1</i>	<i>2x2</i>	<i>3x3</i>	<i>4x4</i>	<i>5x5</i>	<i>BEZ</i>
32,58	15,68	33,57	37,75	48,98	59,59

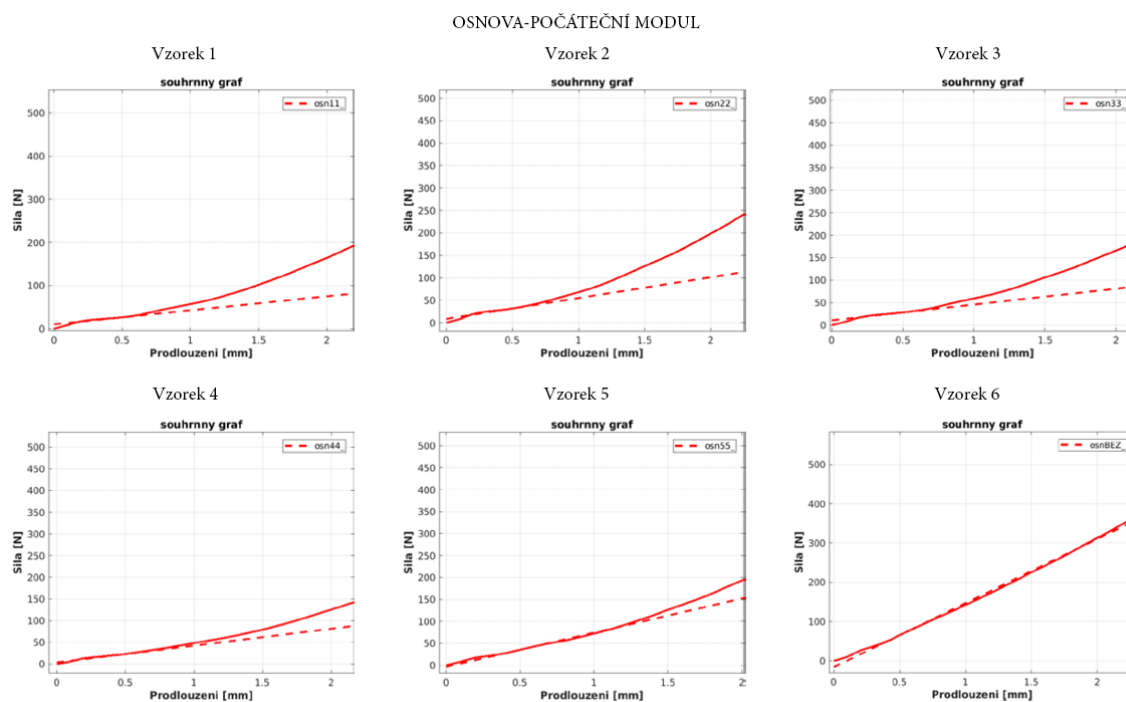


Obr.74: Počáteční tangentový modul-směr osnova



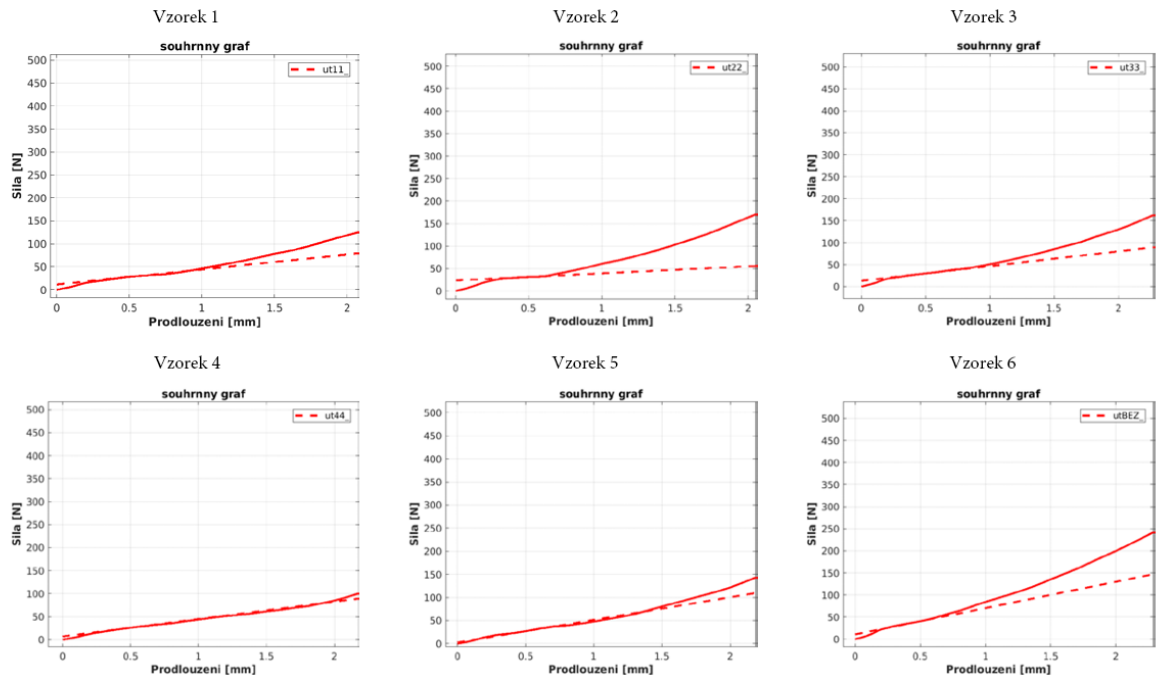
Obr.75: Počáteční tangentový modul-směr osnova

Pro grafické znázornění počátečního modulu byla vybrána oblast grafu Síla 0 N až 500 N a prodloužení 0 % až 2 %. Zaměřujeme se na tuto oblast pro lepší viditelnost protnutí tečny k průměrné pracovní křivce. Oblast, kde dojde k protnutí tečny tahovou křivkou, je silně ovlivněna počátkem tečny. Jako počátek byla zvolena vzdálenost 0,5 mm.



Obr.76: Počáteční tangentový modul-směr osnova

ÚTEK-POČÁTEČNÍ MODUL



Obr.77: Počáteční tangentský modul-směr útek

7 Vliv plošné a prostorové geometrie na mechanické vlastnosti tkaní

Diplomová práce se zaměřuje na hodnocení vlivu maximální síly, tažnosti a tuhosti tkaniny u experimentálních vzorků. Tyto mechanické vlastnosti tkaniny jsou ovlivněny parametry její plošné a prostorové geometrie. Hodnocení probíhá na základě dat získaných z přístroje Testometric M350-5CT a zpracovaných za pomoci programu MatLab.

7.1 Základní mechanické vlastnosti

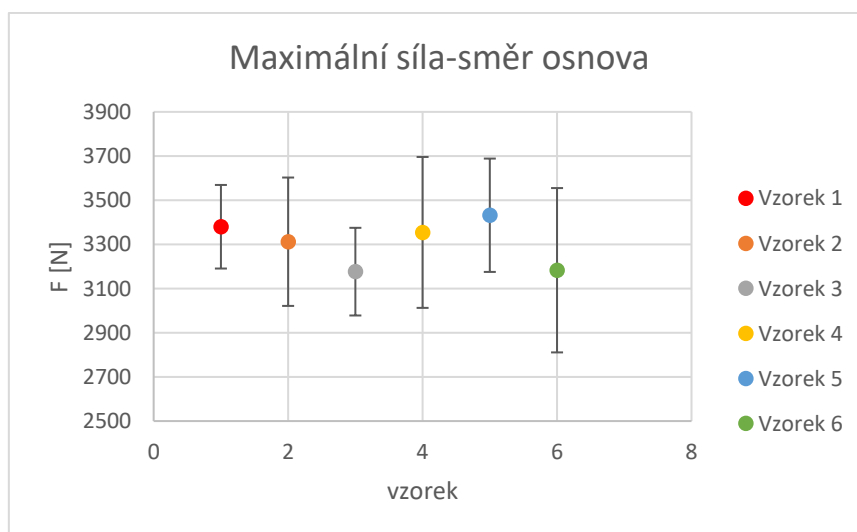
7.1.1 Pevnost / Maximální síla

Pevnost tkaniny je síla potřebná k porušení textilie jednotkové šířky. Pevnost ve směru osnovy nebo útku je závislá na pevnosti příze a dostavě dané soustavy. Ve tkanině se zvětší počet a velikost třecích sil mezi vlákny a jejich pevnost může být využita lépe nebo hůře. Projeví se pak koeficient využití tkaniny K_{VP} .

$$F_{p_{o,u}} = D_{o,u} \cdot F_N \cdot K_{VP} \quad (31)$$

Tento koeficient může být ovlivněn různými faktory jako jsou nestejnomyernost příze, způsob namáhání nitě, nestejnomyernost struktury tkaniny a koncentrace napětí při experimentu. Nestejnomyernost struktury tkaniny je chápána tak, že nitě s menším protažením jsou relativně více protaženy a mohou se tedy dříve přetrhnout. [28]

V DP práci je hodnocena maximální síla dosažená na tahové křivce, protože po jejím dosažení dochází k narušení tkaniny a poklesu síly, než dojde k přetrhu tkaniny.



Obr.78: Maximální síla-směr osnova



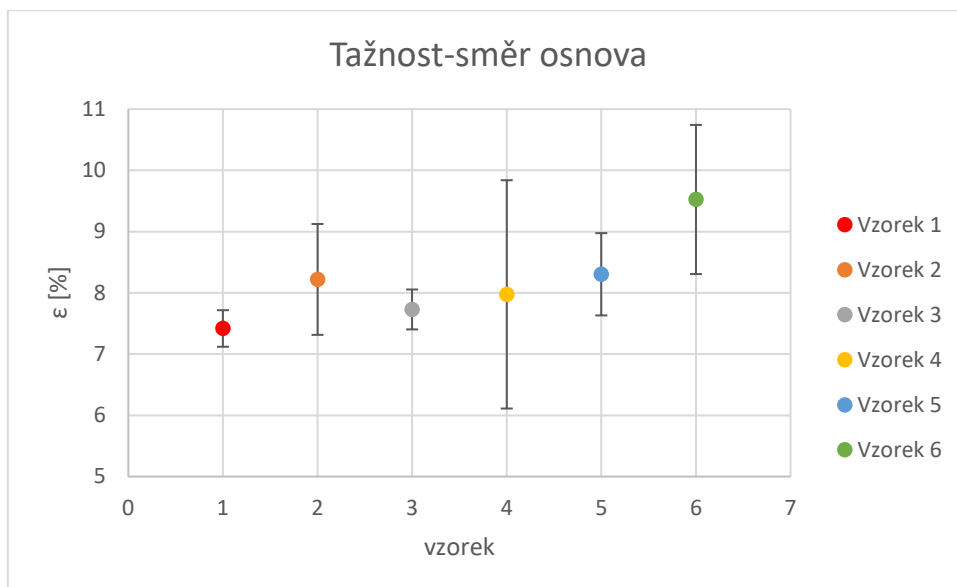
Obr.79: Maximální síla-směr útek

7.1.2 Tažnost

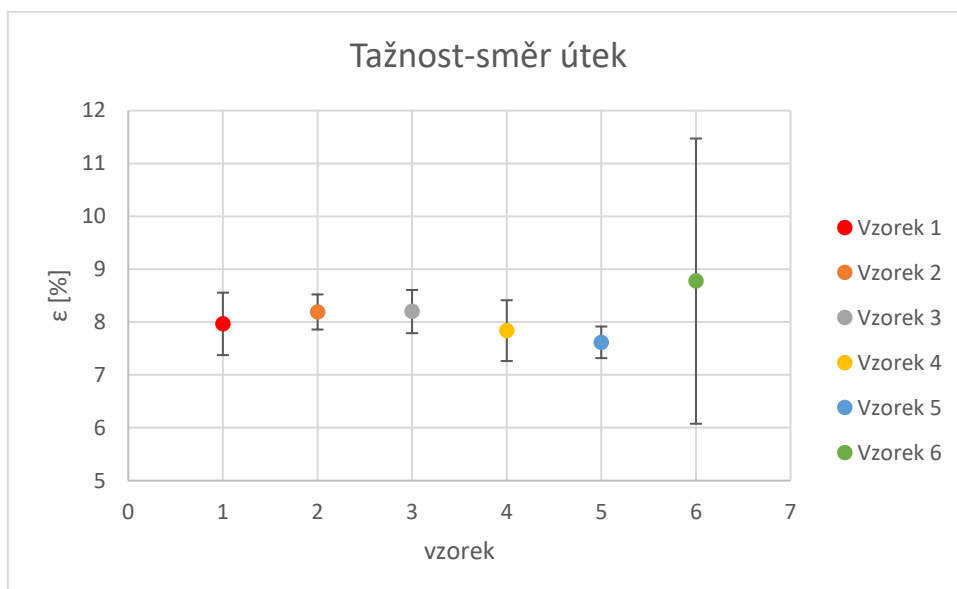
Tažnost tkaniny ve směru osnovy či útku je definována jako poměrné prodloužení tkaniny při maximální síle (při přetrhu) a uvádíme ji v procentech. Tažnost tkaniny je závislá na tažnosti příze a způsobu provázání příze ve tkanině. Použití stejné konstrukce tkaniny u všech tkanin experimentální sady vykazuje statisticky nevýznamné rozdíly. Velký rozptyl dat je možné přiřadit vyšší neregulárnosti vzorků dané tkaním. Vliv spojky není možné jednoznačně potvrdit. Tažnost jako součást struktury tkaniny má tudíž podstatný vliv i na pevnost textilie. Teoreticky je možné tažnost vyjádřit na základě níže uvedených vztahů (32-33) [17] [25].

$$\varepsilon_{Tko} = k_{T_o} \left[\left(1 + \varepsilon_{p_o} \right) \left(1 + \frac{S_o}{100} \right) - 1 \right] \quad (32)$$

$$\varepsilon_{Tku} = k_{T_u} \left[\left(1 + \varepsilon_{p_u} \right) \left(1 + \frac{S_u}{100} \right) - 1 \right] \quad (33)$$



Obr.80: Tažnost-směr osnova

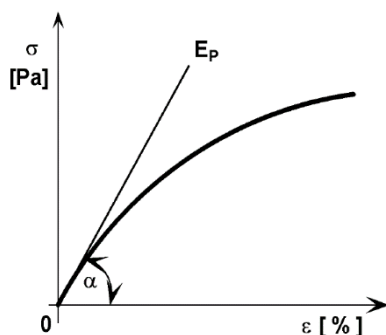


Obr.81: Tažnost-směr útek

7.1.3 Tuhost

Tangenta úhlu mezi počáteční částí křivky a horizontální osou je poměr napětí k deformaci a nazýváme ji počáteční tangentový modul v počátku E_p . Popisuje prvotní odpor vůči protažení textilního materiálu. Tangentový modul je ovlivněn zejména materiálem, dostavou a provázáním přízí ve tkanině. [25]

$$E_p = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (34)$$



Obr.82: Graf 3 – Tahová deformace – počáteční tangentský modul E_p [52]

Pokud má počáteční tangentský modul strmý průběh mluvíme o tkanině s vysokou tuhostí.

