

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program N3106 Textil

Textilní inženýrství

Zaměření : Textilní a oděvní technologie

Katedra textilních technologií

Anizotropie vlastností tkanin při cyklické deformaci
Anisotropy properties of fabrics for the cyclic deformation

Vypracovala: **Bc. Ivana Hejnová**

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Radko Kovář, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Irena Lenfeldová, PhD.

Rozsah práce a příloh

Počet stran: 50

Počet obrázků: 15

Počet grafů: 11

Počet tabulek: 3

Počet příloh: 3

Prohlášení:

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

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

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

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

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Úvodem diplomové práce bych chtěla poděkovat Prof. Ing. Radko Kováři, CSc. za odborné vedení při vypracování této diplomové práce, odbornou pomoc a rady, které mi poskytl a mé díky patří i Ing. Ivě Mertové.

Zároveň bych chtěla poděkovat mé rodině za podporu a trpělivost po celou dobu studia.

Anotace

Středem zájmu této diplomové práce je především hystereze (energetické ztráty), tření vnitřní, tažnost a pevnost textilie. V její první teoretické části se zaměřím na popis struktury tkaniny, vnitřního tření a vliv tohoto tření na deformační vlastnosti, na již zmíněnou pevnost, tažnost textilie a hysterezi.

V experimentální části jsou zpracovány a porovnány naměřené hodnoty hystereze při zatížení v sedmi směrech tkaniny (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 stupňů) při různých délkách a rychlostech cyklu.

Annotation

This thesis is oriented mainly on fabric hysteresis (energy losses), internal friction, elongation at break and strength of the fabric. The first theoretical part is focused on description of the fabric structure, on the internal friction and on the influence of friction on fabric tensile properties, i.e. on already mentioned fabric strength, elongation and hysteresis.

The experimental part deals with measured and compared values of hysteresis in 7 load directions (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 degrees) at various lengths and speeds the cycles.

Přehled použitých zkratk a symbolů

Symbol	Definice, jednotka	Popis
d	m	Průměr nitě
D	$n_{\text{nití}}/1\text{m}$	Dostava(hustota)nití ve tkanině
F	N	Síla, výstupní tahová síla
F_p	N	Pevnost nitě
h	m	Výška, výška vlny nitě ve tkanině
H	h_o+h_u	Vzdálenost os nití ve vazném bodu
K	-	Koeficient
K_{vp}	-	Koeficient využití pevnosti
l	m	Délka nedeformované nitě ve vazném prvku
L	$l/(1+\varepsilon_n)$	Délka, délka deformované nitě ve vazném prvku
M	Nm	Ohybový moment
N	N	Normálová síla
p	$1/D$	Rozteč nití ve tkanině
R	-	Regresivní parametr
S	m^2	plocha
s		Směrodatná odchylka
s	$(\bar{s}_0-\bar{s}_D)/\bar{s}_0$	Setkání (relativní zkrácení nitě zatkním)
s^2		Rozptyl
T	N	Tečná síla
t	m	Tloušťka tkaniny
T	tex	Jemnost nitě
v		Variační koeficient
W	J	Energie, práce
$\bar{x}$		Aritmetický průměr
x, y	-	souřadnice
β	rad	Úhel směru změny směru vedení nitě, úhel
γ	rad	Úhel zvlnění ve tkanině
ε	$(l-l_0)/l$	Relativní změna rozměru, tažnost tkaniny

ε_{rp}		Relativní protažení nitě
μ		Zaplnění plošné textilie
ξ	h/H	Relativní zvlnění nitě ve tkanině
σ	Pa, N m ⁻²	Napětí
obr.		obrázek
tab.		tabulka
CO		Bavlna
POP		Polypropylen
tj.		to je
tzn.		to znamená
tzv.		tak zvaně, tak zvaný
resp.		respektive
apod.		a podobně
např.		například

Obsah:

1. Úvod.....	10
2. Rešeršní část	11
2.1 Popis struktury	12
2.1.1 Struktura a vlastnosti textlie	12
2.1.2 Geometrické parametry struktury	12
2.1.3 Geometrický model struktury tkaniny	13
2.2 Deformační vlastnosti	14
2.2.1 Definice deformace.....	14
2.2.2 Deformace při namáhání tahem.....	15
2.3 Anizotropie tkaniny	20
2.3.1 Pojem anizotropie	20
2.4 Způsoby deformace plošných textilií	21
2.4.1 Klasifikace způsobů deformace.....	21
2.4.2 Rovinná a prostorová deformace	23
2.5 Vnitřní tření.....	25
2.5.1 Energetické změny při deformaci tkaniny	25
2.6 Pevnost a tažnost tkaniny	26
2.6.1 Hlavní zdroje deformace tkaniny.....	26
2.6.2 Směrová pevnost a tažnost tkaniny.....	26
2.6.3 Pevnost tkaniny.....	27
2.6.4 Tažnost tkaniny.....	30
3. Teoretické předpoklady experimentu.....	32
3.1 Ovlivnění pevnosti a tažnosti podmínkami experimentu	32
4. Experimentální část.....	35
4.1 Popis univerzálního přístroje Instron 4411	35
4.2 Parametry experimentální tkaniny	37
4.3 Postup měření	37
4.4 Vliv délky cyklu - diskuse výsledků	41
4.5 Vliv směru – diskuse výsledků	43
4.6 Vliv rychlostí cyklů - diskuse výsledků	46
5. Závěr	49
6. Seznam odborné literatury	50

1. Úvod

Textilie je velmi komplikovaný systém s určitou vnitřní strukturou, od níž můžeme odvodit její chování a vlastnosti. Je nositelkou vlastností a bez jejího chápání nebudeme schopni pochopit resp. předpovídat ani chování zkoumaného objektu. Parametrem struktury je např. tloušťka textilie, stejně tak ale může být považována za vlastnost a mnohé další vlastnosti významně ovlivňuje.

Tato diplomová práce se zabývá především hysterezí, tažností a pevností textilie. V její první části se zaměřím na popis struktury tkaniny, vnitřního tření a vliv tohoto tření na deformační vlastnosti, tj. na pevnost a tažnost textilie. Deformace tkanin souvisí s posouváním se příze po přízi a s její deformací v malých oblastech. Všechny formy deformace příze jsou spojeny se změnami pozic vláken v kontaktních bodech – ty také nejsou plně elastické. Tyto procesy jsou spojeny s vysokým podílem energetických ztrát. Důvodem je vnitřní tření. Není výjimkou, když se v deformačním cyklu ztratí víc než polovina vložené energie. Vnitřní tření je i příčinou toho, že se hystereze vyskytuje i u velmi krátkého deformačního cyklu, tj. že Hookův zákon často neplatí ani pro samotný začátek deformační křivky.

V experimentální části se zaměřím na tkaninu v plátňové vazbě, vzorky této tkaniny jsou sledovány v sedmi směrech. Hysterezi tkaniny jsem měřila při různých délkách i rychlostech cyklu. Průměrné hodnoty hystereze jsem statisticky zpracovala, vyhodnotila a dále porovnávala s teoretickými předpoklady, uvedenými v této práci.

2. Rešeršní část

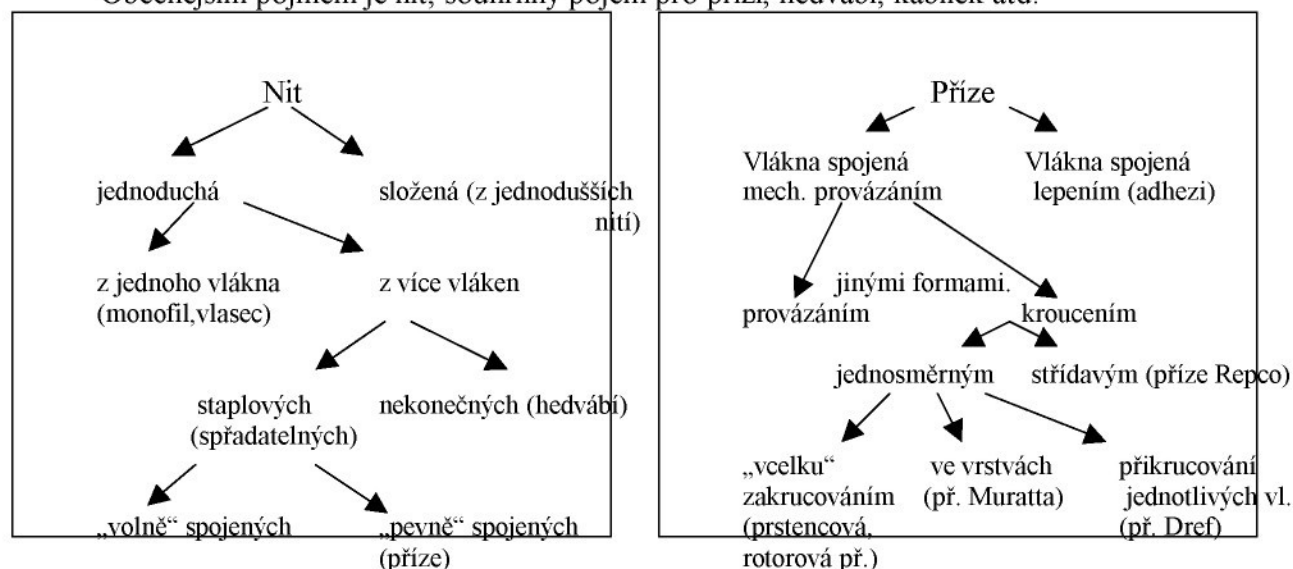
V této teoretické části jsou nejprve uvedeny základní pojmy tkanin, dále jejich mechanické vlastnosti.

Tkanina je plošná textilie tvořená zpravidla ze dvou vzájemně kolmých soustav nití (osnovy a útku), navzájem provázaných vazbou tkaniny. Soustava nití ležících ve směru délky tkaniny se nazývá osnova, skládá se z většího počtu nití (stovky až tisíce) rovnoběžných s okraji tkaniny. Nit kolmá k osnově je tzv. útek. Vazbou tkaniny je označen způsob vzájemného provázání (překřížení) osnovních a útkových nití. Poslední pojem pro popis je dostava tkaniny. Je to parametr, který udává hustotu (počet) dané soustavy nití na 100 mm, v praxi běžně na 1cm.

Tkanina je tedy tvořena z délkových textilií, nití a ty jsou tvořeny vlákny. Do konečných vlastností tkaniny patří vlastnosti samotných vláken, struktura nitě a také konstrukce plošné textilie neboli vazba. V mém případě vazba plátňová.

Pojem příze a nit

Příze je délková textilie složená ze spřadatelných vláken, zpevněná zákrutem nebo pojením tak, že při přetrhu příze dochází i k přetrhu jednotlivých vláken. Obecnějším pojmem je nit, souhrnný pojem pro přízi, hedvábí, kabílek atd.



Obr. 1. Typy nití a přízí.

2.1 Popis struktury

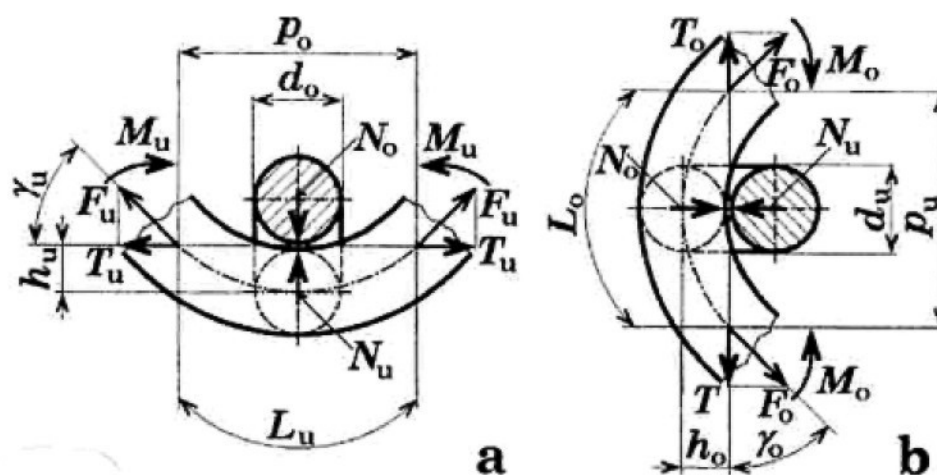
2.1.1 Struktura a vlastnosti textílie

Struktura může být především také jako struktura vztahová, která popisuje i relace mezi součástmi zkoumaného celku na různých úrovních. Vztahová struktura je tedy reprezentována především mechanickým kontaktem, tzn. silovým působením mezi tělesy (normálové a tečné síly, momenty). Mezi těmito součástmi vzniká vnitřní tření.

Tkanina je oproti pletenině tvarově stabilnější. Může se nacházet v různých stavech, lišících se i obsahem deformační energie a mající rozdílný sklon ke geometrickým změnám. U tkaniny se zpravidla modeluje geometrie tzv. vazné vlny - osy nitě ve strukturálním elementu.

2.1.2 Geometrické parametry struktury

Ke vstupním (tj. nezávisle proměnným) parametrům patří především geometrické parametry související s nití (průměr d a délka l nitě ve strukturální jednotce). Pro tkaninu lze parametry popsat např. pomocí vektoru parametrů provázání, který má geometrickou a silovou část. Parametry jsou pro jeden vazební prvek plátnové vazby znázorněny na obr. 2. Uveden je případ se stejnými průměry i roztečemi osnovních a útkových nití. Dále je předpokládána tzv. vyrovnaná tkanina, u které se tečné roviny dotýkají povrchu osnovních i útkových nití, a to na obou stranách textílie.[1]

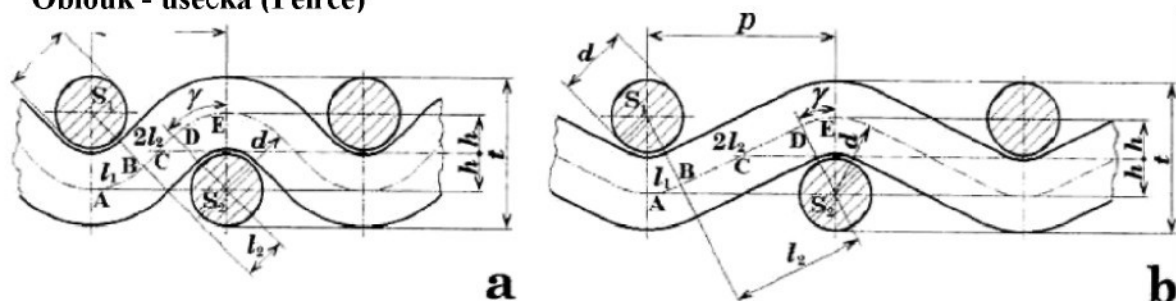


Obr. 2. Schéma vazného prvku (strukturální buňky) tkaniny.

Na rozhraní sousedních prvků může na nitě obecně působit axiální tahová síla F , její složka do roviny tkaniny je označena T (tečná složka). V niti dále působí ohybový moment M , který ale na rozhraní sousedních prvků bude mít nulovou hodnotu (jedná se o inflexní bod s nulovou křivostí). V místě kontaktu obou provazujících nití působí normálová síla N , která je pro oba směry stejná, tj. $N_o = N_u$. Ve skutečnosti se ovšem jedná o výslednici napětí, působícího mezi útkovou a osnovní nití v tlakové plošce. [1]

2.1.3 Geometrický model struktury tkaniny

Oblouk - úsečka (Peirce)



Obr. 3. Geometrický model (Peirce).