Tuhost v tahu je odolnost plošné textilie vůči tahu vlastní vahou i působením vnější síly. Tento odpor je součtem všech třecích a soudržných sil, které vznikají při tahu mezi vlákny a mezi přízemi ve vazných bodech. Tuhost v tahu tkaniny je závislá na tuhosti příze a způsobu provázání příze ve tkanině. [52]

Tab.12: Počáteční tangentský modul

modul [MPa]		počátek 0,5 [mm]			
Osnova					
1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	BEZ
32,42	46,41	35,11	38,86	77,82	163,08
Útek					
1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	BEZ
32,58	15,68	33,57	37,75	48,98	59,59

7.2 Vliv daných parametrů struktury tkaniny na mechanické vlastnosti tkaniny

7.2.1 Vliv dostavy na pevnost, tažnost a tuhost tkaniny

Dostava je parametrem, který ovlivňuje mechanické vlastnosti tkaniny jako je pevnost tažnost a tuhost. Všechny experimentální vzorky mají stejnou dostavu, a to ve směru osnovy i ve směru útku.

$D_{o,u}=6,6$ n/cm

Vysoká dostava osnovy v plátně může způsobit vyšší zvlnění osnovních nití a tím i tažnost ve směru osnovy. [26] U experimentálních vzorků pracujeme s tkaninou s nízkou dostavou, a proto platí hypotéza, že zvlnění bude u obou soustav srovnatelné, případně vyšší ve směru útku.

Statistickou nevýznamnost středních hodnot maximální síly i tažnosti lze částečně vysvětlit identickou dostavou experimentální řady vzorků.

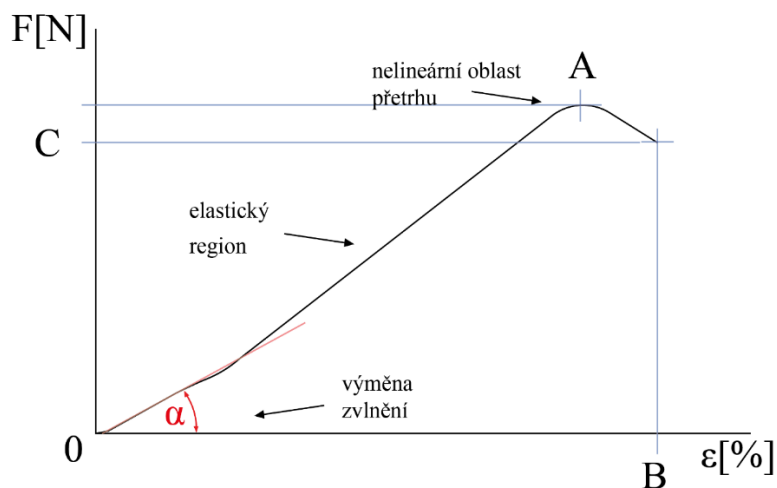
Vliv dostavy se u experimentálních vzorků z hlediska maximální síly, tažnosti a tuhosti neprojeví.

7.2.2 Vliv jemnosti na pevnost, tažnost a tuhost tkaniny

Jemnost je parametrem, který ovlivňuje mechanické vlastnosti tkaniny. Všechny experimentální vzorky jsou vyrobeny ze stejného materiálu – dvojmo skaného čedičového multifilu o stejné jemnosti.

$T=2 \times 68 \text{ tex}$

Vlastnosti materiálu silně ovlivňují pevnost i tažnost plošné textilie a můžeme za jejich pomoci vysvětlit statisticky nevýznamný rozdíl středních hodnot maximální síly a tažnosti.

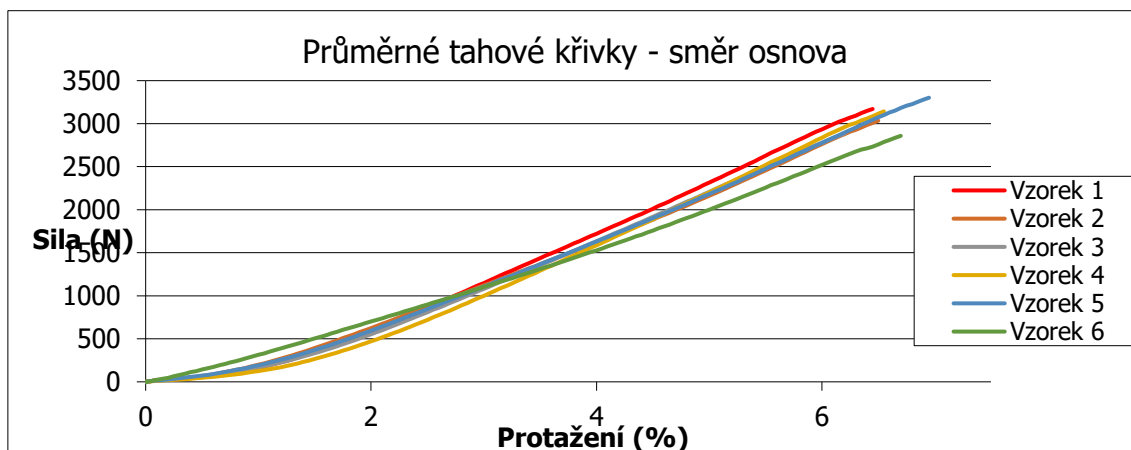


Obr.83: Tahová křivka pro kovové materiály-vlastní vizualizace [3][52]

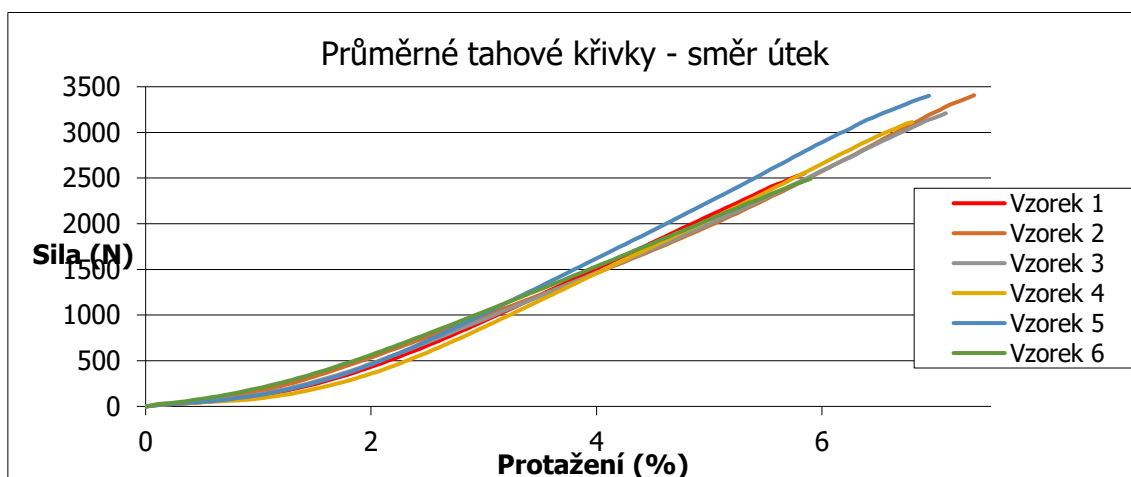
Vstupní materiál má stejnou tuhost. Vliv tuhosti materiálu se primárně projeví až po průběhu výměny zvlnění, a to v elastickém regionu (viz Obr. 83). Počáteční tangentský

modul tedy není primárně ovlivněn tuhostí vstupního materiálu u experimentálních vzorků.

Na průměrných tahových křivkách je vidět, že zvláště v oblasti elastického regionu má materiál silný vliv, protože křivky mají velmi obdobný průběh. (Obr. 84, Obr. 85)



Obr.84: Průměrné tahové křivky – směr osnova



Obr.85: Průměrné tahové křivky – směr útek

Vliv jemnosti se u experimentálních vzorků z hlediska maximální síly a tažnosti neprojeví. U tuhosti se vliv jemnosti projeví jen v počáteční fázi tahové křivky.

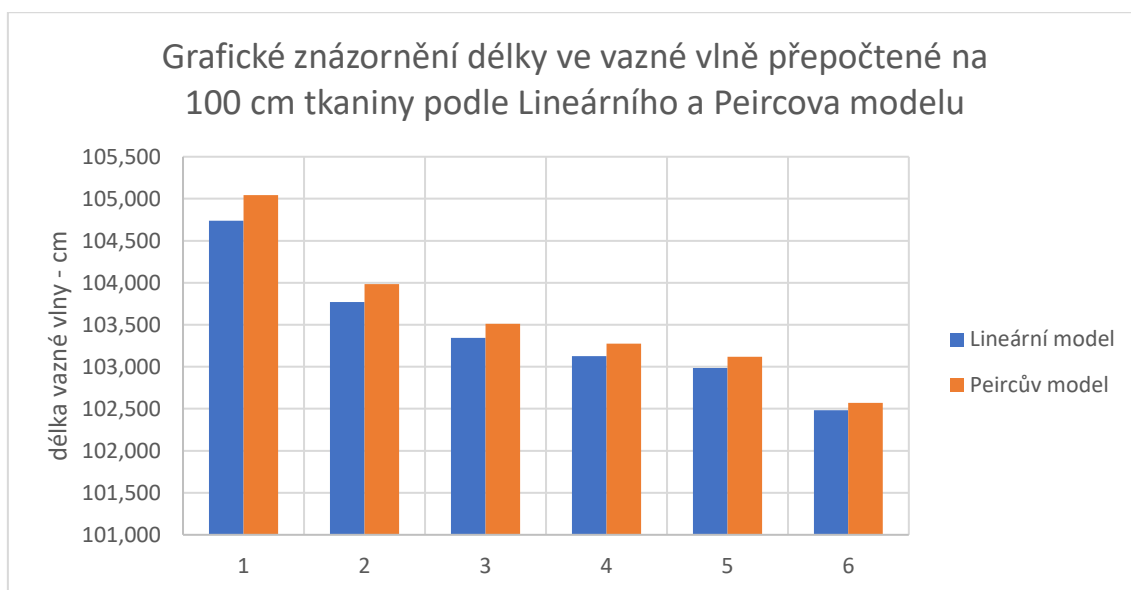
7.2.3 Vliv vazby a délky ve vazné vlně na pevnost, tažnost a tuhost tkaniny

Všechny experimentální vzorky mají plátňovou vazbu. Plátňová vazba je vazba s nejvyšším počtem zakřížení, takže i vazba s nejvyšší možnou tažností. Jedná se o nejhustší a zároveň nejpevnější vazbu. Délka vazné vlny vychází z vazby tkaniny.

Všechny vzorky jsou zároveň vyráběny za pomoci vazební techniky plného zdvihu, která je nutná u 3D tkanin.

Předpokládáme, že vzorek bez spojek bude mít stejnou maximální sílu, ale nejvyšší tuhost tkaniny v daném směru. Stejná vazba a vazební technika experimentální řady vzorků je tedy jeden z důvodů, proč jsou rozdíly mezi středními hodnotami maximální síly statisticky nevýznamné. Statisticky se neprojevil ani rozdíl mezi vzorky se spojkami a vzorkem bez spojek. Vzorky vykazují široké intervaly spolehlivosti. Vyšší rozptyl dat je způsoben nestejnou měrností tkanin. Nestejnou měrnost je způsobena částečně tkaním těchto experimentálních vzorků.

Jak už byl uvedeno výše, maximální síla i pevnost jsou dány vstupním materiálem a dostavou. Lze předpokládat vliv vazby/délky vazné vlny na tuhost tkaniny, kde se projeví míra provázání z pohledu zakřížených a nezakřížených úseků v provázání. Délka nitě ve vazné vlně s rostoucím provázáním roste. V konkrétním případě roste s rostoucím počtem spojek, viz obr. 86.



Obr.86: Graf 1 - Grafické znázornění délky ve vazné vlně přepočtené na 100 cm tkaniny

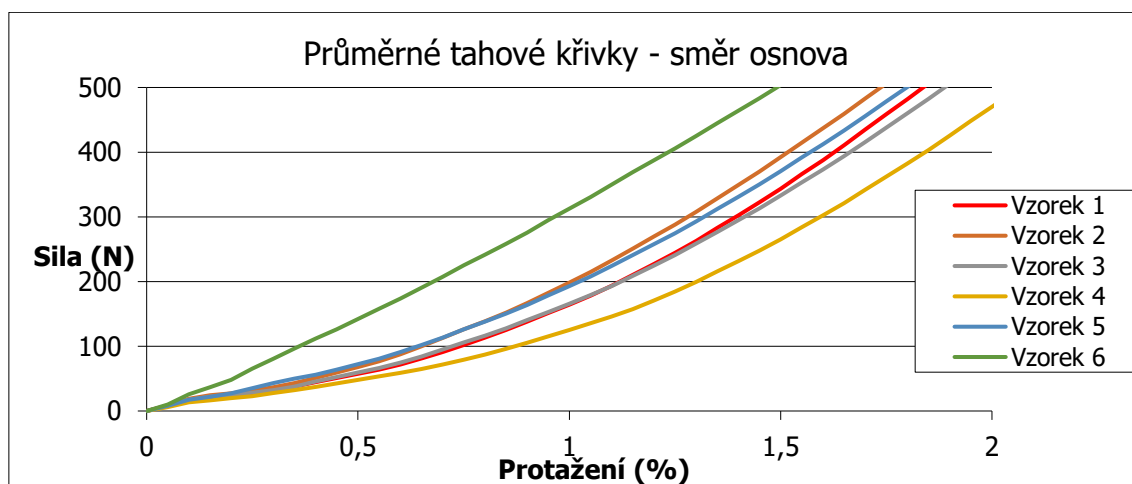
Délka vazné vlny by měla silně ovlivnit počáteční tangentový modul tuhosti, protože v první fázi tahového namáhání tkaniny dochází k výměně zvlnění. Na základě hodnot získaných modelů délky (viz Obr. 86) vazné vlny pro experimentální sady vzorků byla predikována vzestupná tendence hodnot počátečního modulu u vzorků. Vzorek 1 měl mít nejmenší tuhost, což znamená i nejmenší počáteční tangentový modul. Vzorek 6 měl mít největší tuhost, což znamená i největší počáteční tangentový modul.

Počáteční moduly získané z programu MatLab s výjimkou počátečního modulu pro Vzorek 2 vykazují předpokládanou vzestupnou tendenci (viz. Tab 12).

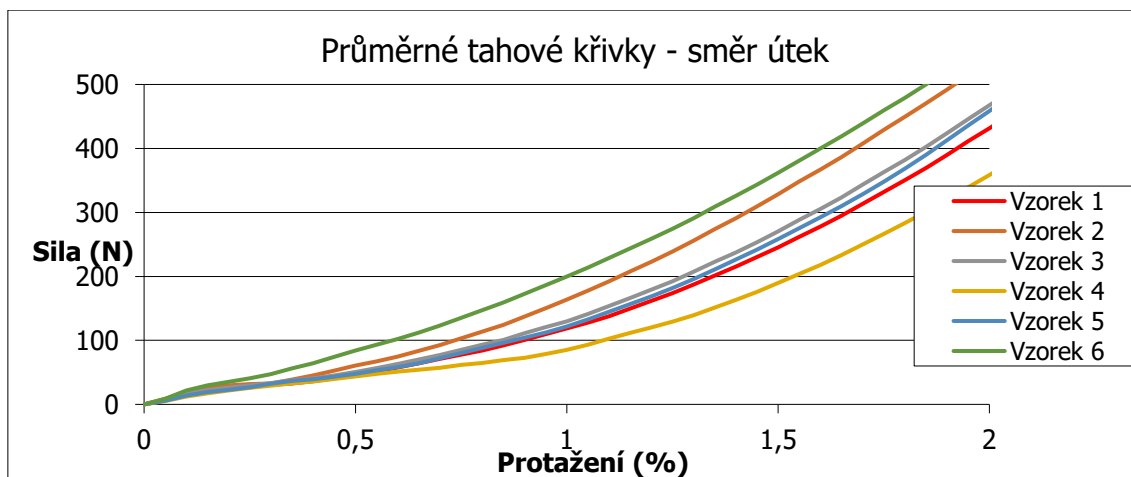
Předpokládáme, že vliv délky vazné vlny na deformační vlastnosti v tahu se nejvíce projeví v počátečním namáhání. Pro větší přehlednost byla pro zkoumání tohoto vlivu vybrána oblast grafu Síla 0 N až 500 N a prodloužení 0 % až 2 %.

Jediný vzorek, který má v této fázi patrný strmější průběh, je vzorek 6, který neobsahuje žádné spojky. Výměna zvlnění u tohoto vzorku proběhne rychleji než u vzorků obsahující spojky. Strmost tohoto stoupání je zřetelnější ve směru osnova.

Mezi vzorky, které spojky obsahují (Vzorky 1 - 6) není vidět jasný trend v průběhu tahových křivek. Křivky se vzájemně překrývají a pořadí tahových křivek nemá totožný průběh ani ve směru osnova a útku. Pro chaotický průběh nemáme odůvodnění a lze pouze předpokládat, že s větším počtem měření by se ukázal znatelný vztah mezi počtem spojek ve vzorku a strmostí jeho tahové křivky v počáteční fázi.



Obr.87: Průměrné tahové křivky – detail – směr osnova



Obr.88: Průměrné tahové křivky – detail – směr útek

7.2.4 Vliv zvlnění na pevnost, tažnost a tuhost tkaniny

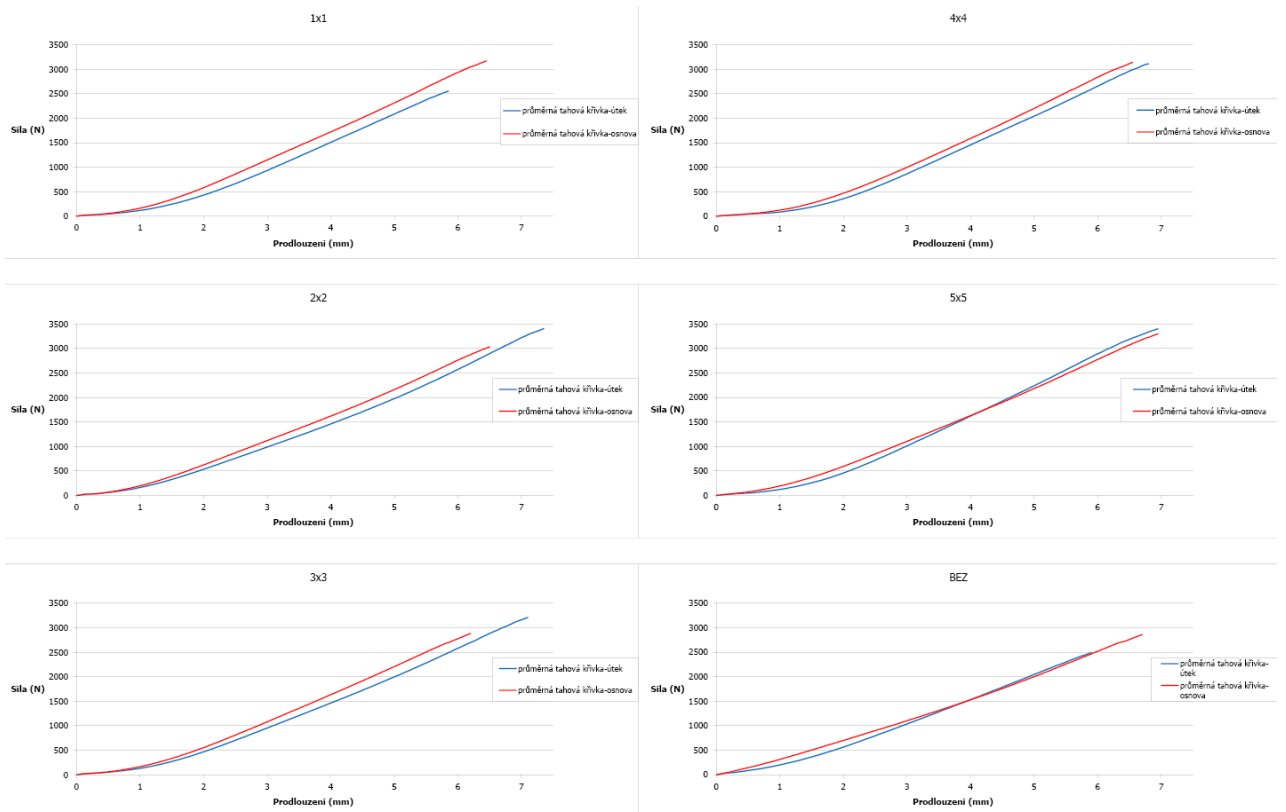
Míru zvlnění můžeme charakterizovat také jako parametr vazné vlny definující postavení nití v prostoru tkaniny. V modelové představě experimentální řady vzorků vycházíme z předpokladu vyrovnané tkaniny. U vyrovnané tkaniny je stejná vzdálenost průměru nití od střední roviny tkaniny pro osnovní i útkovou soustavu.

Pokud by platil předpoklad vyrovnané tkaniny, měly by mít obě soustavy stejný průběh. Srovnáním průměrných tahových křivek ve směru osnovy a směru útku se ukázal zjevný trend průběhu. Vzorky napínané ve směru osnovy ukazují strmější průběh.

Strmější průběh se projeví hlavně v první fázi tahového namáhání, kdy dochází k výměně zvlnění. Vzhledem k průběhu průměrných tahových křivek predikujeme, že experimentální vzorky mají větší zvlnění v soustavě útkové než v soustavě osnovní. Můžeme tedy vyvodit, že předpoklad vyrovnané tkaniny neplatí. Vzorky vykazují větší tuhost ve směru osnovy.

Na základě průběhu tahových křivek můžeme konstatovat, že předpoklad vyrovnané tkaniny je chybný.

Vliv zvlnění se u experimentálních vzorků z hlediska maximální síly a tažnosti neprojeví, u tuhosti se projeví.

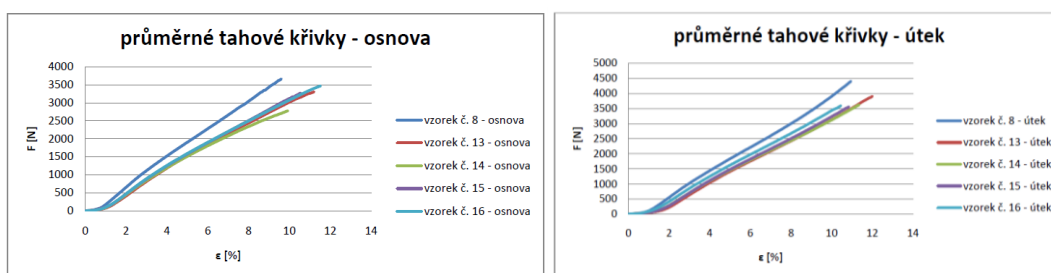


Obr.89: Průměrné tahové křivky –srovnání: směr osnova, směr útek

8 Srovnání výsledků experimentu s výsledky jiných prací

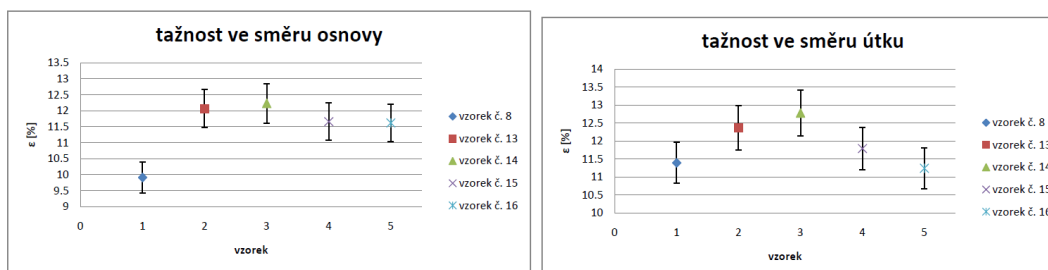
Výsledky diplomové práce je možné porovnat s výsledky měření z bakalářské práce Nikolý Kozákové – Vliv konstrukce tkané výztuže na její mechanické vlastnosti (2016). Je možné srovnání i s výsledky měření z odborného článku „Tensile behavior of Basalt/Glass single and multilayer-woven fabrics“, na kterém spolupracovali Zuhair Ahmad a Brigita Kolčavová Sirková. [3] [29]

Nikola Kozáková pracovala s více typy tkaniny. Pro komparaci se zaměříme na skupinu tkanin dvojnásobných se spojkami a tkanin vrstvených bez spojek v plátnové vazbě a dostavou 8 nití/cm. Stejně jako u výsledků diplomové práce je v grafech průměrných křivek BP strmější průběh křivky u vícevrstvé tkaniny bez spojek a tento trend se stejně jako u DP více projeví ve směru osnovy (viz. Obr. 90).



Obr.90: Průměrné tahové křivky-BP-Nikola Kozáková [29]

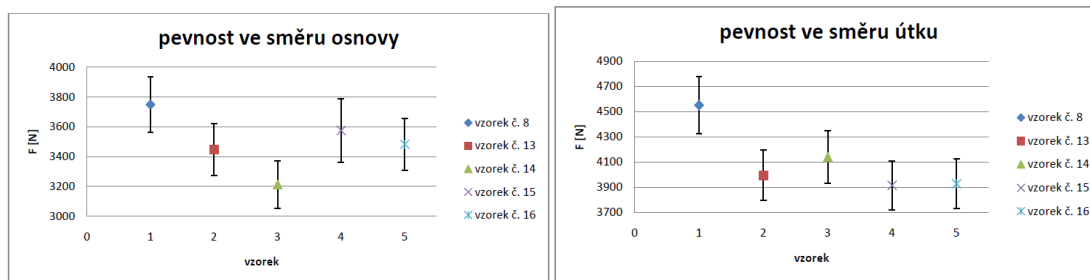
Rozdíly středních hodnot tažností ve směru útku popsané v bakalářské práci jsou stejně jako v diplomové práci statisticky nevýznamné. Rozdíly středních hodnot tažností ve směru osnovy v bakalářské práci jsou však statisticky významné a vykazují vyšší tuhost u vzorku vícevrstvé tkaniny bez spojek (viz Obr.91).



Obr.91: Tažnost-BP-Nikola Kozáková [29]

Rozdíly středních hodnot pevnosti ve směru útku v BP jsou statisticky významné a vykazují vyšší pevnost pro vrstvenou tkaninu bez spojek. Rozdíly středních hodnot

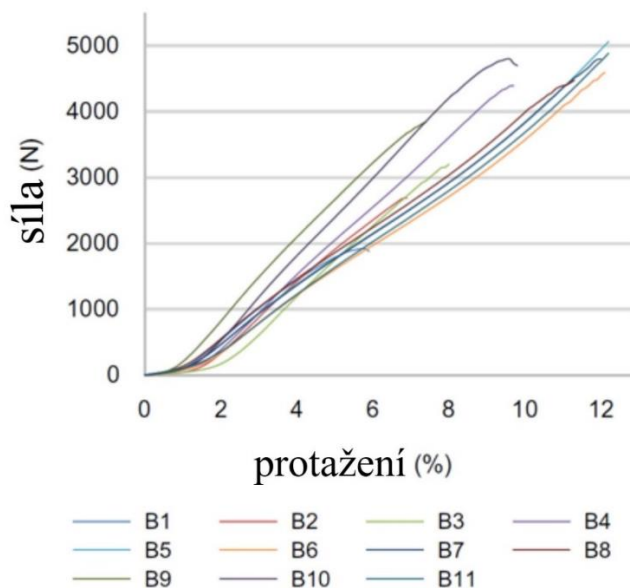
pevnosti ve směru osnovy v BP jsou však statisticky nevýznamné stejně jako v DP (viz Obr.92).



Obr.92: Pevnost-BP-Nikola Kozáková [29]

V odborném článku Zuhaib Ahmed popisuje, že spojkové tkaniny mají blízké hodnoty protažení v obou směrech a vliv vzdálenosti spojek se neprojevil statisticky významně (Obr.93:B4-B8). Statistickou nevýznamnost distribuce spojek lze odůvodnit tím, že v článku jsou srovnávány vzorky, které pracují se vzdáleností spojek od 0,5 cm po 2 cm, stoupající po 0,5 cm. [3]

V diplomové práci byly srovnávány vzorky s většími rozdíly ve vzdálenosti spojek – stoupání po 1 centimetru. Vliv distribuce spojek se pak projevil primárně ve vlivu na tuhost tkaniny.



Obr.93: Zuhaib Ahmed- vliv distribuce spojek [3]

9 Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvořit model délky vazné vlny dvojnásobné spojkové tkaniny a vyrobit experimentální sadu vzorků dvojnásobných spojkových tkanin. U vzorků pak následně zkoumat tahové vlastnosti a na základě tohoto experimentu stanovit vliv délky vazné vlny na mechanické vlastnosti dvojnásobné spojkové tkaniny.

Modelová představa délky vazné vlny pro spojkové tkaniny vycházela z předpokladů Lineárního a Peircova modelu a z představy dvou na sobě ležících vyrovnaných tkanin.