Klasický jednoduchý model předpokládá, že průřez nitě je kruhový a tvar osy nitě ve vazném prvku je složen z kruhového oblouku a úsečky (pro osnovu i útek). Na obr. 3 je nakreslen pro dvě různé dostavy (a větší, b menší) nití při stejném průměru nití osnovy a útku a při tzv. uspořádání ($p_o = p_u$). Úseky l_1 , l_2 jsou ve vazném prvku (vlně) obsaženy dvakrát. Výška (amplituda) vazné vlny je h , úhel zvlnění γ . Budeme předpokládat čtvercovou vyrovnanou tkaninu ($p_o = p_u = p$, $d_o = d_u = d$, $h_o = h_u = h$), takže tloušťka tkaniny bude odpovídat dvojnásobku průměru nitě $t = 2d$. [1]



Obr. 4. Schéma osy nitě modelu oblouk – úsečka a oblouk – oblouk.

2.2 Deformační vlastnosti

Mechanické vlastnosti materiálů (obecně) jsou jejich odezvou na mechanické působení vnějších sil. Tato definice je shodná s mechanickými vlastnostmi vláken, přízí nití a tkanin.

Mechanické vlastnosti popisují schopnost těles změnit tvar (deformovat se) v důsledku působení vnějších mechanických sil. Vnější síla vyvolává v tělese napětí σ , což vede ke vzniku odpovídající deformace ε . Matematicky lze, pokud je rozložení působící síly F v ploše namáhaného průřezu S rovnoměrné, napětí vyjádřit vztahem:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (2/1)$$

Kde σ [Pa] je napětí, F [N] je působící síla a S [m²] je plocha, na kterou síla působí.

2.2.1 Definice deformace

Deformace je definována jako změna původního tvaru. Obecně může být deformace materiálu buď vratná (elastická) nebo nevratná (plastická) – spojená s přeměnou mechanické energie na tepelnou. Ve větší či menší míře tedy zahrnuje následující tři typy deformačních jevů [7]:

- elastické ε_{el} Platí: $\varepsilon_{celk} = \varepsilon_{pl} + \varepsilon_{vis} + \varepsilon_{el}$
- viskózní ε_{vis}
- plastické ε_{pl}

Elastická deformace (pružná) - Je okamžitá, časově nezávislá, dokonale vratná.

Plastická deformace (třecí) - Je dokonale nevratná (trvalá, není funkcí času).
- Tření pevných těles (smykové tření).

Viskózní deformace - Je funkcí rychlosti (souvisí s třením tekutin).

Viskoelastická deformace - Časově zpožděná za podnětem – narůstá v průběhu doby zatížení a po odlehčení postupně mizí opět v časové závislosti. Je složená ze dvou současně probíhajících složek – viskózní (časově závislé) a elastické (časově nezávislé).

2.2.2 Deformace při namáhání tahem

2.2.2.1 Mechanismy deformace tkaniny

Při tahovém namáhání tkaniny se uplatňuje více deformačních mechanismů: změna zvlnění, protažení nitě, deformace tvaru a plochy průřezu a změna úhlu mezi nitěmi [8]. Míra jejich uplatnění a podílu na výsledné deformaci tkaniny závisí na vlastnostech nitě, počáteční struktuře tkaniny a na směru zatěžování. Tyto tři faktory přitom spolu souvisí. Řídce dostavená tkanina s malým zvlněním nití bude mít ve směru osnovy a útku nízkou tažnost, danou převážně tažností nití, zatímco v diagonálním směru se ve velké míře uplatní zkosení. U hustě dostavené tkaniny se bude moci více uplatnit napřímení nití při osovému tahu, zatímco zkosení v šikmých směrech deformace bude omezováno tlakem sousedních nití.

Jednotlivé deformační mechanismy se na deformaci tkaniny mohou podílet přímo nebo nepřímo. Přímá funkce spočívá v tom, že příslušná změna struktury, např. napřímení nití, se projeví prodloužením tkaniny. Nepřímé působení umožňuje, aby se projevil jiný deformační mechanismus, tedy např. zvlnění příčné soustavy umožní napřímení nití orientovaných ve směru zatěžování. Z uvažovaných mechanismů deformace mohou mít přímou i nepřímou funkci všechny s výjimkou deformace průřezu; změna jeho plochy nebo tvaru je důležitým faktorem, nemůže však sama o sobě vést k protažení tkaniny (přímou funkci by měla např. při stlačování tkaniny působením normálové síly).

Rovněž obě soustavy nití hrají odlišnou roli při deformaci tkaniny. Určující pro výslednou deformaci je zpravidla soustava méně skloněných nití, zatímco druhá soustava se přizpůsobuje tlaku vyvolanému ve vazných bodech deformací průřezů a zvětšením svého zvlnění, a tím nepřímo napomáhá většímu protažení tkaniny.[5]

2.2.2.2 Protažení nitě

Protažení nitě není podmíněno ostatními deformačními mechanismy; jeho velikost závisí na velikosti působící osové tahové síly, na materiálu a struktuře nitě. Závislost relativního protažení nitě ε_{rp} na působící osové síle F_{ax} lze získat na základě tahové pracovní křivky nitě. Nejjednodušší vyjádření závislosti relativního protažení

$\varepsilon_{rp} = \varepsilon(F_{ax})$ pomocí matematické funkce je lineární aproximace na základě znalosti tažnosti a pevnosti nitě. Tažnost nitě ε_p odpovídá jejímu relativnímu protažení ε_{rp} v okamžiku přetrhu a je definována vztahem

$$\varepsilon_p = \frac{l_p - l_0}{l_0} \quad (3/1)$$

kde l_p je délka nitě při přetrhu a l_0 je původní délka nitě bez vloženého napětí. Pevnost nitě F_p je síla potřebná k přetržení nitě, tedy

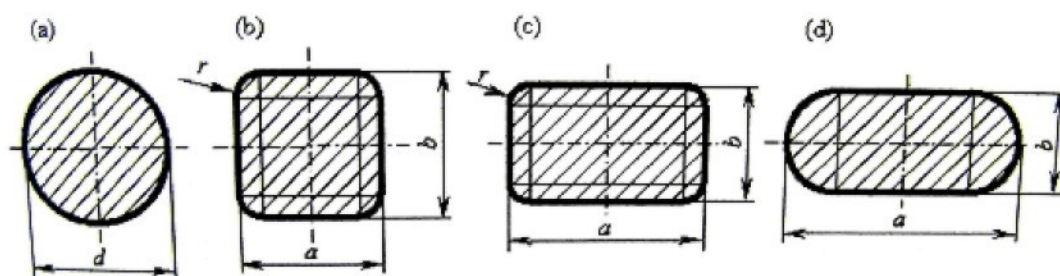
$$F_p = F_{ax}(\varepsilon_{rp} = \varepsilon_p) . \quad (3/2)$$

Tahová křivka je vyjádřena pomocí lineární aproximace a má tvar

$$F_{ax} = \frac{F_p}{\varepsilon_p} \varepsilon_{rp} \quad (3/3)$$

2.2.2.3 Deformace průřezu

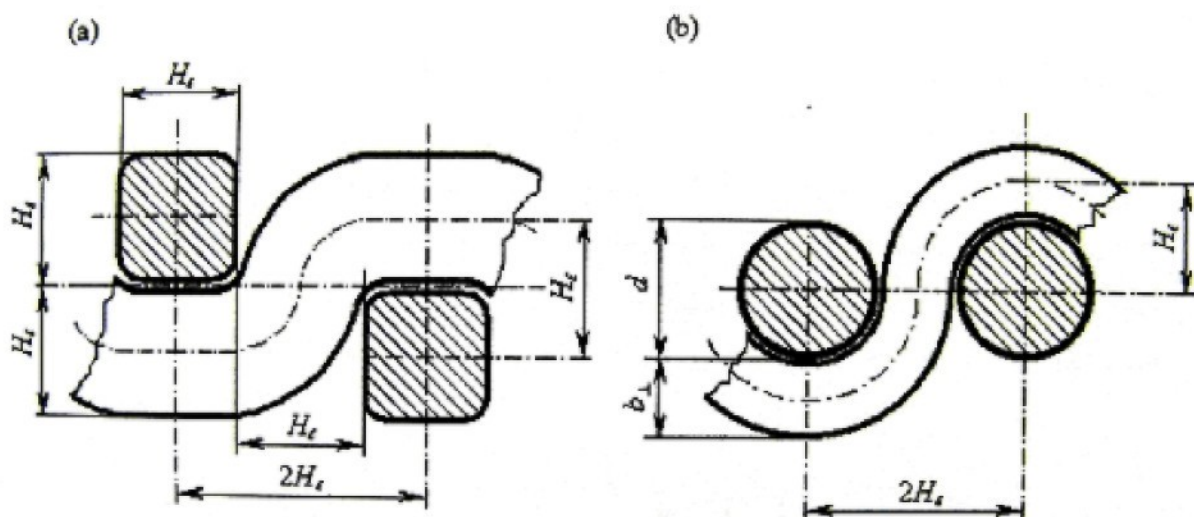
Velikost a tvar průřezu nitě je limitujícím faktorem změny zvlnění a zkosení úhlu. Na deformovatelnosti průřezu tedy závisí i výsledné protažení tkaniny. Určení velikosti a tvaru průřezu v závislosti na směru namáhání může vycházet z Backerovy úvahy [8], že při namáhání v hlavních směrech dochází ke zhuštění nití, tedy ke zvýšení jejich zaplnění a průřezy nití napínané soustavy přitom získávají kruhový tvar, zatímco průřezy příčných nití se zplošťují. Pro diagonální směr namáhání lze použít předpoklad [2], že průřezy nití zaujímají čtvercový tvar.



Obr. 5. Průřez nitě při deformaci tkaniny na mez tažnosti zaujímá různé tvary v závislosti na směru zatížení. Pokud je nit orientovaná ve směru deformace tkaniny, je její průřez kruhový (obr. a), při diagonální deformaci má tvar čtverce se zaoblenými rohy, resp. vrcholy (obr. b), tvar se pak mění přes obdélníkový (obr. c) na zploštělý (obr. d), který pak odpovídá namáhání kolmo k orientaci nitě.

Při velké deformaci dochází ke změně tvaru průřezu nebo ke zploštění nití (pomocí přitlačné síly), tedy u hodně napínané přize se uvnitř posouvají vlákna po vláknech a přize se nevratně prodlouží, tj. projev vnitřního tření.

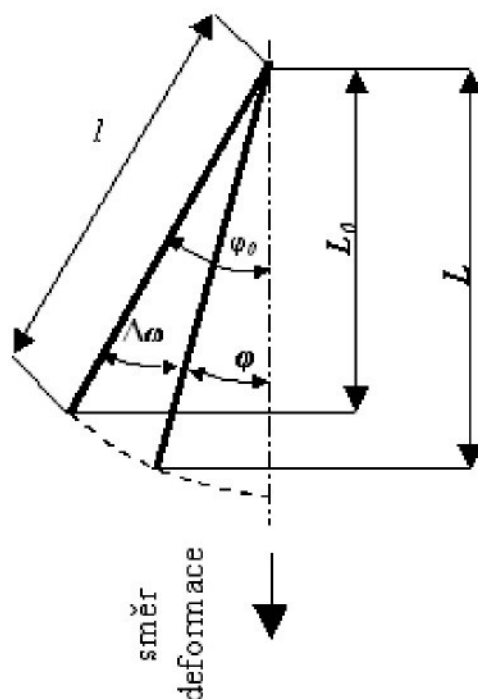
Malá deformace by měla být pružná, při níž ještě nemusí dojít k projevům vnitřního tření ve tkanině.



Obr. 6. Při diagonálním namáhání (obr. a) mají kolmé průřezy zhruba čtvercový tvar. Při namáhání ve směru osy (obr. b) se musí útek maximálně zvlnit, takže tvar jeho osy je složen z půloblouků. Vzdálenost os ve vazném bodě má v obou případech stejnou hodnotu H_ε , rozteč odpovídá dvojnásobku vzdálenosti os.

2.2.2.4 Zkosení úhlu mezi osnovou a útkem

Ke zkosení úhlu dochází při tahovém namáhání v šikmých směrech a v počáteční fázi nemusí být doprovázeno výraznými změnami geometrie průřezů nebo os. V tom případě je odpor proti deformaci dán převážně působením třecích sil a lze tedy očekávat nízké hodnoty počátečního modulu. Při zkosení dochází ke zmenšování rozteče nití. Přiblížení os nití je omezeno deformovatelností průřezu a silně závisí na druhu tkalcovské vazby. Vazby s malým množstvím provazujících úseků umožňují větší přiblížení nití a tím i větší zkosení tkaniny.



Obr. 7. Změna úhlu mezi nití délky l a směrem deformace z hodnoty φ_0 na ϕ způsobí protažení tkaniny z hodnoty L_0 na L .

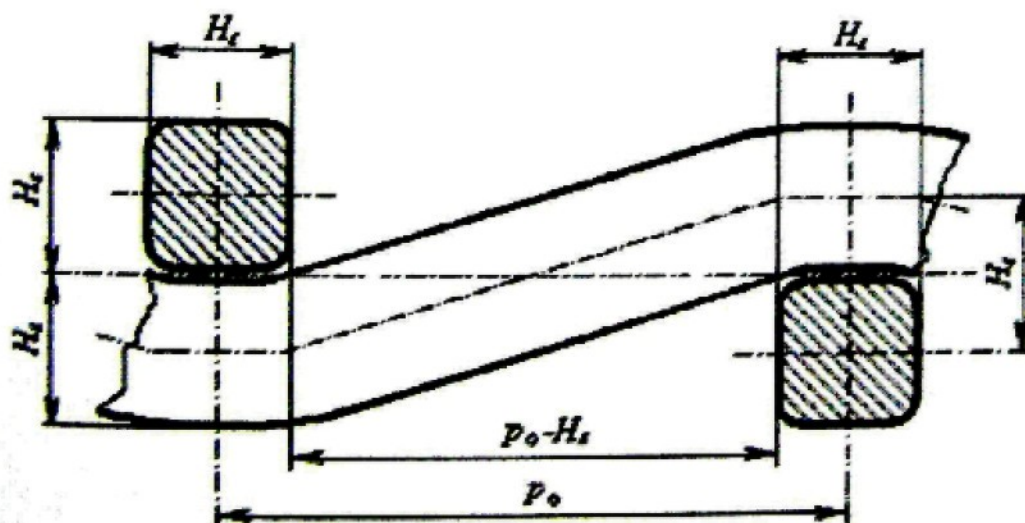
2.2.2.5 Zvlnění tkaniny

K velmi důležitým parametrům tkaniny patří geometrie zvlnění (obr. 2). Těmito parametry jsou průměr přize, dostava a tloušťka tkaniny, které jsou důležité např. pro výpočet mezního prodloužení. Modelování zvlnění tkaniny má i své stinné stránky. Především určení amplitudy zvlnění a experimentální ověření použitých modelů

2.2.2.6 Změna zvlnění

Zvlnění je změna osy nitě, vyvolaná provázáním osnovy a útku, a má obvykle periodický charakter. Délka nitě l_{nt} vložená ve tkanině je větší než odpovídající délka tkaniny l_{tk} , vztah těchto délek popisuje veličina setkání s , definovaná vztahem:

$$s = \frac{l_{nt} - l_{tk}}{l_{tk}} = \frac{l_{nt}}{l_{tk}} - 1 \quad (3/4)$$



Obr. 8. Čtvercová tkanina protažená na úroveň tažnosti při diagonálním namáhání. Průřezy mají čtvercový tvar. Nítě jsou maximálně protažené a napřimené. Vzdálenost os H , odpovídá šířce i tloušťce nitě.