Experimentální sada vzorků byla vytvořena z čedičového multifilu na jednoproslupním tkacím jehlovém stroji CCI se žakárským elektronickým proslupním mechanismem. Vzorky měly stejnou dostavu a lišily se pouze parametrem distribuce spojek.

Sada vzorků lišící se v distribuci spojek byla navržena za účelem potvrzení nebo vyvrácení představy, že s větší distribucí spojek se sníží tuhost dvojnásobné spojkové tkaniny. Tento parametr lze vysvětlit tím, že s vyšším počtem spojek se zvyšuje délka vazné vlny.

Pro vzorky byly na základě jejich střídavy vazby za pomoci modelu spojkové tkaniny počítány délky vazné vlny. Na základě těchto výpočtů byla srovnána vhodnost modelu délky vazné vlny spojkové tkaniny s využitím Peircova a Lineárního modelu.

Experimentální sada vzorků byla zkoumána z hlediska jednoosého namáhání na přístroji Testometric M350-5CT a prostřednictvím programu MatLab byly zpracovány průměrné tahové křivky a tangentové počáteční moduly. Byly nalezeny střední hodnoty tažnosti a maximální síly a jejich 95 % intervaly spolehlivosti.

Výsledky měření pak byly srovnány s výsledky BP Nikoly Kozákové a odborného článku Zuhaiba Ahmada.

Hodnoty tažnosti a maximální síly tkaniny se ukázaly v analýze výsledků jako statisticky nevýznamné. Zkoumáním průběhu tahových křivek, jak v DP, tak v BP i ve výsledcích Zuhaiba Ahmada, je vidět strmější průběh vzorku vrstvené tkaniny bez vzorků. Tento trend se zároveň více projevuje ve směru osnovy a průběh tahových křivek poukazuje na větší tuhost tkaniny bez spojek.

Tangentové počáteční moduly poukazují na potvrzení hypotézy, že s větší distribucí spojek se sníží tuhost dvojnásobné spojkové tkaniny. Výsledky měření lze vyhodnotit tak,

že spojkové tkaniny mají nižší tuhost než tkaniny bez spojek. Protože se neprojevuje přehledný trend průměrných tahových křivek, a to ani v počáteční fázi, je pro věrohodné vyhodnocení vlivu distribuce spojek nutné další testování.

10 Literatura

- [1] 3-D FABRICS-An Overview 3-D FABRICS-An Overview. *ResearchGate | Find and share research* [online]. Copyright © 2008 [cit. 13.03.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/326508034_3-D_FABRICS-An_Overview_3-D_FABRICS-An_Overview
- [2] 3D Woven Composites: From Weaving to Manufacturing | IntechOpen. *IntechOpen - Open Science Open Minds | IntechOpen* [online]. Copyright © 2018 The Author [cit.13.07.2020]. Dostupné z:
- [3] AHMAD, Zuhaib a Brigita Kolčavová SIRKOVÁ. Tensile behavior of Basalt/Glass single and multilayer-woven fabrics. *The Journal of The Textile Institute* [online]. 2017, 109(5), 686-694 [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.1080/00405000.2017.1365400. ISSN 0040-5000. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00405000.2017.1365400>
- [4] ANAHARA, M., YASUI, Y., SUDOH, M. and NISHITANI, M. (1993). Three Dimensional Fabric with Symmetrically Arranged Warp and Bias Yarn Layers, Patent No. USP 5 270 094.
- [5] Badawi S.S. (2007). *Development of the Weaving Machine and 3D Woven Spacer Fabric Structures for Lightweight Composites Materials*, PhD Thesis, Technical University of Dresden, Dresden, Germany.
- [6] BEDNÁŘ, Vladimír a Stanislav SVATOŠ. *Vazby a rozbory tkanin I*. Praha: SNTL, 1989, 238 s. ISBN 80-03-00082-3.
- [7] BEHERA, B.K., 2010. *Woven textile structure: theory and applications*, Woodhead publishing series in textiles. Woodhead Publ, Oxford.
- [8] BILISK, A.K. (2000). *Multiaxial Three-dimensional (3-D) Circular Woven Fabric*, Patent No. USP 6129 122.
- [9] BILISK, Kadir. *Multiaxis 3D Woven Preform and Properties of Multiaxis 3D Woven and 3D Orthogonal Woven Carbon/Epoxy Composites*. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* [online]. 2009, 29(8), 1173-1186 [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.1177/0731684409103153. ISSN 0731-6844. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0731684409103153>
- [10] BILISK, A.K. (2011). *Multiaxis Three Dimensional (3D) Woven Fabric* | IntechOpen. *IntechOpen - Open Science Open Minds | IntechOpen* [online]. Copyright © 2011 [cit. 13.05.2020]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-modern-woven-fabrics-technology/multiaxis-three-dimensional-3d-woven-fabric>
- [11] ČSN EN ISO 13934-1. *Textilie - Tahové vlastnosti plošných textilií: Část 1: Zjišťování maximální síly a tažnosti při maximální síle pomocí metody Strip*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [12] FUKUTA K., NAGATSUKA Y., TSUBURAYA S., MIYASHITA R., SEKIGUTI J., AOKI E., SASAHARA M., (1974). *Three dimensional fabric and method and loom construction for the production thereof*. Patent No. USP 3834424.
- [13] Fukuta, K., Onooka, R., Aoki, E., Tsuburaya, S. (1982), *A three-dimensional latticed flexible structure composite*, Patent No. USP 4336296.
- [14] GREENWOOD, K. (1974). *Loom*, US Patent No. 3818951.

- [15] GU, Huang a Zhong ZHILI. Tensile behavior of 3D woven composites by using different fabric structures. *Materials & Design* [online]. 2002, 23(7), 671-674 [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.1016/S0261-3069(02)00053-5. ISSN 02613069. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306902000535>
- [16] GURKAN, Pelin. 3D Woven Fabrics. JEON, Han-Yong, ed. *Woven Fabrics* [online]. InTech, 2012, 2012-05-16 [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.5772/37492. ISBN 978-953-51-0607-4. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/woven-fabrics/3-d-woven-fabrics>
- [17] HU, J., 2008. 3-D fibrous assemblies: properties, applications and modelling of three-dimensional textile structures, Woodhead publishing in textiles. CRC Press [u.a.], Boca Raton, Fla. ISBN: 978-1-84569-377-0
- [18] CHEN, X., M. SPOLA, J. Gisbert PAYA a P. Mollst SELLABONA1. Experimental Studies on the Structure and Mechanical Properties of Multi-layer and Angle-interlock Woven Structures. *The Journal of The Textile Institute* [online]. 2009, 90(1), 91-99 [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.1080/00405009908658693. ISSN 0040-5000. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00405009908658693>
- [19] CHEN, X., Textile Institute (Manchester, England) (Eds.), 2010. Modelling and predicting textile behaviour, Woodhead publishing series in textiles. Woodhead Publishing : In association with the Textile Institute ; CRC Press, Cambridge : Boca Raton, Fla.
- [20] INTERNÍ NORMA 23-108-01/01 Definice: Geometrie provázání nití ve tkanině z příčných řezů. Liberec: Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní. 2011.
- [21] KO, F K (1989), Three-dimensional fabrics for composites, in *Textile Structural Composites* (ed. Tsu-Wei Chou and Frank K. Ko), Elsevier, New York, 129–171.
- [22] KHOKAR N. (2002). Noobing: A Nonwoven 3D Fabric forming Process Explained, *Journal of the Textile Institute*, Vol.93, No.1, pp. 52-74.
- [23] KHOKAR, N. (2001). 3D-Weaving: Theory and Practice, *Journal of the Textile Institute*, Vol.92 No.2, pp.193-207. Woven fabric having a bulging zone and method and apparatus of forming same. Patent No. US6000442, 1999
- [24] KHOKAR N., Domeij, T. (1999). Device for Producing Integrated Nonwoven Threedimensional Fabric. Sweden. Patent No. SE 509 944.
- [25] Kolčavova SIRKOVÁ, B.: Dílčí projekt: System projektovani textilnich struktur, 2.etapa: Tvorba systemu projektovani „příze-tkanina“. Manual. Liberec, 2004.
- [26] Kolčavová SIRKOVÁ, Brigita. Konstrukce a vlastnosti tkanin [online].Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, s. 44 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z:
- [27] KOPPELMAN, E., EDWARD A.R. (1963). Woven Panel and Method of Making Same, US Patent No. 3090406.
- [28] KOVÁŘ, Radko. *Struktura a vlastnosti plošných textilií*. V Liberci: Technická univerzita, 2003. ISBN 80-7083-676-8.
- [29] KOZÁKOVÁ, Nikola, Vliv konstrukce tkané výztuže na její mechanické vlastnosti [online].Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2017, s. 44 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z:
- [30] LI, Mengru, Peng WANG, François BOUSSU a Damien SOULAT. Effect of Fabric Architecture on Tensile Behaviour of the High-Molecular-Weight Polyethylene 3-Dimensional Interlock Composite Reinforcements. *Polymers* [online]. 2020, 12(5)

- [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.3390/polym12051045. ISSN 2073-4360. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/5/1045>
- [31] LONG, ANDREW C., a Textile Institute, editoři. *Design and Manufacture of Textile Composites*. CRC Press, 2005, ISBN 978-18-5573-744-0
- [32] MENGRU Li, Peng WANG, François BOUSSU, Damien SOULAT (2020) Effect of Fabric Architecture on Tensile Behaviour of the High-Molecular-Weight Polyethylene 3-Dimensional Interlock Composite Reinforcements by University of Lille, Ensait, Gemtex, F-59000 Roubaix, France University of Haute-Alsace, Ensisa, Lpmt, F-68000 Mulhouse, France
- [33] MERTOVIÁ, Iva. Projektování textilií – plošné textilie – tkaniny [online prezentace]. 2019 [cit. 2020-03-7]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/>
- [34] MIRAVETE, A. (Ed.), 1999. 3-D textile reinforcements in composite materials. Woodhead Publ. Ltd [u.a.], ISBN 978-18-5573-376-3.
- [35] MOHAMED M H (1990), Three-dimensional textiles, *American Scientist*, 78, 6, 530–541.
- [36] MOHAMED M. H., Zhang Z.H. (1992). Method of Forming Variable Cross Sectional Shaped Three Dimensional Fabric, US Patent No. 5085252.
- [37] MOHAMED, M.H. and Bilisik, A.K. (1995). Multi-layer Three-dimensional Fabric and Method for Producing, US Patent No. 5 465 760.
- [38] NAIK, N. K., Sk. N. M. AZAD a P. Durga PRASAD. Stress and Failure Analysis of 3D Angle Interlock Woven Composites. *Journal of Composite Materials* [online]. 2016, 36(1), 93-123 [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.1177/0021998302036001303. ISSN 0021-9983. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0021998302036001303>
- [39] NECKÁŘ, Bohuslav. Tkaniny 1, “Definice, souvislosti” [online prezentace]. 2017 [cit. 2020-03-7]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/>
- [40] NECKÁŘ, Bohuslav. Tkaniny 2, “Modely geometrie” [online prezentace]. 2017 [cit. 2020-03-7]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/>
- [41] NECKÁŘ, Bohuslav. Tkaniny 3, “Mechanika tkanin” [online prezentace]. 2017 [cit. 2020-03-7]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/>
- [42] NOSEK, Stanislav. *Struktura a geometrie tkanin*. Ústí nad Orlicí: Výzkumný ústav bavlnářský, 1974. ISBN (nev.).
- [43] RHEAUME J.A. (1976). Multi-ply woven article having double ribs. Patent No. US3943980.
- [44] SANDEEP D N, B S SUGUN, K V KUNDAN, S N SHWETHA, ASHWATHI AND T ANANTHAKRISHNAN. Development of 3D Angle-Interlock Woven Preforms for Composites Centre. Centre for Societal Missions and Special Technologies, CSIR- NAL, Composite Division, CSIR- NAL, Textile Technology Department, Govt. SKSJT Institute, Bangalore, India
- [45] SALEH, Mohamed Nasr a Constantinos SOUTIS. Recent advancements in mechanical characterisation of 3D woven composites. *Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes* [online]. 2017, 3(1) [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.1186/s40759-017-0027-z. ISSN 2198-7874. Dostupné z: <http://mammp-journal.springeropen.com/articles/10.1186/s40759-017-0027-z>
- [46] TUMAJER, Petr, Martin BÍLEK a Josef DVOŘÁK. *Základy tkání a tkací stroje*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-215-0.

- [47] UMI FS ČVUT | Ústav materiálového inženýrství [online]. Copyright © [cit. 13.03.2020]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/6_kompozitni-materialy.pdf
- [48] WEINBERG, A. (1995). Method of Shed Opening of Planar Warp for High Density Three Dimensional Weaving. US Patent No. 5449025.
- [49] XIAOGANG CHEN, Lindsay Waterton TAYLOR a Li-Ju TSAI. An overview on fabrication of three-dimensional woven textile preforms for composites. *Textile Research Journal* [online]. 2010, 81(9), 932-944 [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.1177/0040517510392471. ISSN 0040-5175. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0040517510392471>
- [50] XIAOGANG CHEN a Ayse EBRU TAYYAR. Engineering, Manufacturing, and Measuring 3D Domed Woven Fabrics. *Textile Research Journal* [online]. 2016, 73(5), 375-380 [cit. 2020-07-13]. DOI: 10.1177/004051750307300501. ISSN 0040-5175. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/004051750307300501>
- [51] YI, H. L. a X. DING. Conventional Approach on Manufacturing 3D Woven Preforms Used for Composites. *Journal of Industrial Textiles* [online]. 2016, 34(1), 39-50 [cit. 2020-03-13]. DOI: 10.1177/1528083704045847. ISSN 1528-0837. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1528083704045847>
- [52] Zkoušení textilií - přednáška 7: Mechanické vlastnosti. Katedra materiálového inženýrství [online]. Liberec: Technická univerzita, 2011 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z:

11 Seznam Tabulek

Tab.1: Srovnání výpočtu délky nitě-Kolčavová KVT [26]

Tab.2: Základní parametry zkoumaných vzorků tkanin.