2.3 Anizotropie tkaniny

Experimenty, které hodnotí anizotropie tkanin, poskytují odlišné hodnoty pevnosti a tažnosti pro různé směry zatěžování. Tyto výsledky však mohou být zkreslené, protože v šikmých směrech dochází k přetrhům v čelistech. Otázkou je do jaké míry výsledky běžných tahových zkoušek odpovídají sledovanosti směrových vlastností tkaniny a na kolik jsou ovlivněny uspořádáním experimentu. Dále je uvedena charakteristika anizotropie směrové tažnosti a pevnosti.

2.3.1 Pojem anizotropie

Anizotropie je závislost fyzikálních vlastností látek na směr, který se měří. [10]

Vliv směru na různé vlastnosti, je ale u textilií výraznější, než u jiných běžných materiálů. Čím je anizotropie mnohých vlastností textilií způsobená? Jedná se především o to, že plošná textilie vzniká z délkových textilií a ty z délkových vláken. Je téměř nemožné uspořádat vlákna rovnoměrně do všech směrů. Především klasické textilie, tkaniny a pleteniny, mají výrazné nerovnoměrně orientované nitě a vlákna do různých směrů. Nerovnoměrná charakteristika směrového rozložení nižších struktur ovlivňuje více vlastností, které se tak stávají směrově závislými. Nápadná je především anizotropie deformací textilií.

Anizotropie vlastností materiálu se většinou znázorňuje graficky, ale v některých případech je vhodné ji vyjádřit kvantitativně. Tak se dá anizotropie hodnotit tzv. stupněm anizotropie S_A , zavedeným v článku [10].

2.3.1.1 Anizotropie deformačních vlastností

Z hlediska tahové deformace jsou tkaniny, pleteniny i netkané textilie výrazně anizotropní a někdy mají svoji typickou polární charakteristiku. Tkaniny bývají tažnější v diagonálním směru, než ve směru osnovy nebo útku. Pro diagonální směr může vycházet menší pevnost, která by mohla ovlivňovat i hodnotu tažnosti.

2.4 Způsoby deformace plošných textilií

2.4.1 Klasifikace způsobů deformace

Deformace může být:

- a) Tahová** - při jednoosém zatížení (uniaxiální zatížení)
 - při dvouosém (biaxiálním) zatížení
- b) Ohybová** - působení ohybového momentu,
 - vzpěr (tlak přechází v ohyb).
- c) Smyková** (deformace tečným napětím)
- d) Příčné stlačení**

2.4.1.1 Deformace tahová - jednoosé zatížení tkaniny

Deformace tkanin může probíhat mnoha rozdílnými způsoby. Jeden z možných způsobů je, že textilií budeme zatěžovat v polovině cyklu (tj. do přetrhu, cyklus nelze dokončit), v celém cyklu (zatížení a odlehčení, kde je možné sledovat i schopnost zotavení – pružnost tkaniny).

a) polovina cyklu – jednoosé namáhání

Průběh závislosti směrové deformace tkaniny na napětí má tři charakteristické části. V první části už při malých změnách je velký přírůstek deformace. Počátek křivky je téměř rovnoběžný s osou deformace. Tento růst strmosti deformační křivky je způsobován tvarovou deformací (změnou geometrie) a zároveň posuvem vazných bodů (tj. míst vzájemného kontaktu nití) po nitích.

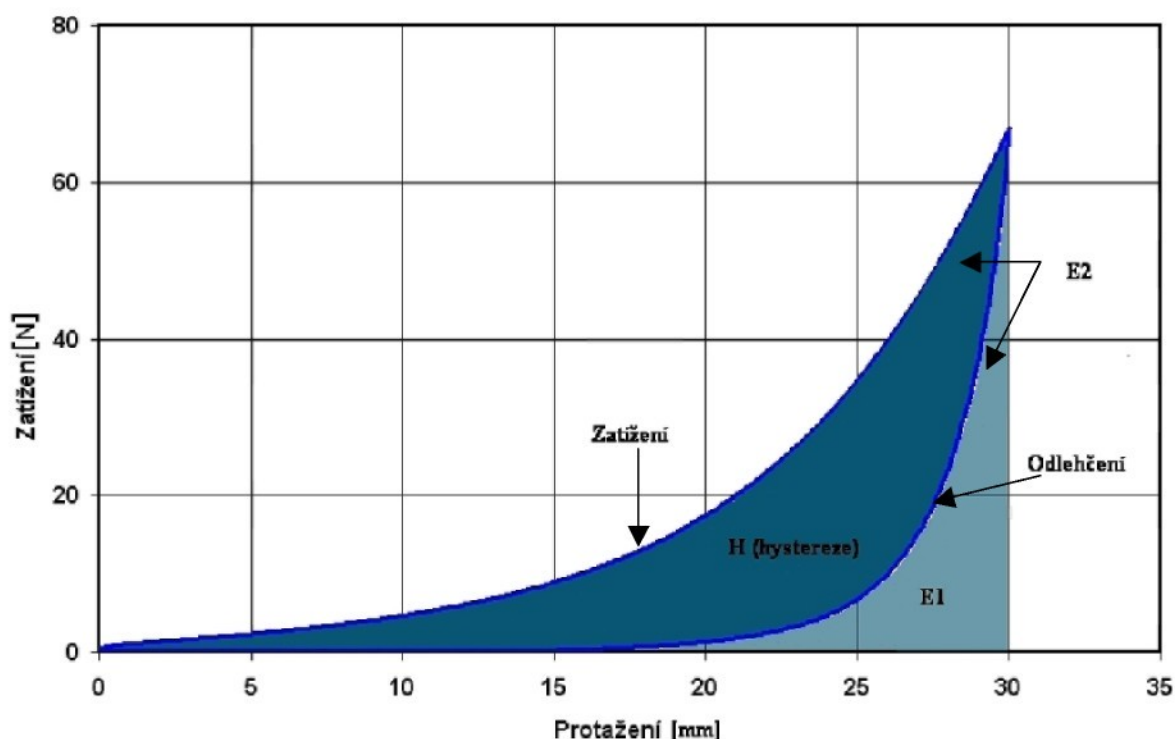
Ve třetí části bylo již prakticky dosaženo maximální možné tvarové deformace nitě i maximálního možného posuvu vazných bodů, takže se v této nejstrmější části křivky začíná výrazněji uplatňovat i délková deformace zatkané nitě. Na konci této části začíná destrukce tkaniny, která pokračuje až do úplného přetržení. Zde se uplatňuje vnitřní tření, je zde vložena energie, ale při experimentu to nejsme schopni posoudit.

b) celý cyklus (obr. 9) – zatížení a odlehčení

U celého cyklu zatížíme tkaninu skokem konstantní silou, která odpovídá určitému podílu pevnosti tkaniny. Napětí necháme působit určitou dobu, pak tkaninu odlehčíme. Tkanina se deformuje na hodnotu deformace ε_2 .

Po odlehčení se tkanina zkrátí na hodnotu deformace ε_3 (projev pružné složky deformace).

Křivka hystereze celého cyklu Cyklická deformace tkaniny



Obr. 9. Příklad křivky hystereze.

Na obr. 9 je příklad křivky hystereze, kde H (tmavě modrá plocha) je absolutní hystereze, která má rozměr energie (práce $W = F \cdot s$), ta se během experimentu přemění na tepelnou. Plocha E_1 (světle modrá část) pod relaxační křivkou (odlehčením) představuje podíl vratné energie, tj. pružné energie, která byla ve vzorku akumulována a plocha E_2 (obě plochy pod zatěžovací křivkou dohromady) odpovídá celkové energii vložené přístrojem (INSTRON 4411) do vzorku tkaniny.

Poměrná hystereze H je termín pro relativní vyjádření množství přeměněné energie (z pohledu mechanické energie ztracené) vzhledem k energii vložené, tj. při vyjádření v procentech.

Relativní hystereze:

$$H = \frac{E_1 - E_2}{E_1} 100\%$$

c) více cyklů - Hodnotí únavu textilie

Vlákna v přízi se mnohonásobně posouvají. Více cyklů může vést k destrukci (poškození vláken).

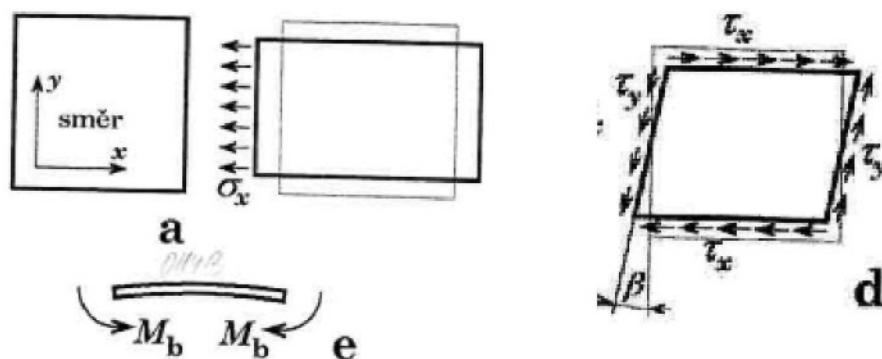
2.4.2 Rovinná a prostorová deformace

Vlivem silového působení může dojít k rovinné i prostorové deformaci textilie. I při jednoosém tahovém zatížení mění vzorek textilie o rozměrech A_x a A_y oba rozměry (může se jednat i o šířku a výšku vazného prvku textilie; x může odpovídat směru útku, y směru osnovy), viz. obr. 10a. Pokud se např. rozměr A_x prodlouží působícím napětím o Δ_x , kolmý rozměr se zpravidla zkrátí o Δ_y . Relativní změnu rozměrů lze definovat:

$$\varepsilon_x = \frac{A_x + \Delta_x}{A_x} \quad \text{a} \quad \varepsilon_y = \frac{A_y + \Delta_y}{A_y} \quad (3/5)$$

Tzv. Poissonův poměr příčné kontrakce je definován jako poměr záporného relativního prodloužení ve směru kolmém na zatížení ε_y (fakticky je to zkrácení, ε_x má zápornou hodnotu a μ_x bude kladné) k relativnímu prodloužení v zatíženém směru ε_x , tj.:

$$\mu_{xy} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \quad (3/6)$$



Obr. 10. Formy rovinné deformace.

Zvláštním případem biaxialního namáhání je protahování textilie v jednom směru při zachování původního rozměru ve směru kolmém (k tomu je zapotřebí určitého napětí).

Při působení smykového napětí (obr. 10d) se textilie deformuje především zkosením (změnou uhlu mezi nitěmi). Zde můžeme použít variantu Hookova zákona pro smyk $\beta = \tau / G$. Odpor textilie proti zkosení G nebude konstantou. Při větší smykové deformaci dojde ke zvlnění textilie, což už znamená její prostorovou deformaci. Na obr. e je znázorněn ohyb textilie.

Pokud se tkanina ve směru osnovy bude při namáhání tahem (v jednom směru) posouvat po útku nebo naopak útek po osnově, vzniká zde vnitřní tření, které je ale menší než ve směru diagonály u níž dochází ke změně úhlu (natačení přízí). Je zde větší třecí plocha.

2.5 Vnitřní tření

Textilní materiály se chovají jako elasticko – plasticky poddajné. Deformaci textilního materiálu doprovázejí současné ztráty energie, rozptylující se v okolí kontaktu ve formě tepla. V extrémním případě, kdy okolní prostředí třecího kontaktu neodvádí veškeré vzniklé teplo, dochází ke zvyšování teploty textilního materiálu právě v místě kontaktu, a tím ke změně elasticko - plastických vlastností (viz. kap. 2.2.1). K tření u textilií dochází na relativně malých plochách, zejména pak u vláken a přízí, a již při malých hodnotách působících sil dochází k pomalým pohybům.

Tření nití se uplatňuje při výrobě i používání plošné textilie. Jedná se o tření o kovové, keramické apod. materiály, a také o tření nitě o nit. Na třecí poměry může mít vliv i směr axiálního pohybu nitě, tření nitě může být anizotropní. Tření nití tedy významně ovlivňuje technologický proces i vlastnosti výsledné textilie.

Obecně a u textilie zejména platí, že se mechanická energie mění na tepelnou nejen na povrchu v místě kontaktu vzájemně se posouvajících těles, ale i uvnitř textilie samotné. Existuje tedy protějšek v povrchovém tření, kdy dochází k přeměně energie:

a) Třením mezi vlákny v niti.

b) Třením uvnitř vláken tj. viskózními a plastickými složkami deformace vláken.

Analogicky je z hlediska plošné textilie vnitřním třením i posuv nití ve vazných bodech. Vnitřní tření se uplatňuje při deformaci (prakticky jakékoliv) textilie. [4]

2.5.1 Energetické změny při deformaci tkaniny

Deformace textilie je téměř vždy spojena s projevy vnitřního tření, které je důsledkem vzájemného posouvání vláken uvnitř textilie a které je také spojeno s přeměnou mechanické energie na tepelnou, tzv. hysterezi.

Ztráty mechanické energie jsou u tkanin menší než u pletenin, neboť u tkanin nedochází k tak velkému posuvu nití, nebo-li ke změnám polohy kontaktních míst osnovy a útku (vazný bod). Při zkoušce pevnosti a tažnosti tkaniny lze vyhodnotit celkovou energii vloženou do vzorku. Je to síla působící po dráze, odpovídající protažení textilie.

Podíl pružné energie (tedy v textilií akumulované a z hlediska mechanické energie bezztrátové) a nepružné energie, odpovídající trvalé deformaci vzorku určit samostatně nelze. Energie vložená do experimentu se ale ztratit nemůže a její elastický podíl, představovaný pružnou deformací vláken, se přemění až po přetrhu na tepelnou formu.

Pro hodnocení energetických přeměn je vhodná cyklická deformace, tj. deformace v celém cyklu nebo i větším počtu cyklů, jak jsem již uvedla v kapitole 2.4. 1.1.

2.6 Pevnost a tažnost tkaniny

2.6.1 Hlavní zdroje deformace tkaniny

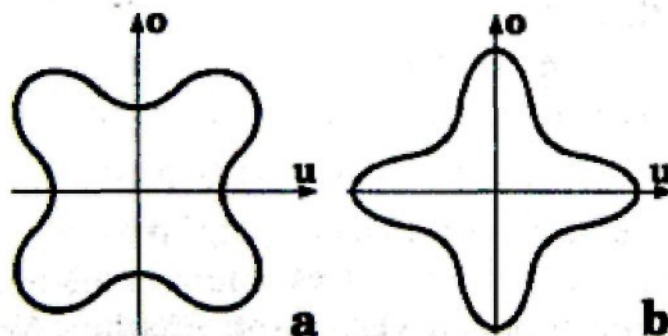
Tkaniny, pleteniny i netkané textilie jsou z hlediska tahové deformace výrazně anizotropní a mnohdy mají svoji typickou polární charakteristiku. Tkaniny jsou tažnější v diagonálním směru nežli ve směru osnovy nebo útku. Výsledky experimentů jsou ale zkreslené především proto, že při malé šířce trhaného vzorku jsou podmínky pro různé směry jiné. Pro diagonální směr vychází menší pevnost, nežli odpovídá počtu a pevnosti nití, což může mít za důsledek i změnu tažnosti. Při diagonálním namáhání tkaniny dochází dále k větší příčné kontrakci a tím k větší pravděpodobnosti přetrhu v místech koncentrace napětí v čelistech. Tažnost tak vlastně zjišťujeme při menším zatížení většiny plochy vzorku nežli při působení zatěžovací síly v hlavních směrech.