Tab.3: Délka vazné vlny ve střídě získaná za pomoci Lineárního modelu

Tab.4: Délka vazné vlny ve střídě získaná za pomoci Peircova modelu

Tab.5: Délka vazné vlny ve střídě vazby přepočítaná na 100 cm tkaniny získaná za pomoci Lineárního modelu

Tab.6: Délka vazné vlny ve střídě vazby přepočítaná na 100 cm tkaniny získaná za pomoci Peircova modelu

Tab.7: Délka vazné vlny pro 1 rozteč nití

Tab.8: Počet spojek na 100 cm tkaniny pro sadu experimentálních vzorků

Tab.9: Tažnost experimentálních vzorků-střední hodnota, IS-95%

Tab.10: Maximální síla experimentálních vzorků-střední hodnota, IS-95%

Tab.11: Počáteční tangentový modul

Tab.12: Počáteční tangentový modul

12 Seznam Obrázků

- Obr.1: 3D plné tkaniny [16]
- Obr.2: Ukázka spojkové tkaniny provázané skrze tloušťku (vlevo), spojkové tkaniny provázané od vrstvy k vrstvě (vpravo) [44]
- Obr.3: Ukázka procesu tkaní u spojkových tkanin [17]
- Obr.4: Ukázka tkacího stroje vhodného ke tkaní spojkových tkanin [44]
- Obr.5: Výroba a vzhled tkaniny s dvojitým žebrovím a vzhled tkaniny s průřezem ve tvaru I. [43]
- Obr.6: Vzhled tkaniny s dvojitým žebrovím a střídanou vrchní a spodní vrstvou. [5]
- Obr.7: Příklad jednoosé 3D tkaniny [14]
- Obr.8: Proces jednoosého 3D tkaní na upraveném jednoprošlupním tkacím stroji [17]
- Obr.9: Výroba neprotkané ortogonální jednoosé 3D tkaniny na 3D tkacím stroji [22]
- Obr.10: Specializovaný 3D tkací stroj pro výrobu neprotkané ortogonální jednoosé 3D tkaniny [12]
- Obr.11: Weinbergova variace na 3D tkací stroj [48]
- Obr.12: Jednoosá neprotkaná ortogonální 3D tkanina [22]
- Obr.13: Víceosá neprotkaná ortogonální 3D tkanina [22]
- Obr.14: Struktura víceosé 3D tkaniny [4]
- Obr.15: Výroba víceosé 3D tkaniny [4]
- Obr.16: Struktura víceosé ortogonální 3D tkaniny [37]
- Obr.17: Struktura víceosé válcové 3D tkaniny a víceosého kruhového tkacího zařízení [8]
- Obr.18: Ukázka polární struktury [17]
- Obr.19: Protkaná trojrozměrná tkanina (a) pohled ze strany (b) pohled z vrchu [13]
- Obr.20: Schéma dvojitého prošlupu [17]
- Obr.21: Postup dvojitého prošlupu a zanesení útků [23]
- Obr.22: Možnosti vzorování [17]
- Obr.23: Osnovní spojky (podélný řez) vlastní vizualizace [6]
- Obr.24: Útkové spojky (podélný řez) -vlastní vizualizace [6]

- Obr.25: (a) plátňová vazba (b) vzornice plátňové vazby (c) podélný řez (d) příčný řez [7]
- Obr.26: Vazná buňka tkaniny a řez vaznou buňkou – vlastní vizualizace [42]
- Obr.27: Výška vazné vlny osnovy... h_o (l), výška vazné vlny útku... h_u (l) [40]
- Obr.28: Novikov – fáze zvlnění nití – vlastní vizualizace [33]
- Obr.29: Lineární model, plátňová vazba jednoduchá tkanina [33]
- Obr.30: Modelová představa – Lineární model, plátňová, vyrovnaná tkanina – popis vychází ze struktury příčného řezu vícenásobné tkaniny
- Obr.31: Peircův model, plátňová, vyrovnaná tkanina [30]
- Obr.32: Modelová představa – Peircův model, plátňová, vyrovnaná tkanina
- Obr.33: Tahová křivka s popisem jejích částí(a), výměna zvlnění(b), elastický region(c), nelineární oblast přetrhu (d) [3]
- Obr.34: Vzorek 1, střída vazby, plošné snímky, EAD vizualizace
- Obr.35: Vzorek 2, střída vazby, plošné snímky, EAD vizualizace
- Obr.36: Vzorek 3, střída vazby, plošné snímky, EAD vizualizace
- Obr.37: Vzorek 4, střída vazby, plošné snímky, EAD vizualizace
- Obr.38: Vzorek 5, střída vazby, plošné snímky, EAD vizualizace
- Obr.39: Příprava útku-soukání, vlastní fotodokumentace
- Obr.40: Příprava osnovy-snování, vlastní fotodokumentace a vizualizace
- Obr.41: Příprava osnovy-snování, vlastní fotodokumentace
- Obr.42: Příprava tkaní – navádění, fotodokumentace
- Obr.43: Tkaní, fotodokumentace
- Obr.44: Modelová představa-Princip plného zdvihu, střída plátňové vazby, střída dvojnásobné plátňové tkaniny, střída dvojnásobné plátňové tkaniny se spojkou.
- Obr.45: Vizualizace spojkové nitě – program EAD, Peircův model-modelová představa
- Obr.46: Modelová představa limitní struktury – Lineární model, dvojnásobná, vyrovnaná tkanina, plátňová vazba
- Obr.47: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 1
- Obr.48: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 2
- Obr.49: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 3
- Obr.50: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 4
- Obr.51: Modelová představa – Lineární model střídy vazby vzorek 5

- Obr.52: Modelová představa – Lineární model střídání vazby vzorek 6
- Obr.53: Vlastní vizualizace – Peircův model, dvojnásobná, vyrovnaná tkanina, plátnová vazba
- Obr.54: Modelová představa – Peircův model střídání vazby vzorek 1
- Obr.55: Modelová představa – Peircův model střídání vazby vzorek 2
- Obr.56: Modelová představa – Peircův model střídání vazby vzorek 3
- Obr.57: Modelová představa – Peircův model střídání vazby vzorek 4
- Obr.58: Modelová představa – Peircův model střídání vazby vzorek 5
- Obr.59: Modelová představa – Peircův model střídání vazby vzorek 6
- Obr.60: Srovnání Lineárního modelu a Peircova modelu – modelová představa
- Obr.61: Srovnání Lineárního modelu a Peircova modelu-řezy tkaniny [26]
- Obr.62: Graf 1 - Grafické znázornění délky ve vazné vlně přepočtené na 100 cm tkaniny
- Obr.63: Graf 2 - Vzájemná závislost modelů pro získanou délku vazné vlny ve střídě
- Obr.64: Upravené rozměry testovacího vzorku – vlastní vizualizace
- Obr.65: Srovnání tahových zkoušek – vzorek, vzorek s filcem, vzorek a smirkový papír- fotodokumentace
- Obr.66: Tahová křivka pro kovové materiály-vlastní vizualizace [3][52]
- Obr.67: Průměrné tahové křivky – směr osnova
- Obr.68: Průměrné tahové křivky – směr útek
- Obr.69: Průměrné tahové křivky –srovnání: směr osnova, směr útek
- Obr.70: Maximální síla-směr osnova
- Obr.71: Maximální síla-směr útek
- Obr.72: Tažnost-směr osnova
- Obr.73: Tažnost-směr útek
- Obr.74: Počáteční tangentový modul-směr osnova
- Obr.75: Počáteční tangentový modul-směr útek
- Obr.76: Počáteční tangentový modul-směr osnova
- Obr.77: Počáteční tangentový modul-směr útek
- Obr.78: Maximální síla-směr osnova
- Obr.79: Maximální síla-směr útek
- Obr.80: Tažnost-směr osnova
- Obr.81: Tažnost-směr útek
- Obr.82: Graf 3 – Tahová deformace – počáteční tangentový modul E_P [52]

- Obr.83: Tahová křivka pro kovové materiály-vlastní vizualizace [3][52]
- Obr.84: Průměrné tahové křivky – směr osnova
- Obr.85: Průměrné tahové křivky – směr útek
- Obr.86: Graf 1 - Grafické znázornění délky ve vazné vlně přepočtené na 100 cm tkaniny
- Obr.87: Průměrné tahové křivky – detail – směr osnova
- Obr.88: Průměrné tahové křivky – detail – směr útek
- Obr.89: Průměrné tahové křivky –srovnání: směr osnova, směr útek
- Obr.90: Průměrné tahové křivky-BP-Nikola Kozáková [29]
- Obr.91: Tažnost-BP-Nikola Kozáková [29]
- Obr.92: Pevnost-BP-Nikola Kozáková [29]
- Obr.93: Zuhair Ahmed-vliv distribuce spojek [3]

13 Seznam Příloh

Příloha 1: Lineární model-tabulky s pomocnými údaji pro výpočet délky vazné vlny experimentálních vzorků.

Příloha 2: Peircův model-tabulky s pomocnými údaji pro výpočet délky vazné vlny experimentálních vzorků.

Příloha 3: Průměrné křivky vygenerované programem MatLab pro jednotlivé vzorky ve směru osnovy a ve směru útku.. V grafu jsou zobrazeny i křivky jednotlivých zkoušek.

Příloha 4: Fotografie vzorků s tahovými zkouškami jednotlivých vzorků ve směru osnovy a ve směru útku.

Příloha 1

Lineární model: tabulky s pomocnými údaji pro výpočet délky vazné vlny experimentálních vzorků.

Vzorek 1							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	C	C°	l_L
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,155 cm	0,183 cm	102,483 cm
t	g	f	m	n	l_L°	w	q
7	1	82,5	7	1	104,7384 cm	8	1,270 cm

Vzorek 2							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	C	C°	l_L
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,155 cm	0,183 cm	102,483 cm
t	g	f	m	n	l_L°	w	q
13	1	47,143	13	1	103,772 cm	14	2,201 cm

Vzorek 3							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	C	C°	l_L
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,155 cm	0,183 cm	102,483 cm
t	g	f	m	n	l_L°	w	q
20	1	31,429	20	1	103,3425 cm	21	3,288 cm

Vzorek 4							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	C	C°	l_L
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/c,	0,152 cm	0,155 cm	0,183 cm	102,483 cm
t	g	f	m	n	l_L°	w	q
27	1	23,571	27	1	103,1277 cm	28	4,375 cm

Vzorek 5							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	C	C°	l_L
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,155 cm	0,183 cm	102,483 cm
t	g	f	m	n	l_L°	w	q
35	1	18,333	35	1	102,9845 cm	36	5,617 cm

Vzorek 6							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	C	C°	t
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,155 cm		2
g	f	m	n	l_L°	w	q	l_L
-	-	-	-	-	2	0,311 cm	102,483 cm

Příloha 2

Peircův model: tabulky s pomocnými údaji pro výpočet délky vazné vlny experimentálních vzorků.

Vzorek 1							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	A/2	x_{P1}	x_{P2}
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,076 cm	0,078 cm	0,078 cm
v_{P1}	v_{P2}	β_{P1}	α_{P1}	o_{P1}	β_{P2}	α_{P2}	o_{P2}
0,070 cm	0,070 cm	0,221 rad	0,453 rad	0,008 cm	0,221 cm	0,453 rad	0,023 cm
l_{P1}	l_{P2}	t	g	f	m	n	l_{P1}°
0,078 cm	0,093 cm	7	1	82,500	7	1	102,570 cm
l_{P2}°	w	q					
105,043 cm	8	1,273 cm					

Vzorek 2							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	A/2	x_{P1}	x_{P2}
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,076 cm	0,078 cm	0,078 cm
v_{P1}	v_{P2}	β_{P1}	α_{P1}	o_{P1}	β_{P2}	α_{P2}	o_{P2}
0,070 cm	0,070 cm	0,221 rad	0,453 rad	0,008 cm	0,221 rad	0,453 rad	0,023 cm
l_{P1}	l_{P2}	t	g	f	m	n	l_{P1}°
0,078 cm	0,093 cm	13	1	47,143	13	1	102,570 cm
l_{P2}°	w	q					
103,983 cm	14	2,206 cm					

Vzorek 3							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	A/2	x_{P1}	x_{P2}
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,076 cm	0,078 cm	0,078 cm
v_{P1}	v_{P2}	β_{P1}	α_{P1}	o_{P1}	β_{P2}	α_{P2}	o_{P2}
0,070 cm	0,070 cm	0,221 rad	0,453 rad	0,008 cm	0,221 rad	0,453 rad	0,023 cm
l_{P1}	l_{P2}	t	g	f	m	n	l_{P1}°
0,078 cm	0,093 cm	20	1	31,429	20	1	102,570 cm
l_{P2}°	w	q					
103,512 cm	21	3,294 cm					

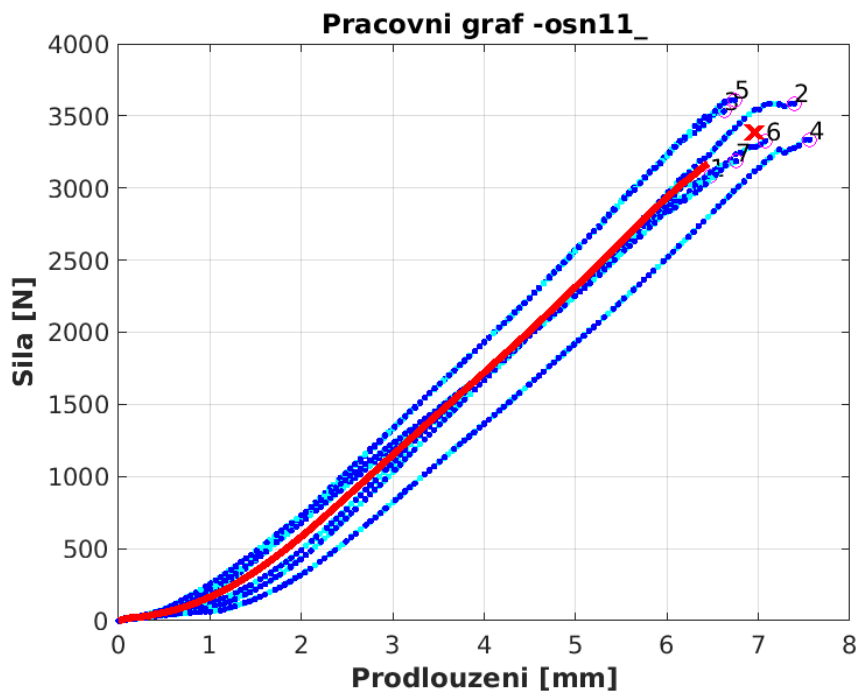
Vzorek 4							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	A/2	x_{P1}	x_{P2}
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,076 cm	0,078 cm	0,078 cm
v_{P1}	v_{P2}	β_{P1}	α_{P1}	o_{P1}	β_{P2}	α_{P2}	o_{P2}
0,070 cm	0,070 cm	0,221 rad	0,453 rad	0,008 cm	0,221 rad	0,453 rad	0,023 cm
l_{P1}	l_{P2}	t	g	f	m	n	l_{P1}°
0,078 cm	0,093 cm	27	1	23,571	27	1	102,570 cm
l_{P2}°	w	q					
103,277 cm	28	4,381 cm					

Vzorek 5							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	A/2	x_{P1}	x_{P2}
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,076 cm	0,078 cm	0,078 cm
v_{P1}	v_{P2}	β_{P1}	α_{P1}	o_{P1}	β_{P2}	α_{P2}	o_{P2}
0,070 cm	0,070 cm	0,221 rad	0,453 rad	0,008 cm	0,221 rad	0,453 rad	0,023 cm
l_{P1}	l_{P2}	t	g	f	m	n	l_{P1}°
0,078 cm	0,093 cm	35	1	18,333	35,000	1	102,570 cm
l_{P2}°	w	q					
103,120 cm	36	5,625 cm					

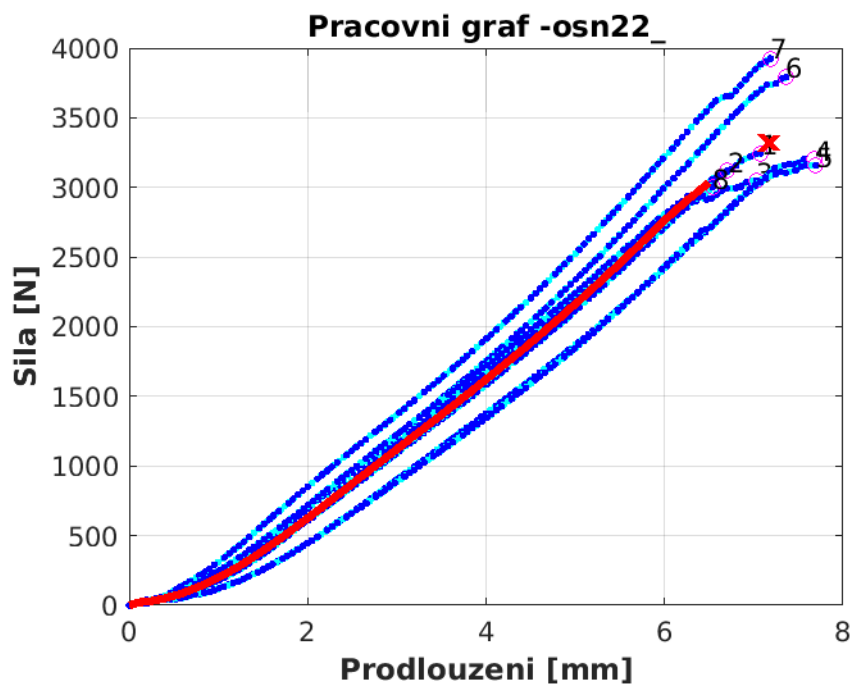
Vzorek 6							
d_o	d_u	$d_{stř}$	D_u	A	A/2	x_{P1}	x_{P2}
0,340 mm	0,340 mm	0,340 mm	6,6 n/cm	0,152 cm	0,076 cm	0,078 cm	-
v_{P1}	v_{P2}	β_{P1}	α_{P1}	o_{P1}	β_{P2}	α_{P2}	o_{P2}
0,070 cm	-	0,221 rad	0,453 rad	0,008 cm	-	-	-
l_{P1}	l_{P2}	t	g	f	m	n	l_{P2}°
0,078 cm	-	-	-	-	2	-	-
w	q	l_{P1}°					
2	0,311 cm	102,570 cm					

Příloha 3

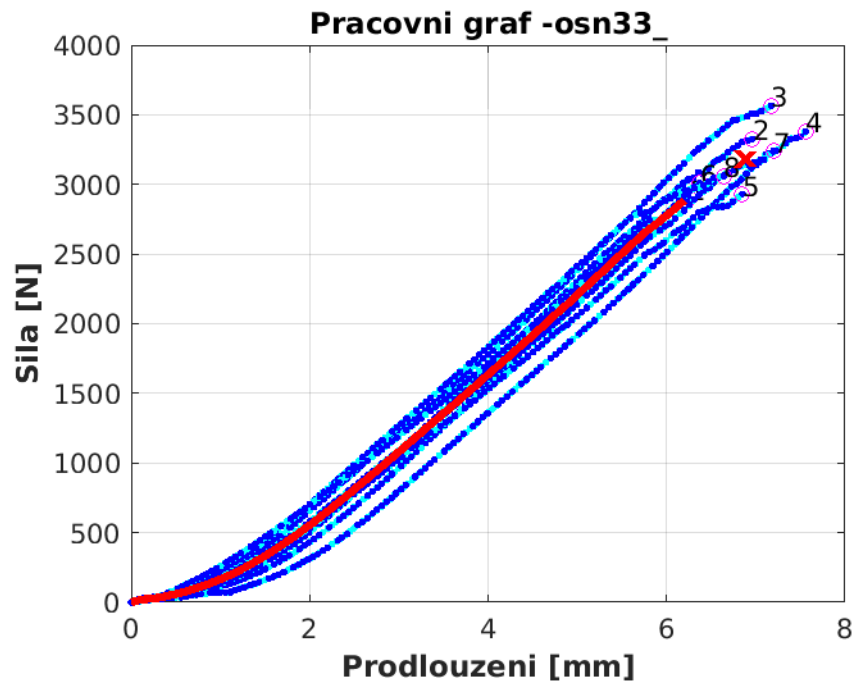
Průměrné křivky vygenerované programem MatLab pro jednotlivé vzorky ve směru osnovy a ve směru útku. V grafu jsou zobrazeny i křivky jednotlivých zkoušek.



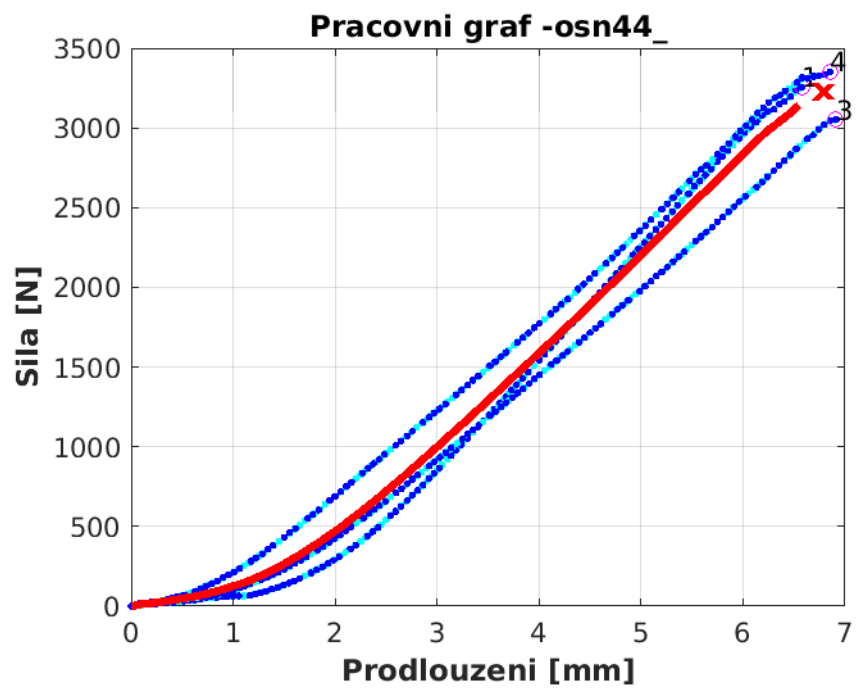
Průměrná tahová křivka -vzorek 1 směr osnova



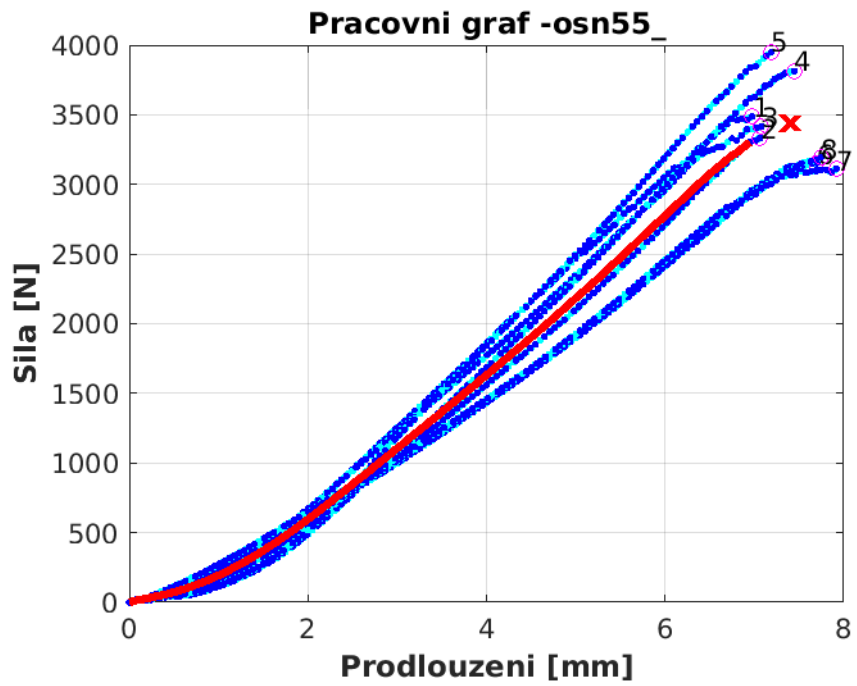
Průměrná tahová křivka -vzorek 2 směr osnova



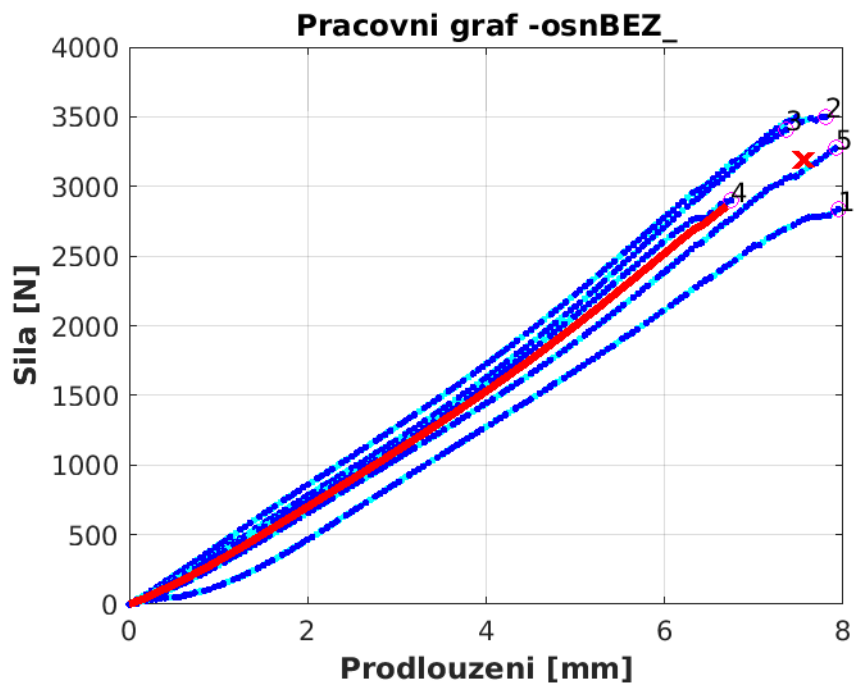
Průměrná tahová křivka -vzorek 3 směr osnova



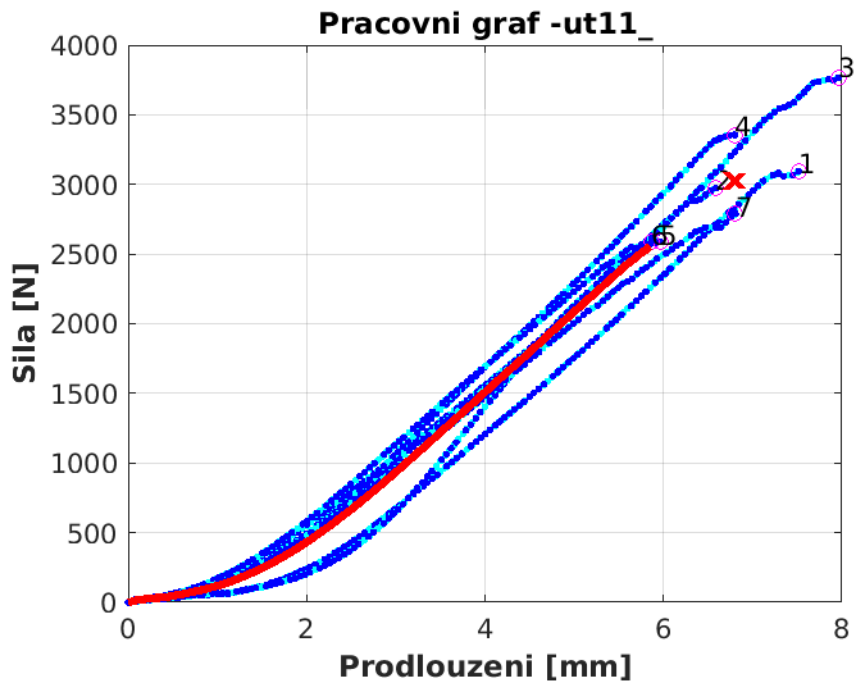
Průměrná tahová křivka-vzorek 4 směr osnova



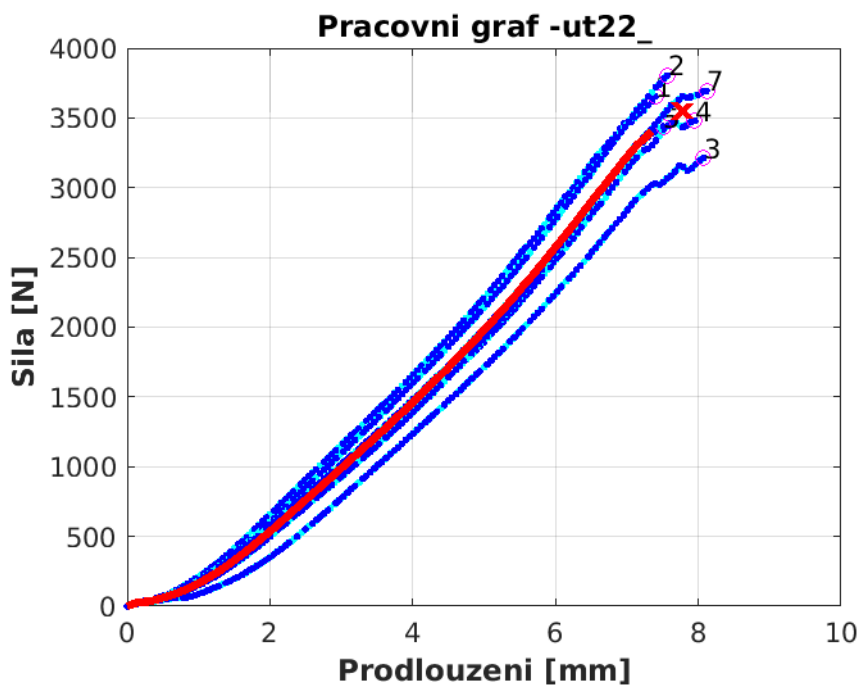
Průměrná tahová křivka – vzorek 5 směr osnova