2.6.2 Směrová pevnost a tažnost tkaniny

Obecně je tažnost definována jako schopnost materiálu měnit svůj tvar vlivem vnějších zatěžujících sil ve směru jejich působení. Tažnost je dána prodloužením (protažením) vzorku zjištěném při přetržení a vyjádřené v procentech upínací délky. Pevnost má dvě očekávaná maxima v podélném a příčném směru, ale často ještě blízko diagonály.[3]

Polární diagram tažnosti, počátečního modulu deformace a pevnosti popisuje anizotropii těchto vlastností, tj. jejich závislost na směru, obr. 11. Např. tažnost dvouosé tkaniny ve směru osnovy nebo útku bývá podstatně menší, nežli tažnost diagonální, při které dochází ke zkosení tkaniny (je namáhána i smykovým napětím, které změni úhel

mezi osnovními a útkovými nitěmi). Polární diagram má v tomto případě podobu čtyřlístku obr. 11a.[1]



Obr. 11. Polární diagram tažnosti a počátečního modulu tkaniny.

Naopak modul počáteční deformace (nazývaný modulem pružnosti) tj. koeficientu úměrnosti K ve vztahu $\sigma = K \cdot \varepsilon$ pro $\varepsilon \rightarrow 0$ (K obecně není konstanta) bude pro směr osnovy a útku větší, nežli pro směry ostatní, obr. 11b. [1]

2.6.3 Pevnost tkaniny

Pevnost je síla potřebná k porušení textile jednotkové šířky. Pevnost při namáhání ve směru osnovy nebo útku závisí především na pevnosti odpovídajících nití a na jejich hustotě -dostavě D_o , D_u . Nebude ale odpovídat pouhému součtu pevností nití, uložených ve směru namáhání, např. koeficientem využití pevnosti K_{vp} (7/1). Ten může být menší, ale i větší než 1.

K hlavním důvodům, vedoucím k neúplnému využití pevnosti nití ve tkanině, patří:

a) Nestejnoměrnost nitě. Pevností nitě F_N je myšlena pevnost průměrná, ve tkanině se ale může přetrhnout nejslabší místo - princip nejslabšího článku. Velký vliv na pevnost tkaniny má i tažnost nití a její nestejnoměrnost. Budou-li některé nitě méně tažné, dojde k jejich destrukci dříve.

b) Způsob namáhání nitě. Při trhání plošné textilie je jiný, než při zjišťování pevnosti nitě.

c) Nestejnoměrnost struktury tkaniny. Nitě s menším součinitelem provázanosti, tj. s menším setkáním, jsou relativně více protaženy a mohou se dříve přetrhnout. Nestejnoměrnost tkaniny může rovněž vést k nestejnoměrnému namáhání.

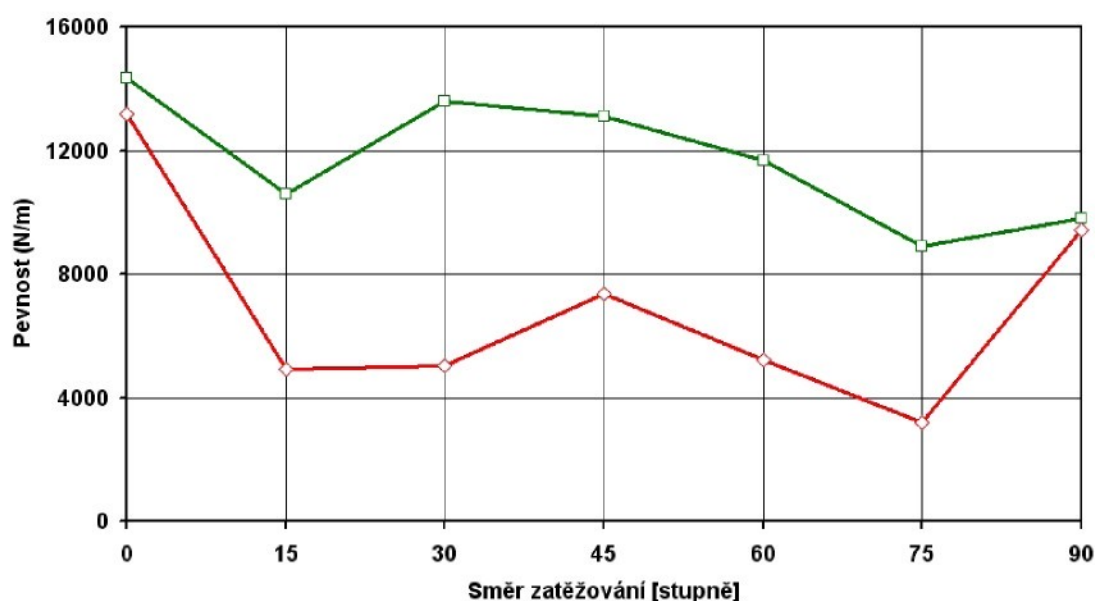
d) Lokální koncentrace napětí při experimentu, která se vyskytuje především v místě upnutí.

Pevnost příze nevyužívá stoprocentně pevnost vláken. Při přetrhu příze dojde k porušení jen určitého podílu vláken. Ve tkanině se zvětší počet a velikost třecích sil mezi vlákny a jejich pevnost může být využita lépe. Vztah pro výpočet pevnosti má podobu

$$F_{p-o,u} = D_{o,u} \cdot F_N \cdot K_{VP} \quad (7/1)$$

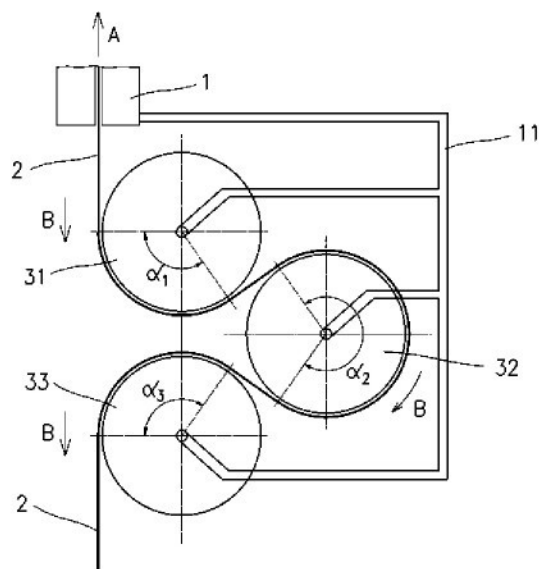
Komplikovanější je stanovení pevnosti tehdy, když se na této vlastnosti podílí více soustav nití. Mohou to být nitě uložené v různých směrech, různě pevné a tažné nitě, nitě různě provázané apod. Dříve se přetrhnou nitě méně tažné a nitě, svírající se směrem deformace menší úhel.

2.6.3.1 Pevnost experimentální tkaniny



Graf 1. Pevnost experimentální tkaniny.

Zkouška pevnosti proběhla jednak dle normy EN ISO 13934-1 (červená křivka) a také s pomocí třecího přípravku (zelená křivka), tzn. ke každému páru čelistí je přidána skupina neotočných válečků (viz. obr. 12), které třením snižují napětí v čelistech a umožňují přetrh ve střední části vzorku s podstatně věrohodnějšími výsledky. Tato křivka vykazuje větší pevnost a jak se potvrdilo i přesnější měření. V obou případech vidíme, že vzorky tkanin mají zároveň největší pevnost ve směru osnovy (0°). Jemnost a materiál v osnově i útku je stejný, ale vzhledem k řidší dostavě útku, je pevnost menší. Minimální pevnost je u experimentální tkaniny v šikmých směrech (15° a 75°) (sílu přenáší osnova a útek, jejich výslednice svírá se směrem namáhání největší úhel) díky plátnové vazbě, jak již bylo uvedeno, dochází ke zkosení nití, točí se vazný bod. Ve směru diagonálním a směrech přilehlých (30° a 60°) se vyskytují lokální maxima, (sílu přenáší osnova a útek, jejich výslednice svírá se směrem namáhání nejmenší úhel). Osnova a útek jsou osou symetrie a nit se nemá kam posouvat, pouze se deformuje, neboli se zplošťuje průřez nitě (viz. kap. 2.2.2.3).



Obr. 12. Třecí přípravek.

Rozměry vzorků zůstávají zachovány (50 mm šířka, upínací délka 200 mm). Šipky označují směr smýkání, α_{1-3} jsou úhly opásání.

2.6.4 Tažnost tkaniny

Za tažnost považujeme relativní prodloužení v okamžiku prvního porušení struktury, i když dosud neporušené součásti textilie mohou po další deformaci přenášet ještě třeba i několikrát větší napětí.

Při modelovém stanovení tažnosti tkaniny ve směru osnovy nebo útku budeme předpokládat, že délka nedeformované nitě ve vazném prvku je l_o nebo l_u a rozteč nití p_o nebo p_u a dále, že se nit může protáhnout o hodnotu ε_n (relativní tažnost). Dále předpokládejme, že se nit při napínání tkaniny ve směru osnovy (útku) může zcela napřímít. Při namáhání tkaniny na mez pevnosti deformace průřezu nití zpravidla dovolí jejich napřímění. Reálná tkanina s nitěmi, jejichž pevnost, tažnost, průměr apod. kolísá, bude mít tažnost při přetržení menší, neboť se díky nestejnoměrnostem začne trhat dříve, než se všechny nitě prodlouží až na mez své tažnosti.

Vazební prvek se prodlouží z hodnoty p_u na $l_o \cdot (1 + \varepsilon_n)$ pro napínání ve směru osnovy a z hodnoty p_o na $l_u \cdot (1 + \varepsilon_n)$ pro deformaci ve směru útku. Pro stanovení tažnosti tkaniny tak získáme vztahy:

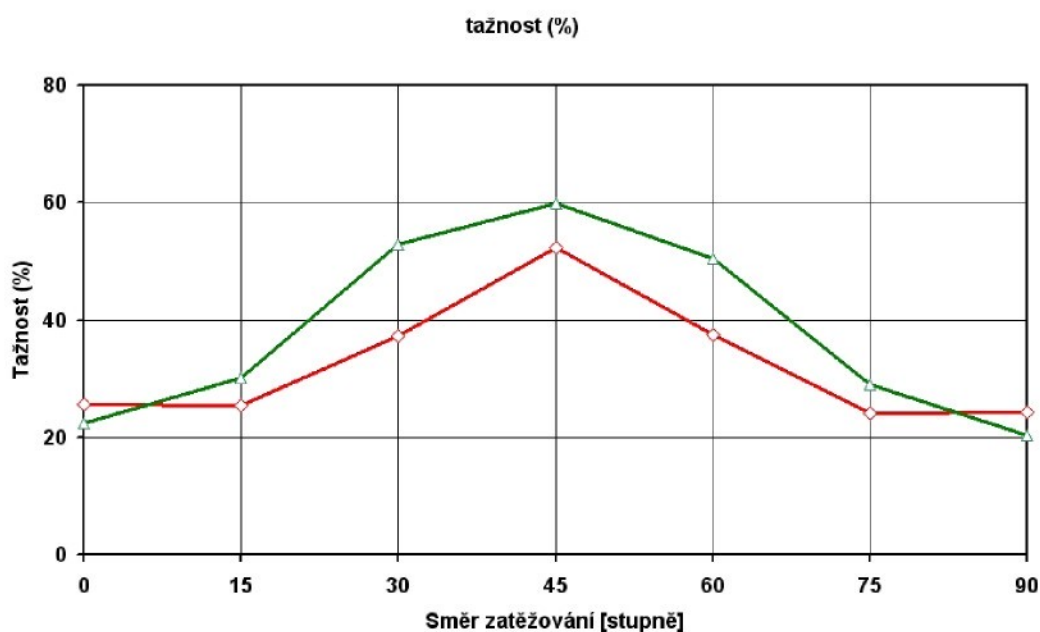
$$\varepsilon_o = \frac{l_o (1 + \varepsilon_n) - p_u}{p_u} = \frac{l_o}{p_u} (1 + \varepsilon_n) - 1, \quad \varepsilon_u = \frac{l_u (1 + \varepsilon_n) - p_o}{p_o} = \frac{l_u}{p_o} (1 + \varepsilon_n) - 1 \quad (7/2)$$

Poměr l_o/p_u nebo l_u/p_o lze snadno zjistit, pokud známe tzv. setkání tkaniny, tj. relativní zkrácení nitě jejím zvlněním po zatkání. S použitím našich parametrů je setkání ε_s definováno jako

$$\varepsilon_{so} = \frac{l_o - p_u}{p_u} \quad \text{a} \quad \varepsilon_{su} = \frac{l_u - p_o}{p_o} \quad (7/3)$$

Pevnost i tažnost za sucha a za mokra se od sebe mohou značně lišit. Příčinou je vliv vody na řadu vlastností většiny textilních vláken (pevnost, třecí vlastnosti, deformační vlastnosti, geometrie apod.).

2.6.4.1 Tažnost experimentální tkaniny



Graf 2. Tažnost experimentální tkaniny.

Z mého experimentu vyplývá (viz. graf 2), že maximální hodnoty tažnosti, jak vzorků s použitím třetího přípravku (zelená křivka), tak vzorků měřených dle normy EN ISO 13934-1 (červená křivka), jsou v diagonálním směru a minimální hodnoty ve směru osnovy a útku. Můžeme tedy říci, že naměřené hodnoty tažnosti odpovídají teorii popsané v kapitole 2.6.4.

3. Teoretické předpoklady experimentu

Pro experiment byla použita tkanina v plátňové vazbě, dostava osnovy je větší než dostava útku.

Jako faktory mohou ovlivňovat vnitřní tření? Např. vazba či dostava i při použití stejného materiálu vzorku. To by mohlo vést k odlišným výsledkům hystereze. Dá se předpokládat, že řídce dostavená tkanina s malým zvlněním nití může mít ve směru osnovy a útku nižší tažnost, danou tažností nití. V diagonálním směru se ve velké míře uplatní zkosení, tažnost by měla být tedy vysoká. U plátňové vazby lze také předpokládat, že maximální pevnost je v hlavních směrech a minimální ve směru diagonálním. Hustě provázaná tkanina je tedy méně tažná a pružná, ale více pevná.

Deformace tkaniny je spojena s vnitřním třením, které je způsobené hlavně tím, že při její deformaci na sebe působí příze v kontaktních bodech, tedy osnova působí na útek či naopak, dochází ke skluzu a tím i ke skluzu vláken v přízi. Tato deformace vede ke snížení pružnosti tkaniny.

Metoda navržená v experimentu měří relativní hysterezi tkaniny při cyklické deformaci. Vzhledem k tomu, že délka cyklu i rychlost cyklu (rychlost příčnicku) může ovlivnit výsledky hystereze, použila jsem různé cykly (viz. kap. 4.4., 4.5., 4.6).

3.1 Ovlivnění pevnosti a tažnosti podmínkami experimentu

Jaké vlastnosti by mohly mít zkoušené vzorky tkaniny? Při experimentu je důležité sledovat nejen vlastnosti tkaniny, ale také průběh deformace.

3.1.1.1 Faktory ovlivňující pevnost a tažnost zkoušeného vzorku v různých směrech:

a) Vliv struktury tkaniny

Prodloužení tkaniny je dáno především tím, že:

se změní tvar geometrie osy nitě (nit se napřímí)

je vzájemný skluz přízí (v šikmých směrech)

je axiální prodloužení příze

b) Vliv délky cyklu

Opět příliš krátký a naopak dlouhý cyklus deformace může být spojen s nízkou elasticitou, tedy vysokou hysterezí. Důvodem je skluz mezi přízemi, který začíná na počátku pružnosti vláken (toto je jediný zdroj elasticity textilie). Při dlouhém cyklu je skluz dlouhý a síly jsou také velké. Z toho plyne, že čím bude cyklus delší, tím bude i hystereze větší.

c) Vliv rychlosti deformace

Rychlost zatěžování má na výsledky měření pevnosti a tažnosti zásadní vliv. Čím rychleji budeme tkaninu zatěžovat, tím méně času bude mít na přeskupení vnitřních sil tvořených např. třením mezi vlákny. S rostoucí rychlostí zatěžování roste úroveň pevnosti a klesá úroveň tažnosti.

Standardní rychlost zatěžování je normována v době trvání zkoušky řádově desítky sekund.

Vzhledem k reologii (tj. studium deformací hmoty) textilního materiálu (jak v deformaci, tak i při tření) by mohlo vést při vyšších rychlostech ke snížení hystereze, jak je vidět v grafu 11.

d) Vliv zaplnění textilie

Nejen příliš řídká, ale i příliš hustá textilie by mohla mít vysokou hysterezi, i když z různých důvodů, jako již bylo popsáno výše u vlivu délky cyklu. Např. méně provázaná tkanina umožňuje prokluz mezi přízemi i vlákny dříve, vzhledem k tomu, že deformace je stanovena velkými příčnými silami mezi přízemi a vlákny.

e) Vliv přestřihnutých konců nití.

Důležitý je vliv okrajů vzorků, protože místa přestřihnutých nití na okraji vzorků přenášejí nižší tahovou sílu než místa uprostřed vzorku, čímž může dojít ke snížení výsledné pevnosti.

f) Nerovnoměrnost struktury

Může vést k nerovnoměrnému namáhání a také k nižším hodnotám pevnosti i tažnosti, a to při větších rozměrech vzorku, protože roste pravděpodobnost výskytu slabého nebo málo tažného místa. Svoji roli zde také hraje i nerovnoměrnost pevnosti a tažnosti nití, které snižují využití pevnosti v hlavních i šikmých směrech.

g) Změna zvlnění nití

Závisí na poměru působících sil ve směru osnovy a útku. Při působení sil v jiném směru, než je osnova a útek dochází mezi nimi ke zkosení (změně) úhlu.

h) Zploštění, zhuštění nitě a její prodloužení

Při namáhání ve směru osnovy dochází vlivem napřímění osnovních nití ke zploštění nití útkových, tedy průřez osnovních nití je deformovaný do tvaru kruhu a při diagonálním namáhání do tvaru čtverce se zaoblenými rohy.

i) Na vzorky mohou mít vliv také další faktory, jako jsou např. **klimatické podmínky**. Vlastnosti textilních vláken a textilií se mění podle toho jaká je jejich vlhkost, kterou vlákna přijímají z ovzduší či z lidského těla. Vlhkostí vlákna bobtnají a mění se jejich hmotnost tedy i hmotnost textilie. Se stoupající vlhkostí je tažnost větší a pevnost naopak menší.

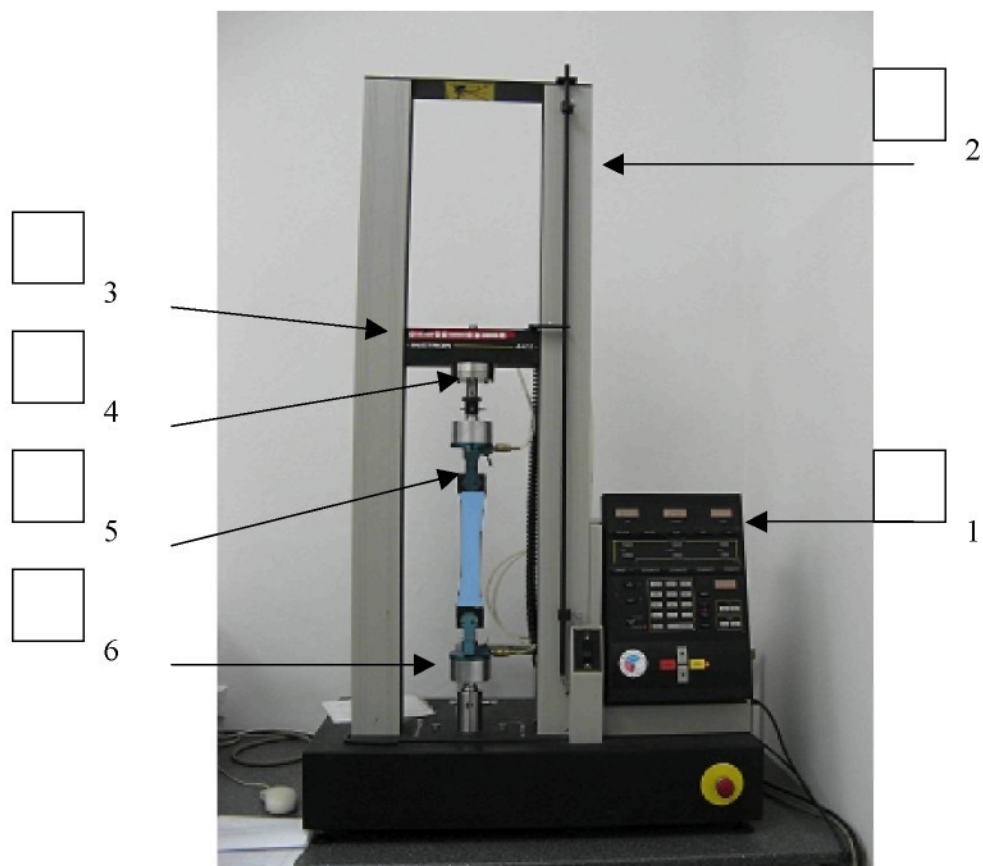
4. Experimentální část

Experiment je založen na zkoušce pružnosti tkaniny při cyklické tahové deformaci v různých směrech. Je měřena pevnost, tažnost a hystereze tkaniny v závislosti na směru deformace. Hystereze směsové tkaniny v plátnové vazbě byla sledována také v závislosti na délce cyklu a rychlosti namáhání. Pevnost a tažnost byla měřena také s třecím přípravkem (viz. kap. 2.6.3.1 a obr. 12).

4.1 Popis univerzálního přístroje Instron 4411

K měření hystereze, pevnosti a tažnosti jsem použila dynamometr INSTRON 4411 na obr. 13, který umožňuje univerzální zkoušení textilií. Přístroj je určen k zjišťování mechanických vlastností délkových a plošných textilií. Lze realizovat jednoosé namáhání tlakem, tahem a ohybem.

Přístroj se skládá ze dvou hlavních částí, řídicí skříně (1) a zařízení pro zatěžování vzorků (2). Zatěžovací zařízení je tvořeno příčnickem (3), na kterém je nasazena snímací hlava (4) s horní upínací čelistí (5). Snímací hlava je v podstatě čidlem síly a délkových změn a je propojena s řídicí skříní. Kromě horní upínací čelisti je zapotřebí i dolní upínací čelist (6). Čelist musí být volena podle parametrů vzorku a požadované zkoušky. Zapsání a vyhodnocení deformačních vlastností provádí počítač připojený k samostatnému přístroji.



Obr. 13. Univerzální zkušební přístroj Instron 4411



Obr. 14. Detail zkušebního přístroje Instron 4411

4.2 Parametry experimentální tkaniny

Materiál	65 % POP/35 % CO
Dostava osnovy	23 nt/cm
Dostava útku	19 nt/cm
Vazba	plátno
Plošná hmotnost	150 g/m ²
Velikost vzorku	18 x 5 cm + upnutí
Počet vzorků	6 ks v každém směru a zároveň 6 ks pro každou rychlost



Obr. 15. Experimentální tkanina.

4.3 Postup měření

Pro experiment jsem použila vzorky směsové tkaniny v plátnové vazbě se složením 65 % POP a 35 % CO o velikosti 200x50 mm, stříhané v sedmi směrech po 15 (tj. 0 , 15 , 30 , 45 , 60 , 75 a 90), které se klimatizovaly (relaxovaly). Relaxovaný stav (tj. stav, kdy tkanina má minimální množství energie.)

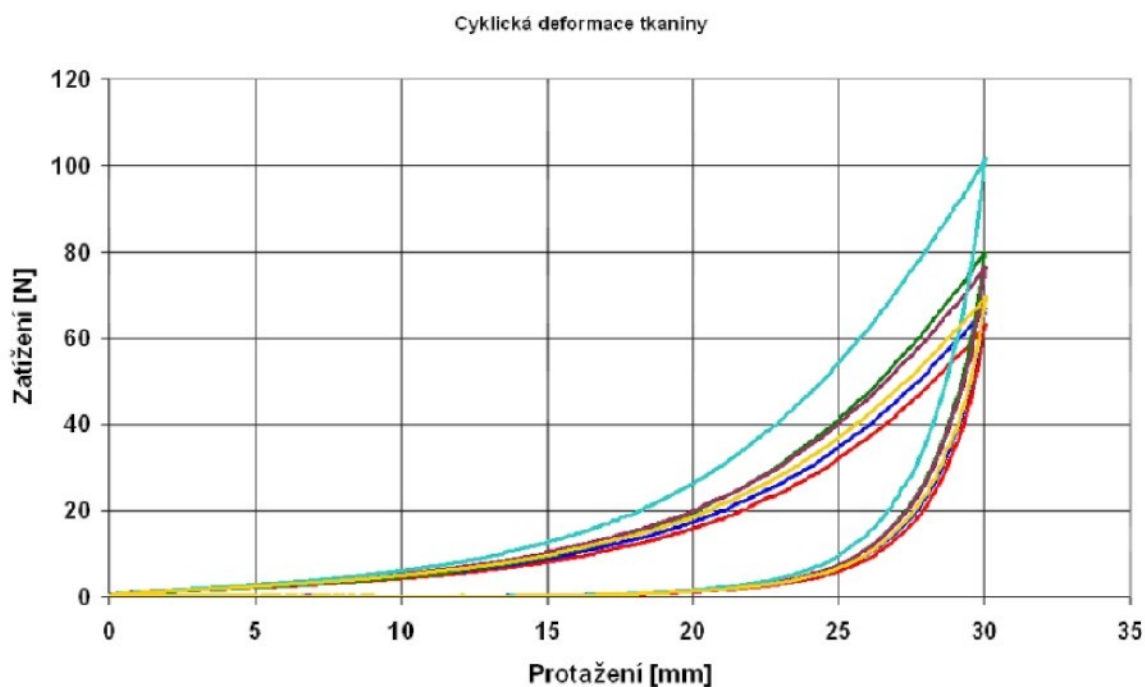
Nastavení zkušebního přístroje se provede pomocí dynamometru a zkušebních vzorků, dle změřené tažnosti (tab. 1) se nastaví deformace na procento namáhání (10 %, 20 % a 50 % tažnosti).

Klimatizovaný vzorek se upevní do čelistí zkušebního přístroje s určitou upínací délkou a s nulovým předpětím. Při upnutí do čelistí jsem použila smirkový papír, který

zabrání uvolnění vzorku z čelistí či možnému posuvu a snímací hlavu s maximálním zatížením 5 kN. Přístroj se uvede do činnosti pomocí počítače, čidlo snímá zatěžující sílu. Ukázky křivek hystereze viz. graf 3, 4, 5, 7, 10.

Pro měření hystereze tkaniny jsem použila různé délky cyklu a rychlosti, viz. tab. 2 a 3. V tabulkách jsou uvedeny naměřené hodnoty hystereze, průměrné hodnoty, směrodatné odchylky s a interval spolehlivosti IS (konfidenční interval), viz. vztahy (6/1 – 6/5). V grafech jsou použity taktéž průměrné hodnoty s intervaly spolehlivosti.

**Příklad křivek cyklické deformace šesti vzorků experimentální tkaniny
v diagonálním směru (útek 45°) při délce cyklu do 50 % tažnosti.**



Data byla statisticky zpracována dle uvedených vztahů:

Při zpracování naměřených dat byly použity tyto vzorce:

Aritmetický průměr
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6/1)$$

Rozptyl
$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6/2)$$

Směrodatná odchylka
$$s = \sqrt{s^2} \quad (6/3)$$

Variační koeficient
$$v = \frac{s}{\bar{x}} 100\% \quad (6/4)$$

Interval spolehlivosti (6/5)

Naměřená tažnost tkaniny

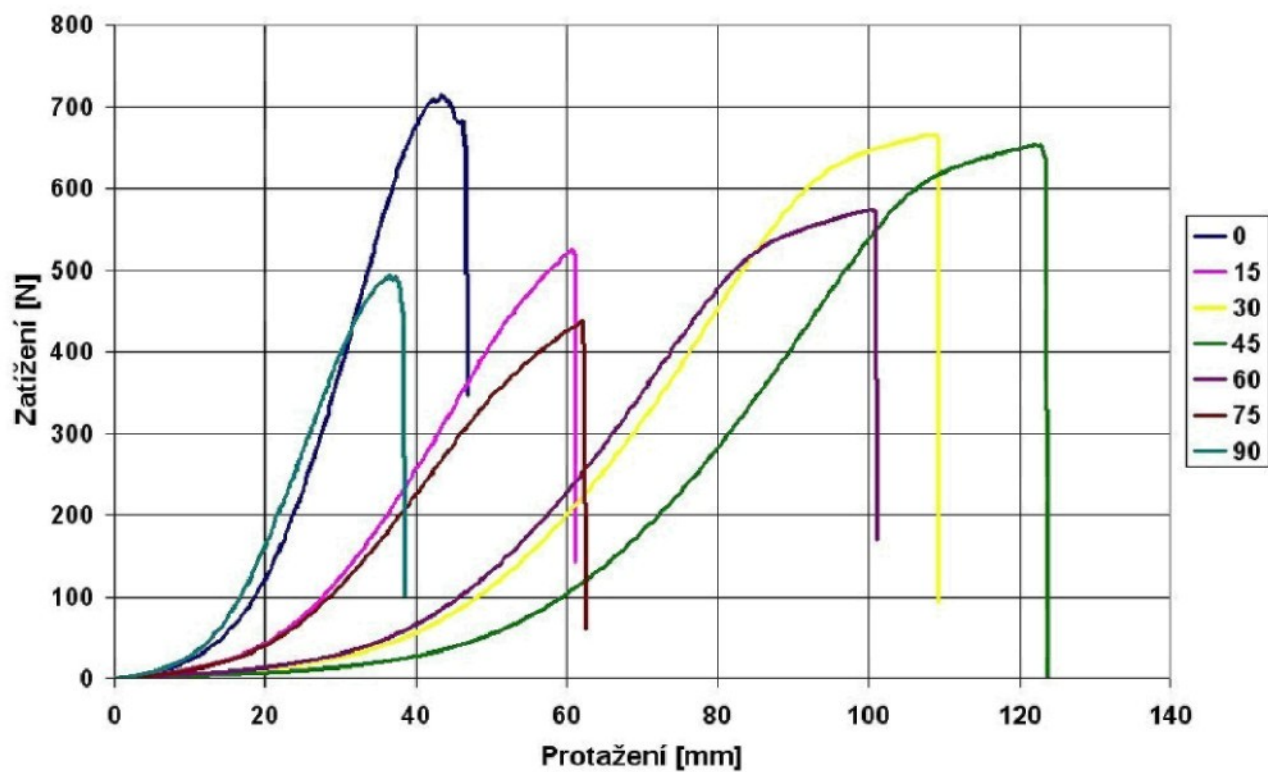
Nejprve byly prováděny zkoušky pevnosti (hodnoty viz. příloha č. 2) a tažnosti (tab.1) v různých směrech.