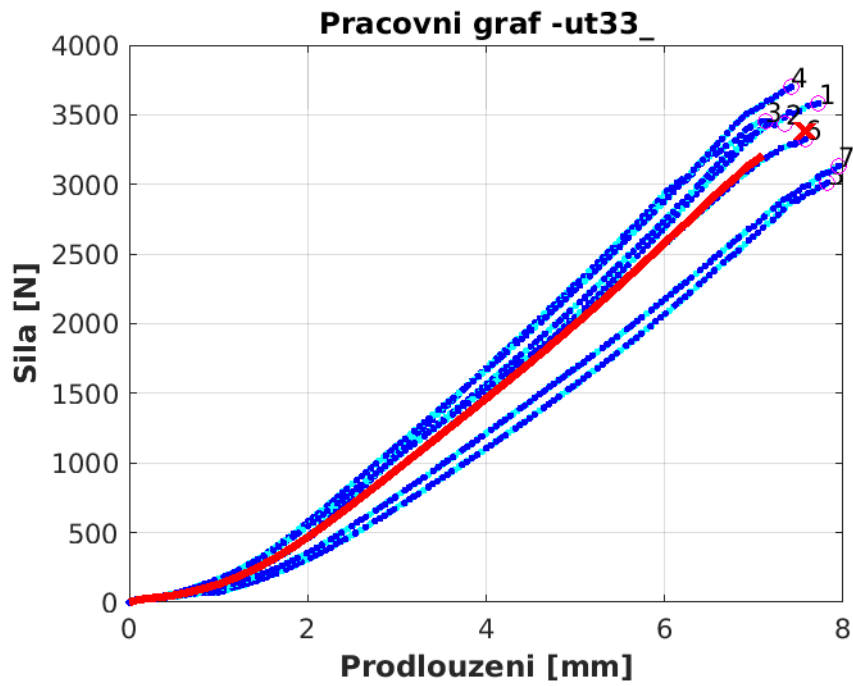
Průměrná tahová křivka -vzorek 6 směr osnova



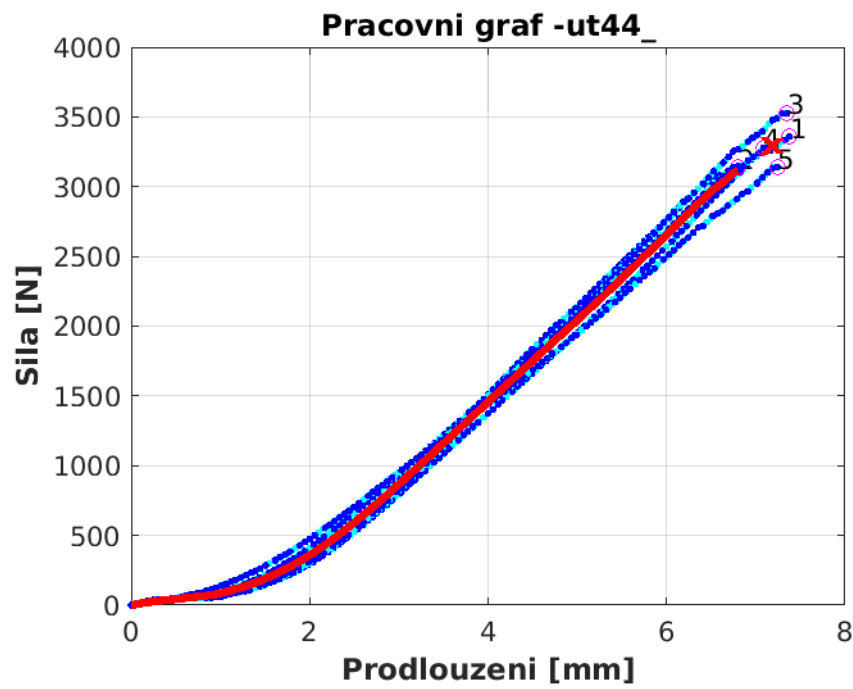
Průměrná tahová křivka -vzorek 1 směr útek



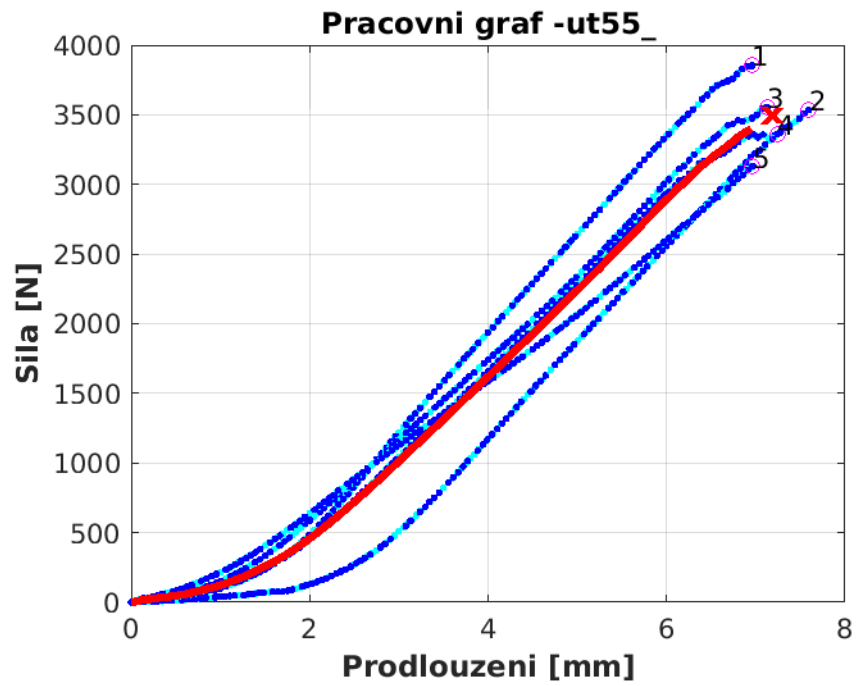
Průměrná tahová křivka -vzorek 2 směr útek



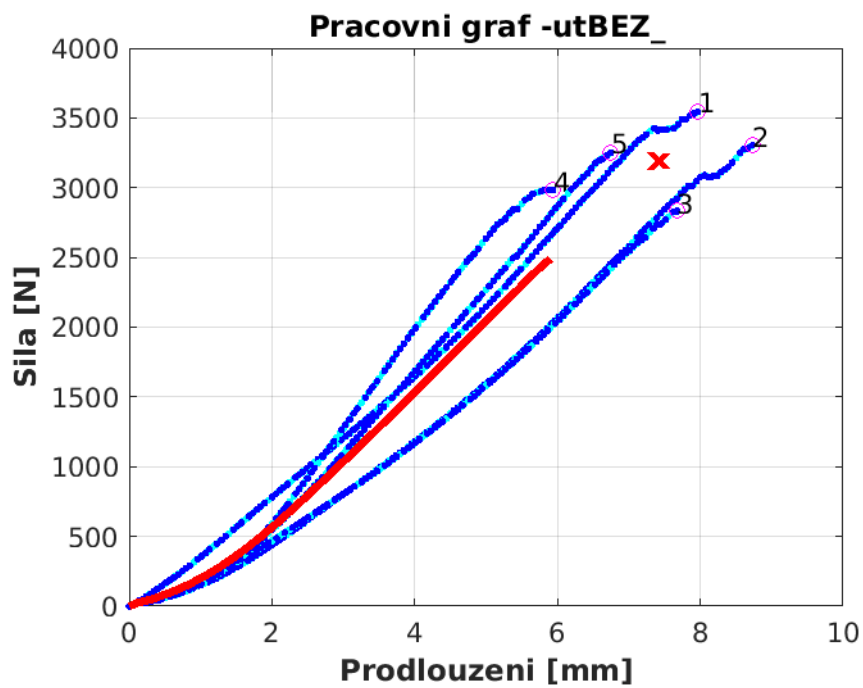
Průměrná tahová křivka -vzorek 3 směr útek



Průměrná tahová křivka-vzorek 1 směr útek



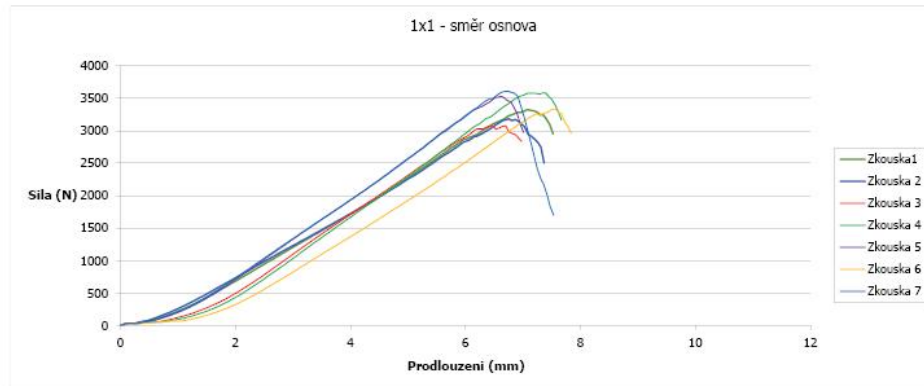
Průměrná tahová křivka -vzorek 5 směr útek



Průměrná tahová křivka – vzorek 6 směr útek

Příloha 4

Fotografie vzorků s tahovými zkouškami jednotlivých vzorků ve směru osnova a ve směru útku.