Výsledky měření pevnosti a tažnosti včetně diskuse a směrových závislostí jsou uvedeny v kapitolách 2.6.3.1 a 2.6.4.1. Dále byla sledována hystereze pro každý směr do 10 %, 20 % a 50 % tažnosti. Hodnoty hystereze jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab.1. Tažnost tkaniny experimentu

Úhel stupně	Tažnost %	10 % (mm)	20 % (mm)	50 % (mm)
0	22,3	2,23	4,47	11,16
15	30,2	3,02	6,04	15,10
30	52,9	5,29	10,57	26,43
45	59,8	5,98	11,95	29,88
60	50,4	5,04	10,08	25,19
75	29,1	2,91	5,81	14,54
90	20,2	2,02	4,05	10,12

Příklad křivek deformace do přetrhu pro jednotlivé směry



Graf 4. Tahové křivky do přetrhu.

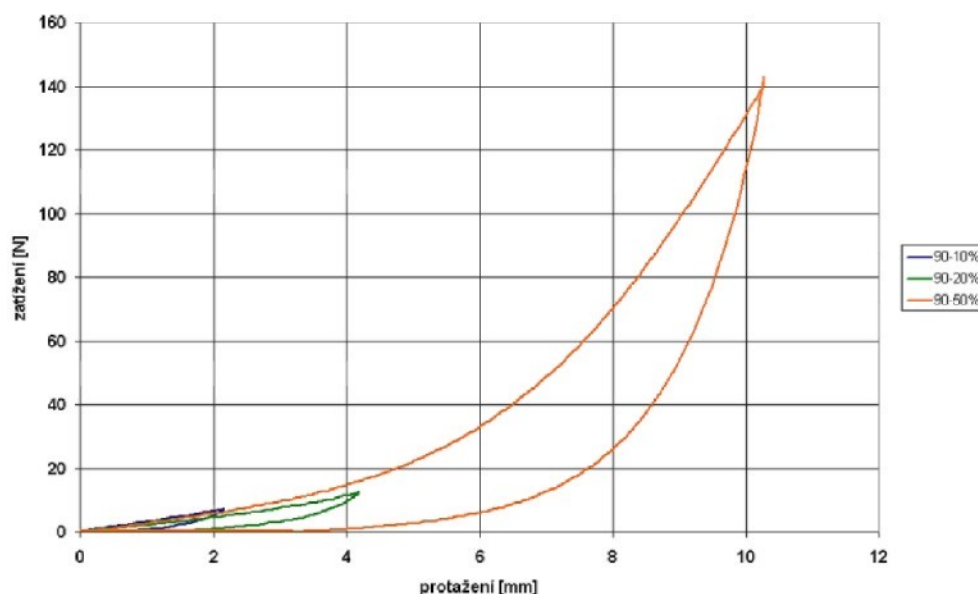
4.4 Vliv délky cyklu - diskuse výsledků

V tabulkách je přehled použitých délek cyklů. Ty jsem si stanovila do 10 %, 20 % a 50 % tažnosti. Jsou v nich uvedeny průměrné hodnoty hystereze z šesti měření pro každý směr, směrodatné odchylky a intervaly spolehlivosti.

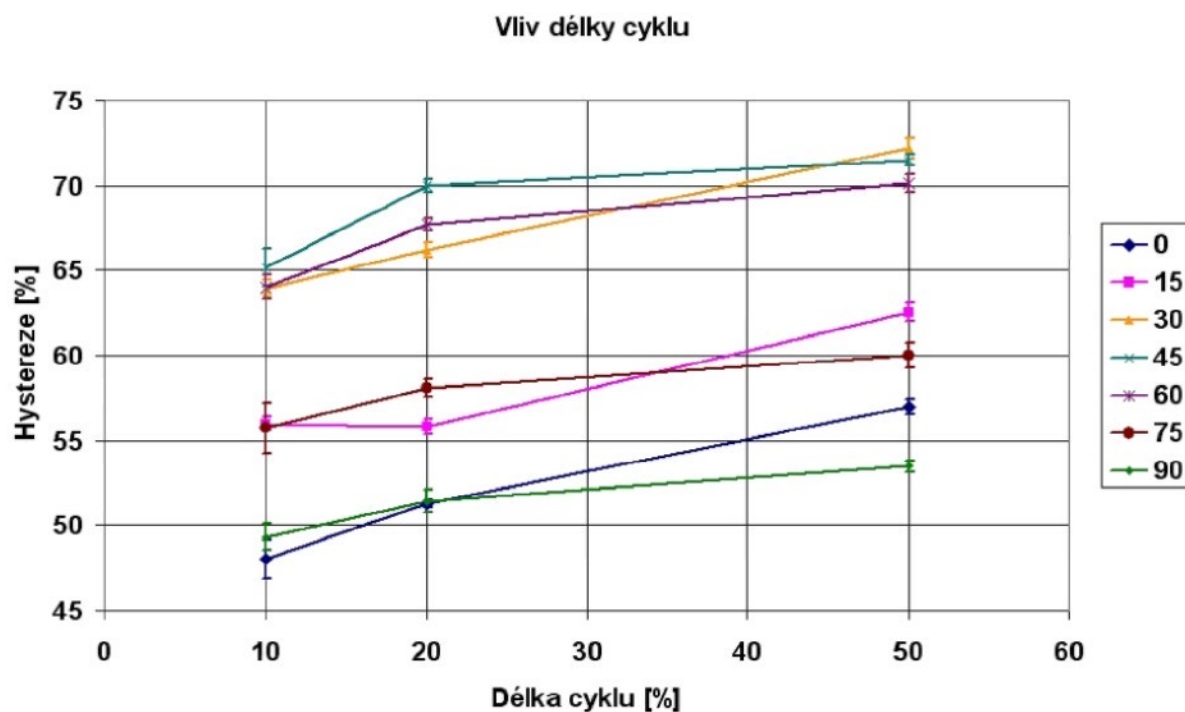
Tab. 2. Délky cyklů

stupně	Délka cyklu [%]								
	10 % tažnosti			20 % tažnosti			50 % tažnosti		
	Průměr ($\bar{x}$)	Směrodat. odchylka (s)	Interval spolehlivosti (IS)	Průměr ($\bar{x}$)	Směrodat. odchylka (s)	Interval spolehlivosti (IS)	Průměr ($\bar{x}$)	Směrodat. odchylka (s)	Interval spolehlivosti (IS)
0	48,0	1,5	1,2	51,3	0,3	0,2	56,9	0,5	0,4
15	56,0	0,5	0,4	55,8	0,6	0,4	62,5	0,7	0,6
30	63,9	0,6	0,5	66,2	0,6	0,4	72,2	0,8	0,6
45	65,2	1,4	1,1	70,0	0,4	0,4	71,5	0,4	0,3
60	64,0	0,9	0,7	67,7	0,5	0,4	70,1	0,6	0,5
75	55,7	1,8	1,5	58,1	0,6	0,5	60,0	0,9	0,7
90	49,3	0,9	0,8	51,5	0,8	0,7	53,5	0,4	0,3

Příklad křivek hystereze pro směr útku (90°) a při délce cyklu do 10, 20 a 50 % tažnosti.



Graf 5. Příklad křivek cyklické deformace experimentální tkaniny v závislosti na délce cyklu.

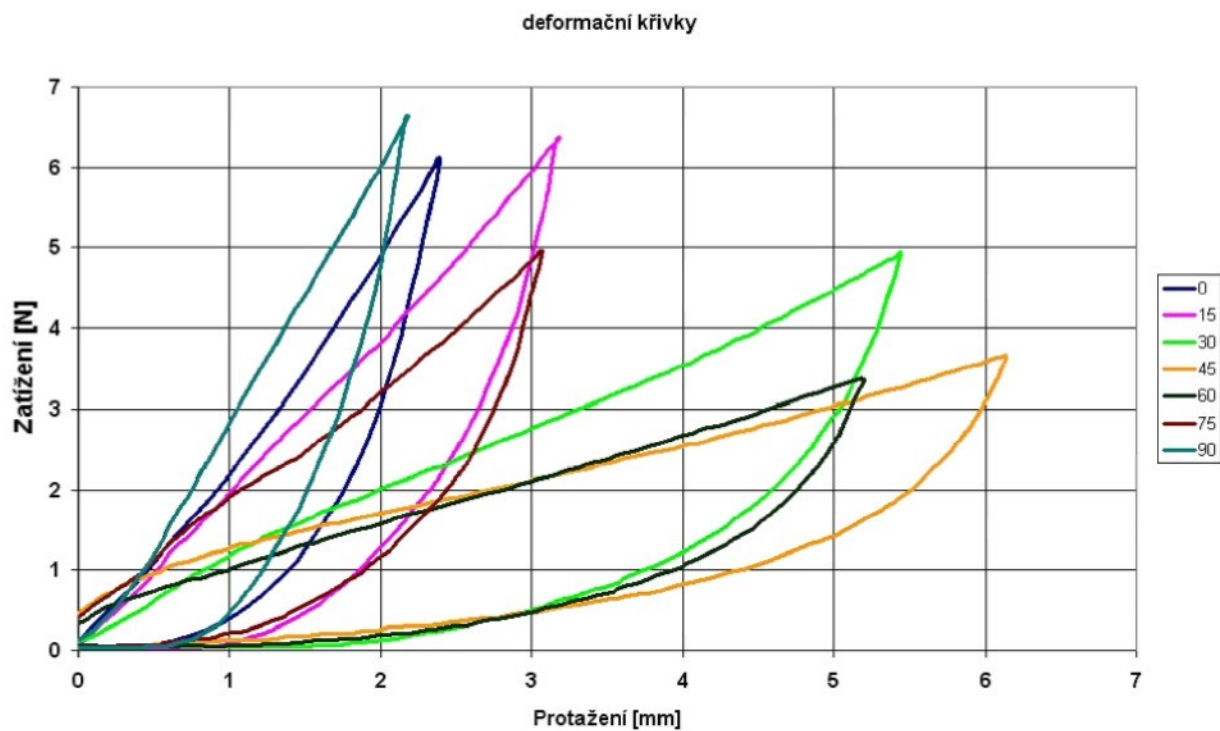


Graf 6. Vliv délky cyklu.

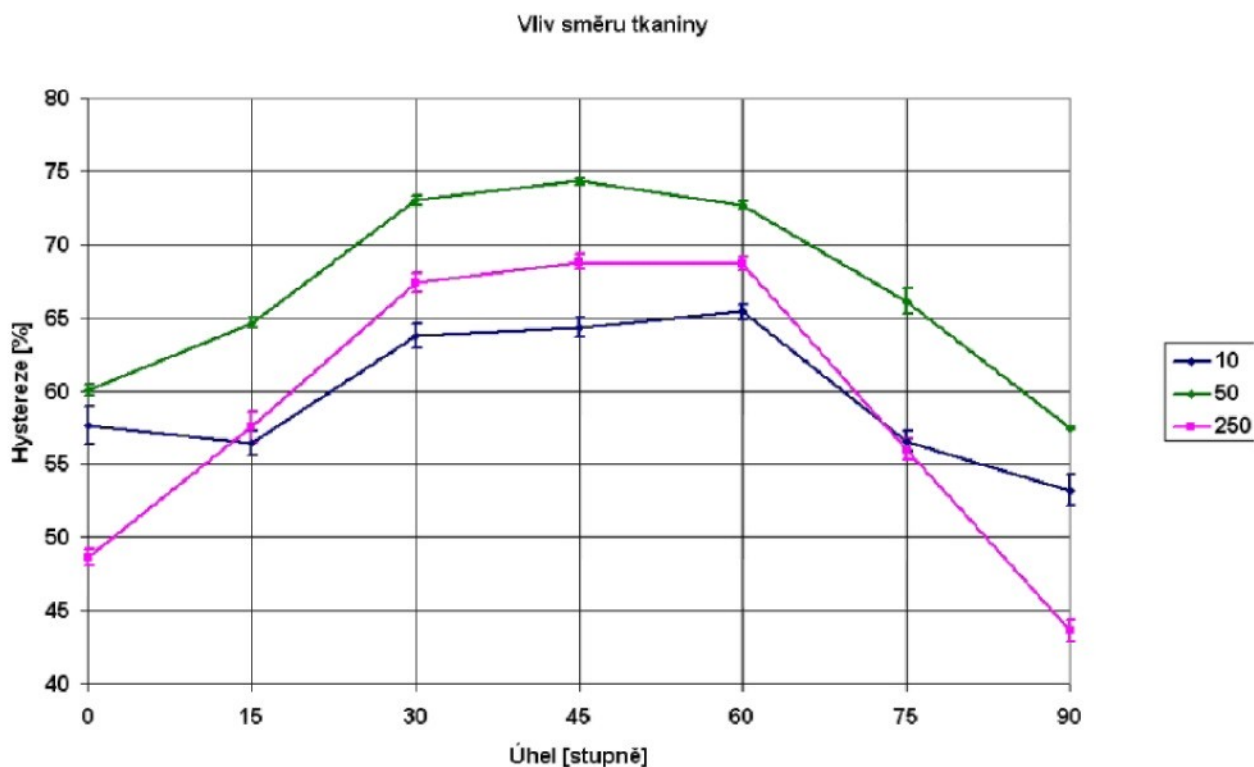
Tento graf 6 vyjadřuje závislost hystereze na délce cyklu do 10, 20 a 50 % tažnosti. Z grafu je patrné, že čím je cyklus delší, tím je i hystereze větší ve všech směrech namáhání a zároveň největších energetických ztrát dosahuje směr diagonály (45°). Nejmenší energetické ztráty má tkanina ve směru osnovy (úhel 0°) a ve směru útku (úhel 90°). Zde se experiment shoduje s teoretickým předpokladem z kap. 3.

4.5 Vliv směru – diskuse výsledků

Příklad křivek cyckické deformace experimentální tkaniny v závislosti na směru namáhání pro 10 % tažnosti.

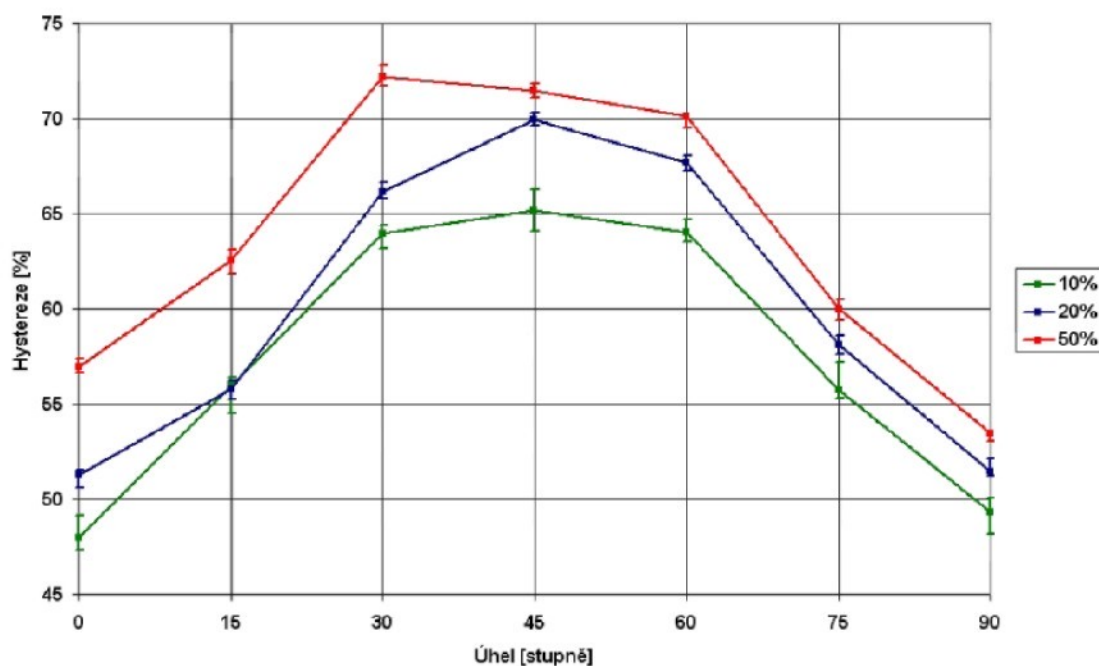


Graf 7. Deformační křivky hystereze.



Graf 8. Vliv směru – rychlost cyklu.

V grafu 8 koresponduje průběh s průběhem tažnosti na směru namáhání. Tedy je zde vyjádření závislosti hystereze na směru namáhání. Hystereze dosahuje nejvyšších hodnot především ve směru diagonálním (45°) a ve směrech přilehlých (30° a 60°). Naopak nejnižších hodnot dosahuje ve směru osnovy a útku (0° a 90°). Zkouška potvrdila předpoklad v kap. 3., že zásadní vliv na hysterezi má směr tkaniny, vzhledem ke zkosení úhlu mezi osnovou a útkem.



Graf 9. Vliv směru – délka cyklu.

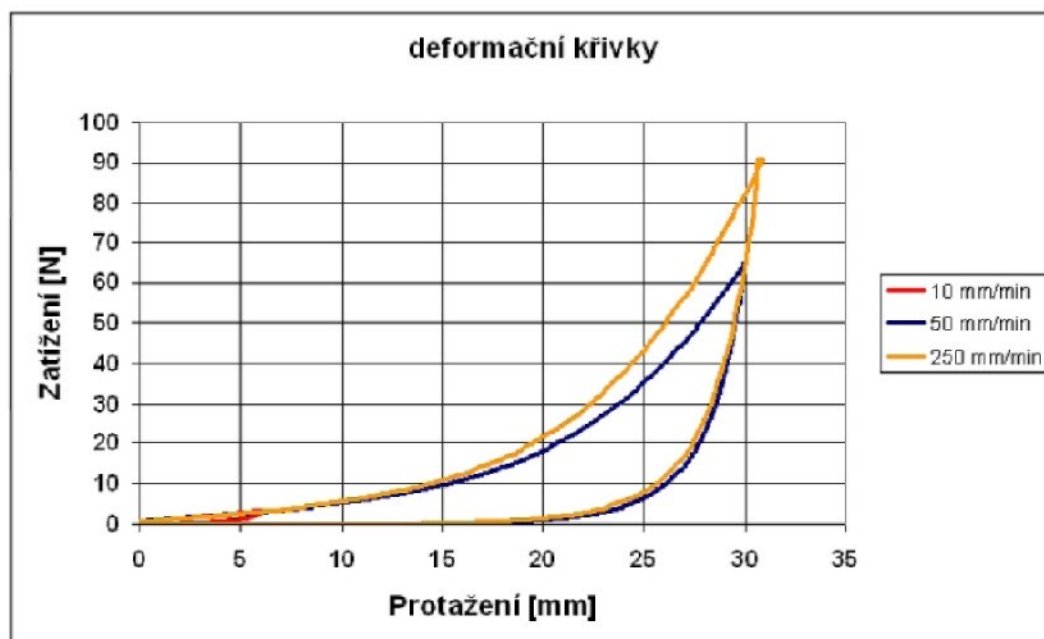
V grafu 9 je závislost hystereze na směru namáhání. Je patrné, že zde opět převyšuje směr diagonály (45°) a směry přilehlé (30° a 60°) jako v předešlém grafu 8. Výsledky jsou překvapivě symetrické, výjimkou jsou především hodnoty při délce cyklu do 20 % tažnosti. Energetické ztráty jsou jak již bylo zmíněno při délce cyklu do 50 % tažnosti a naopak nejmenší při délce cyklu do 10 % tažnosti.

4.6 Vliv rychlostí cyklů - diskuse výsledků

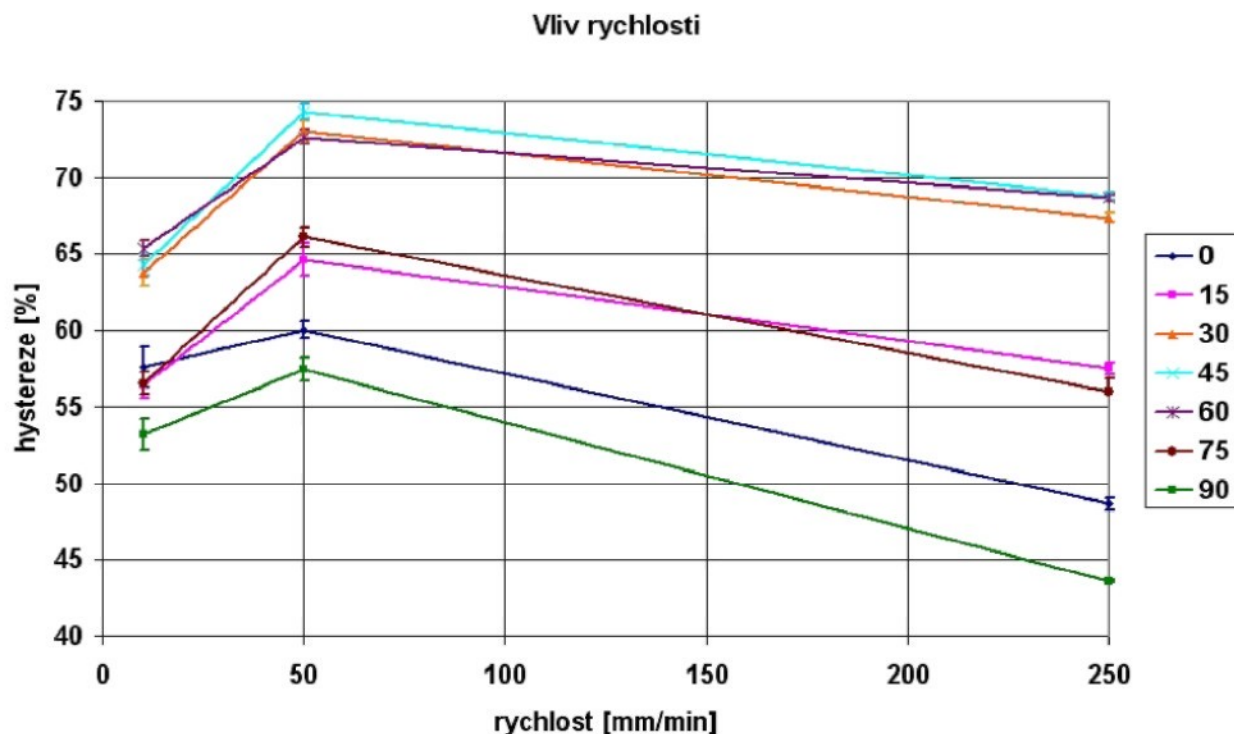
Byl sledován vliv rychlosti na hysterezi tkaniny. Byly použity rychlosti 10, 20 a 250 mm/min. Výsledné hodnoty hystereze pro všechny sledované směry namáhání jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3. Rychlosti cyklů

stupně	Rychlost cyklu v [mm/min]								
	10 mm/min			50 mm/min			250 mm/min		
	Průměr ($\bar{M}$)	Směrodat. odchylka (s)	Interval spolehlivosti (IS)	Průměr ($\bar{M}$)	Směrodat. odchylka (s)	Interval spolehlivosti (IS)	Průměr ($\bar{M}$)	Směrodat. odchylka (s)	Interval spolehlivosti (IS)
0	57,6	1,6	1,3	60,0	0,7	0,6	48,7	0,5	0,4
15	56,4	1,1	0,9	64,6	1,3	1,1	57,5	0,4	0,4
30	63,8	1,1	0,9	73,0	0,8	0,7	67,4	0,4	0,3
45	64,3	0,9	0,7	74,3	0,6	0,5	68,8	0,3	0,2
60	65,4	0,6	0,5	72,7	0,6	0,5	68,7	0,3	0,3
75	56,6	0,9	0,7	66,1	0,8	0,7	55,9	1,1	0,9
90	53,2	1,3	1,1	57,5	0,9	0,7	43,6	0,1	0,1



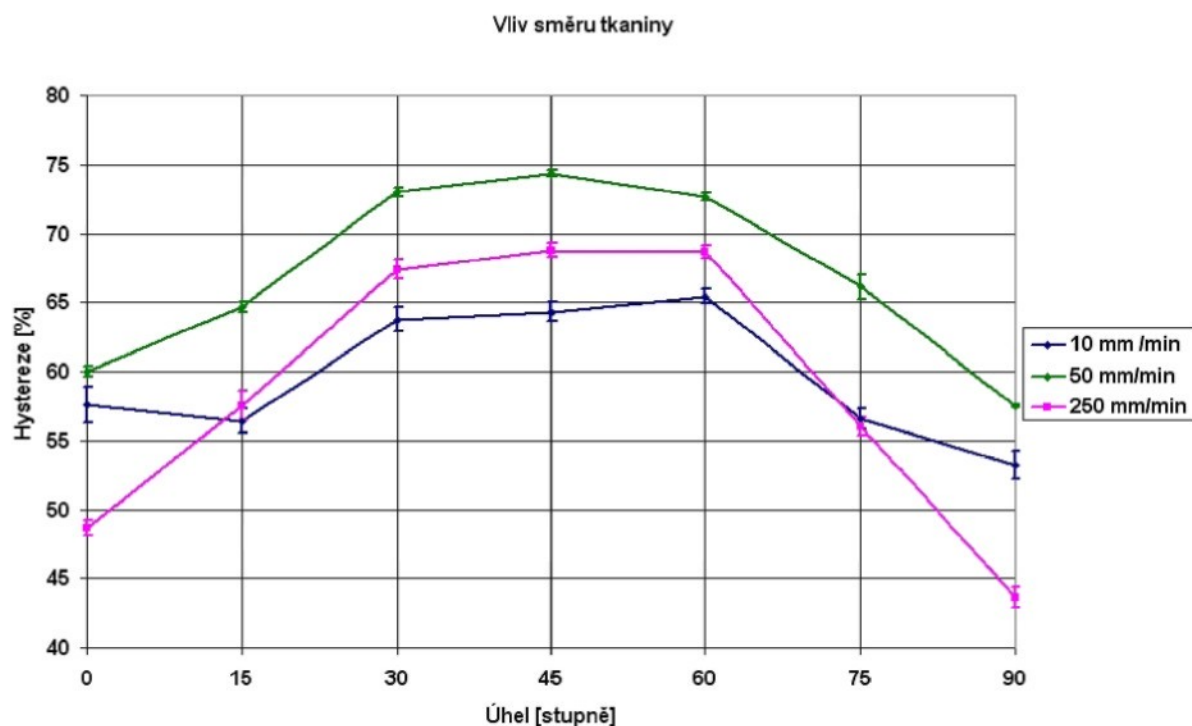
Graf 10. Příklad křivek cyklické deformace experimentální tkaniny v závislosti na rychlosti přičníku.



Graf 11. Vliv rychlosti.

V grafu 11 je závislost hysterese na rychlosti cyklu 10, 50 a 250 mm/min. Jak je vidět, zde jsou největší energetické ztráty při rychlosti 50 mm/min, ale při rychlosti 250 mm/min je hystereze menší, domnívám se, že tato rychlost je už příliš velká k objektivnímu porovnání s ostatními rychlostmi, protože zde dochází k rychlému napětí, kdy na vzorek působí nepřiměřená síla a kontaktní body se nestačí po sobě posouvat. Experiment potvrdil teoretické předpoklady uvedené v kap. 3, str. 31.

Proč je hystereze při rychlosti 10 mm/min menší? Vzhledem k tomu, že tato oblast není zatím více prozkoumána, nedokážeme určit z jakých důvodů dochází při malé rychlosti k menším hysterezím.



Graf 7. Vliv směru.

Z tohoto směrového diagramu je lépe vidět, jak se chová tkanina při jednotlivých rychlostech, ale v podstatě ukazuje to samé jako graf uvedený výše v kapitole 4.5. Hystereze je při rychlosti cyklu 250 mm/min nejmenší a její průběh je nejvíce kolísavý, domnívám se, že je to způsobené zvolenou právě příliš vysokou rychlostí cyklu, kdy kontaktní body se po sobě nestihnou posouvat.

5. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjištění vlivu směru, rychlosti a délky cyklu tahového namáhání na pevnost, tažnost a především hysterezi tkaniny, na základě naměřených hodnot v experimentální části a následné porovnání protažení tkaniny při různých délkách a rychlostech deformačních cyklů.

Experiment byl měřen pomocí trhačního přístroje INSTRON 4411 na TU v Liberci na katedře textilních technologií.

V experimentální části bylo středem zájmu měření pevnosti, tažnosti, pro stanovení délky cyklu, a především hystereze. Naměřené hodnoty této hystereze byly zpracovány a porovnány při zatížení v sedmi směrech tkaniny experimentu (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 stupňů) při různých délkách a rychlostech cyklu.

Vliv směru byl jedním z hlavních témat experimentu. Výsledky tohoto měření ukázaly, že právě směr zatěžování má největší vliv na energetické ztráty. Ve směru diagonály, tedy v úhlu 45 stupňů, byla změřena největší hystereze (energetické ztráty), důvodem byla změna sklonu osnovních a útkových nití, doprovázena třením ve vazných bodech, tyto výsledky odpovídají teorii v kap. 3.

Potvrdil se předpoklad výrazného vlivu různých faktorů ovlivňující pružnost tkaniny. Bylo zjištěno, že tkanina při nejdelším cyklu, tedy při zatížení do 50 % tažnosti má největší energetické ztráty a zároveň můžeme říci, že čím je delší cyklus namáhání, tím bude hystereze vždy stoupat.

Další poznatky v této práci jsou zaměřeny na vyhodnocení a porovnání hodnot hystereze při různých rychlostech cyklu. Při tomto měření bylo zjištěno, že v případě použití velké rychlosti, jako je 250 mm/min, jsou energetické ztráty nejmenší, řekla bych, že je to způsobeno příliš rychlým působením sil a kontaktní body se po sobě nestihnou posunout. Naopak při mále rychlosti nemusí k posuvům těchto bodů vůbec dojít. Tuto problematiku není lehké určit, proto by bylo zajímavé, aby se právě otázkou vlivu rychlosti cyklu na hysterezi, zabývalo dále a podrobněji.