Zkouška 1



Zkouška 2



Zkouška 3



Zkouška 4



Zkouška 5

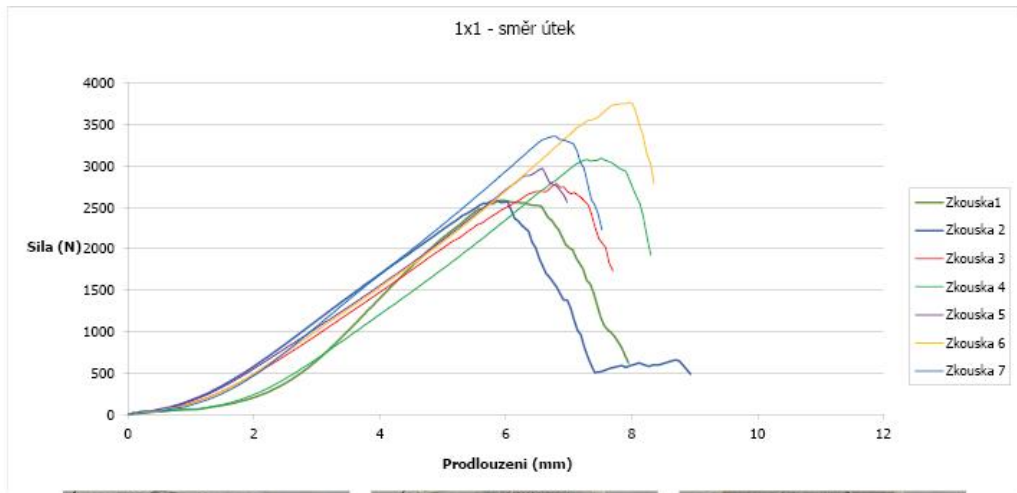


Zkouška 6



Zkouška 7

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 1 směr osnova



Zkouška 1



Zkouška 2



Zkouška 3



Zkouška 4



Zkouška 5

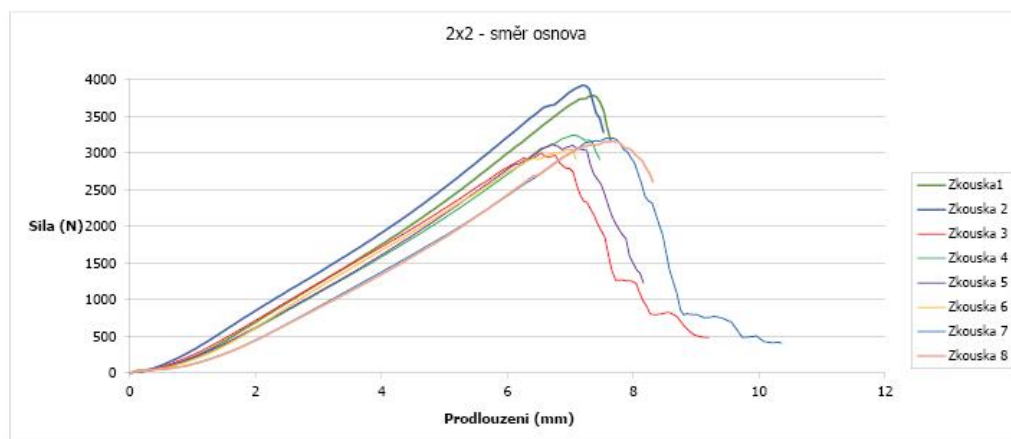


Zkouška 6



Zkouška 7

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 1 směr útek



Zkouška 1



Zkouška 2



Zkouška 3



Zkouška 4



Zkouška 5



Zkouška 6

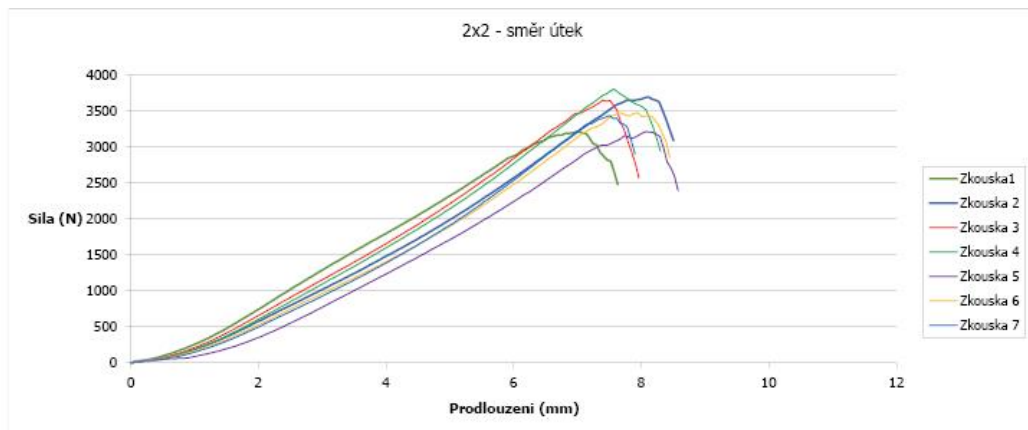


Zkouška 7



Zkouška 8

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 2 směr osnova



Zkouška 1



Zkouška 2



Zkouška 3



Zkouška 4



Zkouška 5

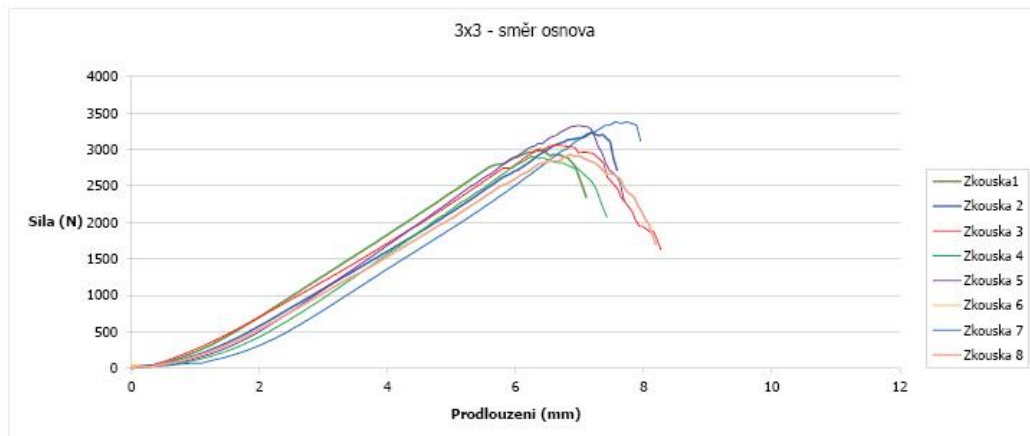


Zkouška 6



Zkouška 7

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 2 směr útek



Zkouška 1



Zkouška 2



Zkouška 3



Zkouška 4



Zkouška 5



Zkouška 6

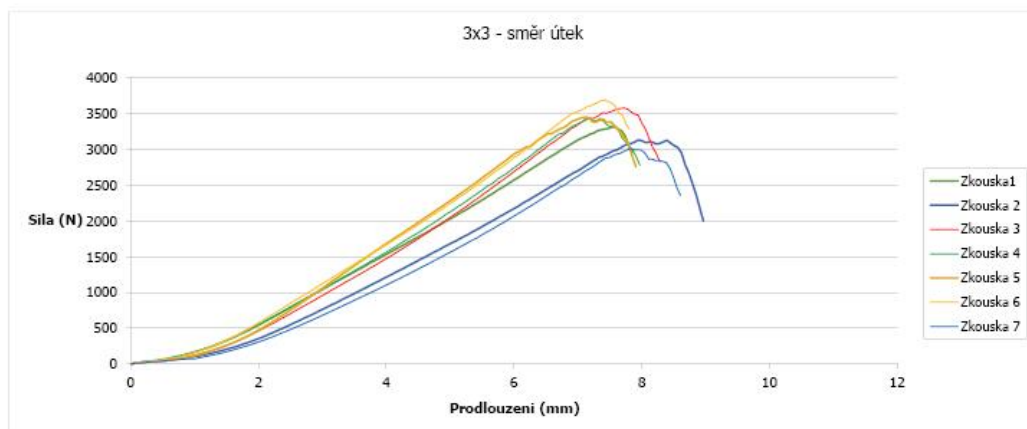


Zkouška 7



Zkouška 8

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 3 směr osnova



Zkouška 1



Zkouška 2



Zkouška 3



Zkouška 4



Zkouška 5

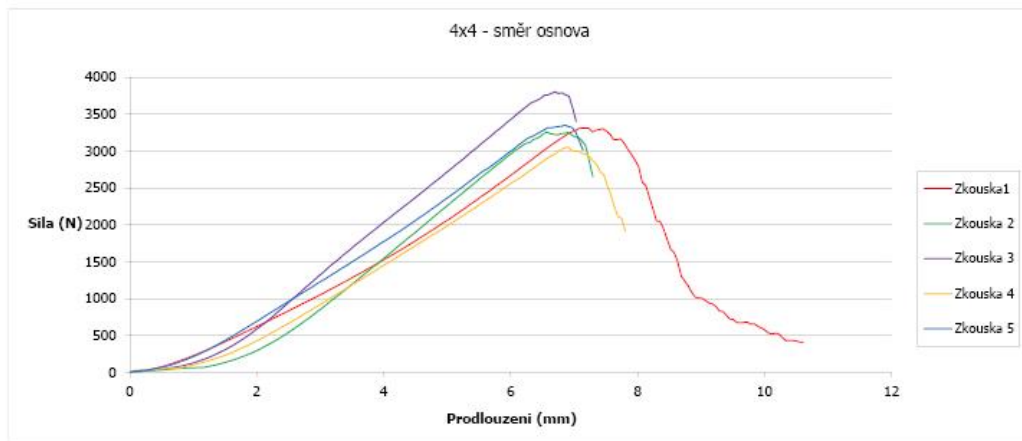


Zkouška 6



Zkouška 7

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 3 směr útek



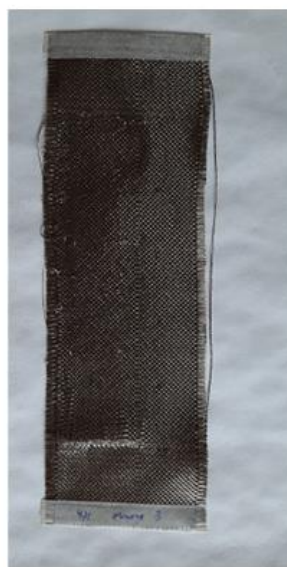
Zkouška 1



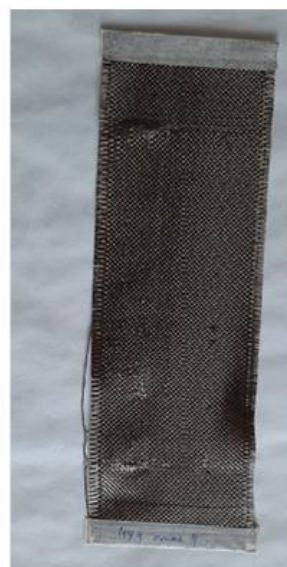
Zkouška 2



Zkouška 3

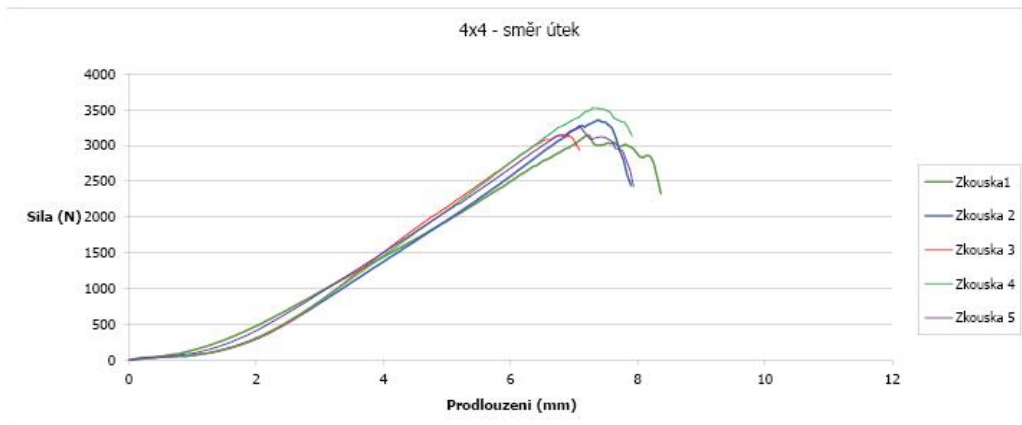


Zkouška 4



Zkouška 5

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 4 směr osnova



Zkouška 1



Zkouška 2



Zkouška 3

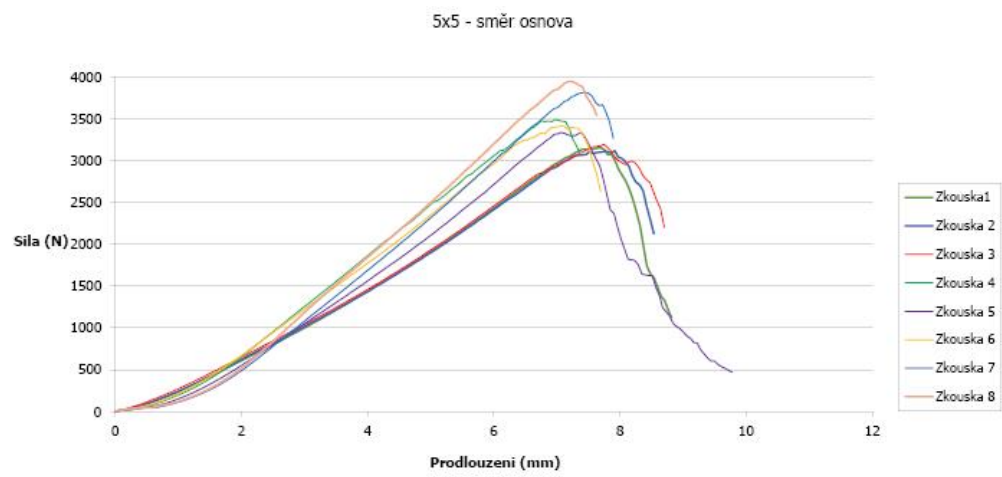


Zkouška 4



Zkouška 5

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 4 směr útek



Zkouška 1



Zkouška 2



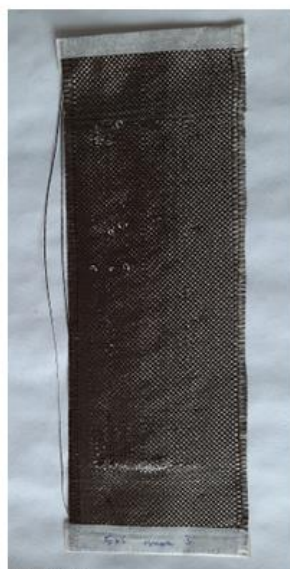
Zkouška 3



Zkouška 4



Zkouška 5



Zkouška 6



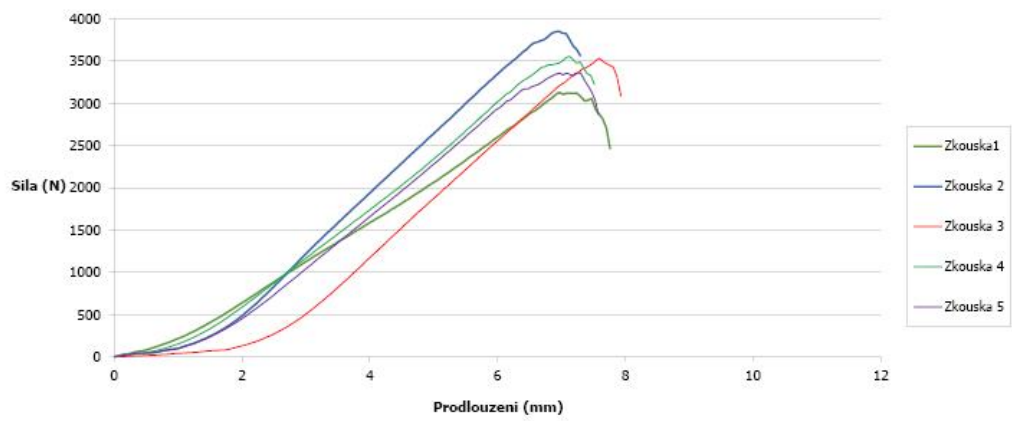
Zkouška 7



Zkouška 8

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 5 směr osnova

5x5 - směr útek



Zkouška 1



Zkouška 2



Zkouška 3



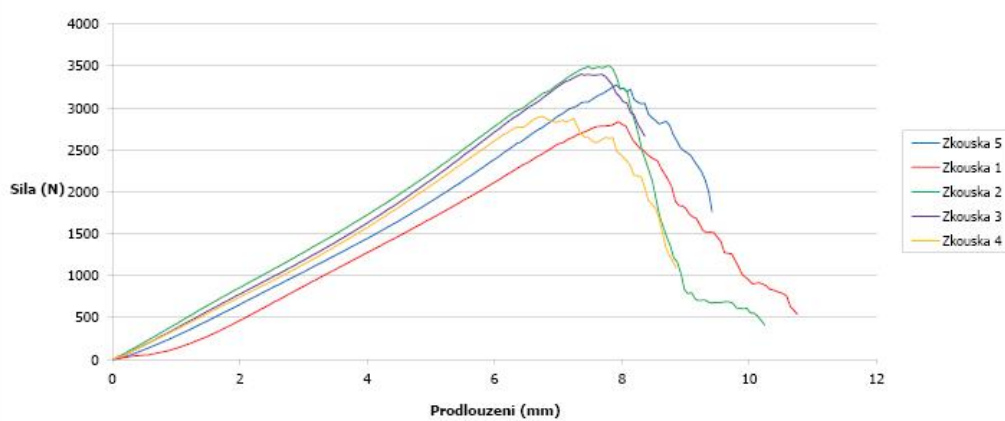
Zkouška 4



Zkouška 5

Tahové křivky, fotografie vzorků: vzorek 5 směr útek

Bez spojek - směr osnova



Zkouška 1



Zkouška 2



Zkouška 3

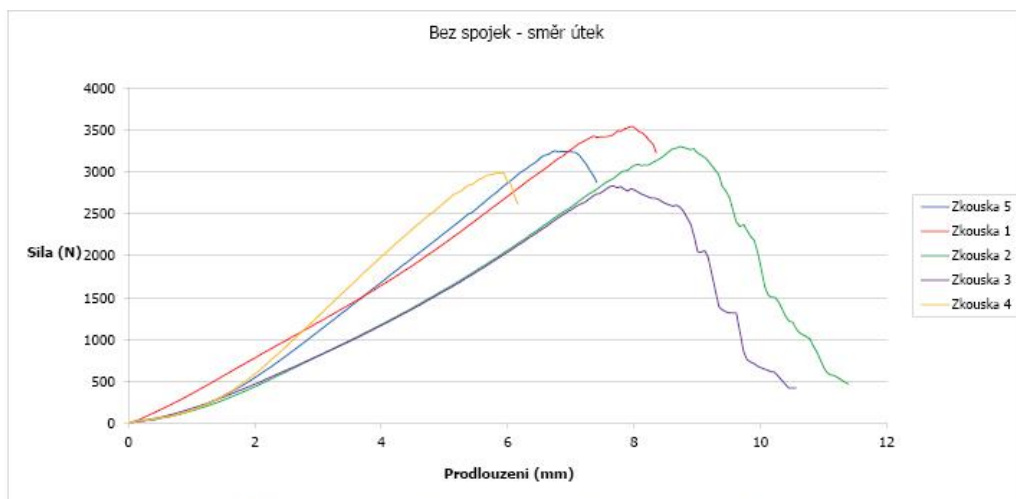


Zkouška 4



Zkouška 5

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 6 směr osnova



Zkouška 1



Zkouška 2



Zkouška 3



Zkouška 4



Zkouška 5

Tahové křivky, fotografie vzorků-vzorek 6 směr útek