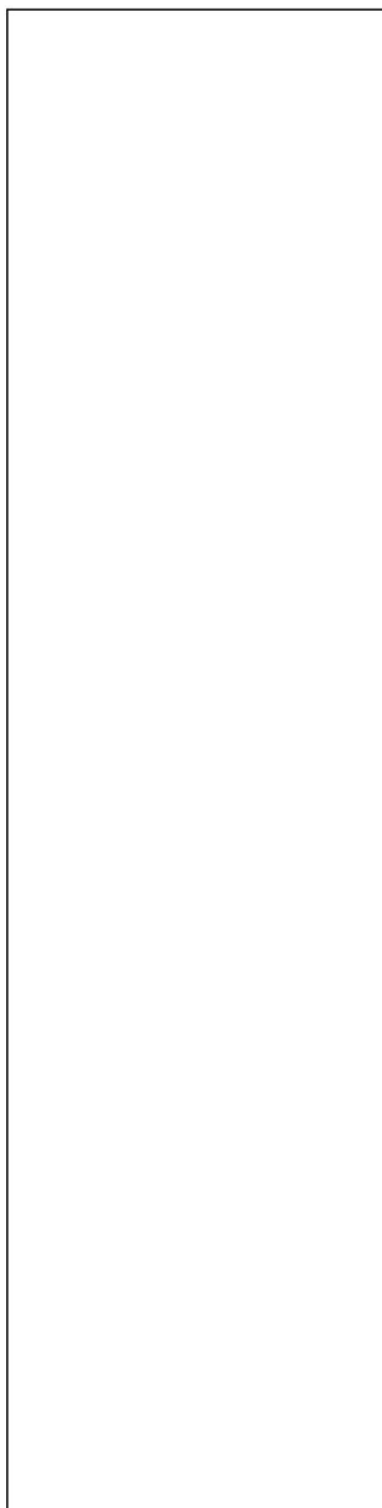
6. Seznam odborné literatury

- [1] KOVÁŘ, R.: Struktura a vlastnosti plošných textilií, skripta, Liberec 2003.
- [2] KOVÁŘ, R.: Tažnost tkaniny. Seminář STRUTEX, Liberec 2001.
- [3] KOVÁŘ, R.: Směrová pevnost tkaniny. Seminář STRUTEX, Liberec 2001.
- [4] KOVÁŘ, R.: Vnitřní tření textilií. Seminář STRUTEX, Liberec 1997.
- [5] PITUCHA, T.: Anizotropie deformace tkanin, diplomová práce, Tu Liberec 2004
- [6] HOLEČKOVÁ, K.: Směrová pevnost a tažnost zátažných pletenin, diplomová práce, Tu Liberec 2006
- [7] HOBZA, M.: Vnitřní tření při deformaci pletenin, diplomová práce, TU Liberec 2000
- [8] HEARLE, J. W. S. - GROSBERG, P. – BACKER, S.: Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics. Vol. 1. New York, London, Sydney, Toronto 1969
- [9] KOVÁŘ, R.- DOLATABADI, M.K.: Crip of woven Fabric Measuring. International Conference STRUTEX, Liberec 2008
- [10] SODOMKA, I.: Anizotropie netkaných textilií. Textil 35, 1980
- [11] ZBOŘILOVÁ, J.-KOVÁŘ, R.: Uniaxial Woven Fabric Deformation. Konference STRUTEX, TU v Liberci 2004, str. 89-92, ISBN 80-7083-891-4.
- [12] KALOUSEK, Z.-HARTLOVÁ, J.-ZAJÍCOVÁ, E.: Směrová závislost mechanických vlastností tkaniny. Seminář STRUTEX, Liberec 1999.

Příloha č. 1

Vzorek experimentální tkaniny

Materiál	65 % POP/35 % CO
Dostava osnovy	23 nt/cm
Dostava útku	19 nt/cm
Vazba	plátno
Plošná hmotnosť	150 g/m ²



Příloha č. 2

Naměřené hodnoty experimentální tkaniny

Hodnoty hystereze

Délka cyklu 10, 20 a 50 % tažnosti

úhel 0°	10 %	20 %	50 %
1	50,1	50,8	57,0
2	48,6	51,2	56,5
3	47,7	51,2	56,2
4	48,6	51,3	57,6
5	47,3	51,6	56,9
6	45,8	51,5	57,4
průměr	48,0	51,3	56,9
SO	1,454343	0,30979987	0,548798
Confid.	1,163694	0,247886602	0,439121

úhel 15°	10 %	20 %	50 %
1	56,4	55,1	62,9
2	55,5	56,0	61,9
3	55,8	55,1	63,1
4	56,7	55,8	62,1
5	56,0	56,4	61,8
6	55,3	56,3	63,5
průměr	56,0	55,8	62,5
SO	0,539247	0,560667096	0,71508
Confid.	0,431479	0,448618204	0,572172

úhel 30°	10%	20%	50%
1	63,7	66,0	71,3
2	63,8	65,9	71,5
3	64,8	65,8	71,9
4	63,8	65,8	72,1
5	63,1	66,4	73,2
6	64,5	67,2	73,1
průměr	63,9	66,2	72,2
SO	0,591258	0,54974202	0,793625
Confid.	0,473095	0,439876496	0,63502

úhel 45°	10 %	20 %	50 %
1	64,3	70,5	71,4
2	62,9	70,5	71,1
3	65,9	69,7	71,0
4	65,5	69,7	71,4
5	66,0	69,7	71,7
6	66,7	69,7	72,2
průměr	65,2	70,0	71,5
SO	1,382144	0,440295473	0,436212
Confid.	1,105924	0,352302758	0,349035

úhel 60°	10 %	20 %	50 %
1	64,7	67,3	69,7
2	62,6	67,0	69,9
3	63,9	67,7	71,0
4	63,4	68,1	70,8
5	64,6	68,1	69,8
6	64,8	68,0	69,6
průměr	64,0	67,7	70,1
SO	0,865778	0,476591548	0,614385
Confid.	0,692753	0,38134509	0,491601

úhel 75°	10 %	20 %	50 %
1	55,4	58,5	59,6
2	52,7	57,4	59,3
3	55,7	57,9	59,7
4	57,2	59,1	59,0
5	58,1	57,6	61,1
6	55,3	58,1	61,1
průměr	55,7	58,1	60,0
SO	1,828207	0,627942267	0,901453
Confid.	1,462841	0,502448483	0,721298

úhel 90°	10 %	20 %	50 %
1	48,3	50,7	53,2
2	51,0	51,6	54,0
3	49,4	50,9	53,3
4	48,4	51,1	53,0
5	49,6	53,0	53,9
6	49,3	51,4	53,4
průměr	49,3	51,5	53,5
SO	0,959518	0,836864444	0,399737
Confid.	0,767759	0,669617722	0,31985

Rychlost cyklu 20 50 a 250 mm/min

10 mm/min	0	15	30	45	60	75	90
1	54,6	56,3	64,5	64,7	66,1	56,2	51,4
2	56,7	57,2	65,2	62,8	64,8	55,9	54,7
3	58,5	56,0	64,5	65,1	64,6	58,3	54,2
4	58,2	54,5	63,2	64,3	66,2	56,4	53,7
5	58,6	57,0	62,9	64,6	65,4	56,0	53,5
6	58,9	57,5	62,4		65,3	56,6	51,7
průměr	57,6	56,4	63,8	64,3	65,4	56,6	53,2
SO	1,645853047	1,070758639	1,084837561	0,863011	0,640579	0,886976	1,324013
Confid.	1,316930568	0,85676834	0,868033601	0,690539	0,51256	0,709715	1,05941

50 mm/min	0	15	30	45	60	75	90
1	60,61189857	64,24735453	72,52057151	73,90863	72,88306	66,92454	57,55035
2	60,52475957	64,76584284	73,4309175	74,44495	72,90858	66,56139	57,39702
3	60,01080717	63,94047408	72,65913157	74,09481	72,52204	63,95931	57,56929
4	59,47527818	64,88840903	73,26348275	74,30904	72,5427	66,13062	57,35413
5	59,77209222	65,08248586	72,81299877	74,48416	72,92861	66,83249	57,35535
6	59,75519799	64,90173656	73,44626529	74,73319	72,13222	66,19971	57,52894
průměr	60,02500562	64,63771715	73,0222279	74,32913	72,65287	66,10135	57,45918
SO	0,454612043	0,443918673	0,407998457	0,294226	0,31456	1,097515	0,100977
Confid.	0,363758172	0,355201864	0,326460276	0,235425	0,251695	0,878178	0,080797

250 mm/min	0	15	30	45	60	75	90
1	49,3	58,5	67,2	68,4	69,0	54,9	43,7
2	47,4	58,1	68,8	69,3	67,9	57,0	44,6
3	48,6	56,1	67,4	69,2	68,3	56,0	43,7
4	48,4	59,4	67,4	69,0	69,4	56,0	42,4
5	49,0	56,5	66,2	69,2	68,3		42,7
6	49,2	56,5	67,2	67,7	69,0		44,5
průměr	48,7	57,5	67,4	68,8	68,7	56,0	43,6
SO	0,707674445	1,335463675	0,842826835	0,618044	0,578333	0,849241	0,923005
Confid.	0,566246246	1,068572276	0,674388533	0,494529	0,462754	0,679521	0,738543

Tažnost a pevnost tkaniny s třecím přípravkem

P2F19-00					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	721,3	43,52	16,92	26,2	11,69
2	709,8	42,12	16,99	25,3	10,87
3	698,8	45,00	17,14	27,1	12,42
4	720,0	45,35	16,84	27,3	13,02
5	732,3	47,27	17,60	28,4	14,07
Průměr	716,5	44,65	17,10		12,41
SmOdch	12,7	1,95	0,30		1,23
CV (%)	1,8	4,36	1,76		9,88
Confid.	11,13	1,71			

P2F19-15					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	545,0	63,46	23,87	38,1	12,4
2	524,8	60,71	23,21	36,5	11,32
3	513,3	58,37	23,23	35,1	10,55
4	548,5	62,45	23,71	37,5	12,36
5	513,6	56,92	22,84	34,2	10,22
Průměr	529,0	60,38	23,37		11,37
SmOdch	16,9	2,73	0,42		1,00
CV (%)	3,2	4,53	1,78		8,84
Confid.	14,77	2,40			

P2F19-30					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	665,8	108,20	46,14	65,0	26,16
2	684,3	105,17	43,71	63,2	27,05
3	687,5	111,95	46,86	67,2	29,31
4	675,4	102,83	43,53	61,8	25
5	683,2	100,37	41,59	60,3	25,18
Průměr	679,2	105,70	44,37		26,54
SmOdch	8,7	4,53	2,13		1,75
CV (%)	1,3	4,29	4,81		6,61
Confid.	7,66	3,97			

P2F19-45					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	653,2	122,12	56,84	73,3	26,95
2	651,0	120,11	54,75	72,1	26,95
3	652,1	118,03	53,54	70,9	26,59
4	649,7	119,68	54,55	71,9	26,82
5	671,4	117,75	52,29	70,7	28,01
Průměr	655,5	119,54	54,39		27,06
SmOdch	9,0	1,77	1,68		0,55
CV (%)	1,4	1,48	3,09		2,03
Confid.	7,89	1,55			

P2F19-60					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	574,0	100,37	41,98	60,3	21,51
2	590,6	101,70	43,19	61,1	22,75
3	574,0	100,91	42,40	60,6	21,7
4	585,5	100,20	42,87	60,2	21,29
5	596,0	100,70	40,12	60,5	23,88
Průměr	584,0	100,78	42,11		22,23
SmOdch	9,9	0,59	1,20		1,08
CV (%)	1,7	0,58	2,86		4,86
Confid.	8,67	0,51			

P2F19-75					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	436,8	62,19	21,59	37,4	10,34
2	431,8	54,27	18,30	32,6	8,79
3	450,6	61,54	22,10	37,0	10,28
4	439,2	57,79	19,79	34,7	9,57
5	463,0	54,95	19,97	33,0	9,42
Průměr	444,3	58,15	20,35		9,68
SmOdch	12,5	3,65	1,52		0,65
CV (%)	2,8	6,27	7,48		6,67
Confid.	10,97	3,20			

P2F19-90					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	492,1	36,51	13,27	22,0	6,66
2	480,5	42,20	15,52	25,4	8,02
3	465,5	36,53	14,21	22,0	6,07
4	505,5	44,84	17,91	27,0	8,48
5	506,8	42,29	15,70	25,4	8,42
Průměr	490,1	40,47	15,32		7,53
SmOdch	17,5	3,76	1,76		1,10
CV (%)	3,6	9,29	11,46		14,58
Confid.	15,30	3,30			

Tažnost a pevnost tkaniny dle normy EN ISO 13934-1

P2-19-00					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	688,6	52,70	17,96	31,7	15,07
2	657,7	51,79	18,14	31,1	14,03
3	637,0	52,41	18,96	31,5	13,12
4	656,6	50,62	18,72	30,4	12,88
5	652,3	48,67	18,68	29,3	11,48
Průměr	658,5	51,24	18,49		13,32
SmOdch	18,8	1,64	0,42		1,34
CV (%)	2,8	3,21	2,28		10,07
Confid.	16,44	1,44			

P2-19-15					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	258,8	51,44	22,81	30,9	4,3
2	239,7	49,04	23,07	29,5	3,74
3	228,6	49,87	22,91	30,0	3,55
4	254,1	50,95	25,95	30,6	3,86
5	251,0	53,37	24,42	32,1	4,29
Průměr	246,4	50,93	23,83		3,95
SmOdch	12,2	1,65	1,35		0,34
CV (%)	5,0	3,24	5,67		8,50
Confid.	10,69	1,45			

P2-19-30					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	233,3	74,98	42,92	45,1	4,62
2	246,8	72,85	43,26	43,8	4,61
3	240,5	73,86	43,61	44,4	4,58
4	320,5	81,75	48,17	49,1	6,7
5	214,4	69,37	42,83	41,7	3,75
Průměr	251,1	74,56	44,16		4,85
SmOdch	40,7	4,53	2,26		1,10
CV (%)	16,2	6,08	5,13		22,61
Confid.	35,65	3,97			

P2-19-45					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	354,4	105,85	60,33	63,6	9,41
2	405,4	107,77	61,97	64,7	10,86
3	351,4	102,41	58,32	61,5	8,89
4	371,7	103,28	57,36	62,0	9,78
5	358,9	103,75	59,75	62,3	9,33
Průměr	368,3	104,61	59,55		9,65
SmOdch	22,1	2,17	1,79		0,74
CV (%)	6,0	2,08	3,01		7,71
Confid.	19,37	1,90			

P2-19-60					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	262,4	73,18	40,84	44,0	5,04
2	269,0	74,66	39,72	44,9	5,58
3	273,2	76,99	43,73	46,3	5,44
4	273,6	80,84	43,98	48,6	6,06
5	222,7	69,70	39,15	41,9	4,02
Průměr	260,2	75,07	41,48		5,23
SmOdch	21,4	4,17	2,25		0,77
CV (%)	8,2	5,55	5,42		14,68
Confid.	18,78	3,66			

P2-19-75					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	172,3	53,13	26,39	31,9	2,78
2	156,6	48,70	24,10	29,3	2,29
3	152,6	48,11	26,43	28,9	2,1
4	148,6	46,00	21,83	27,7	2,21
5	167,7	45,90	20,97	27,6	2,47
Průměr	159,6	48,37	23,94		2,37
SmOdch	10,1	2,94	2,52		0,27
CV (%)	6,3	6,08	10,55		11,22
Confid.	8,83	2,58			

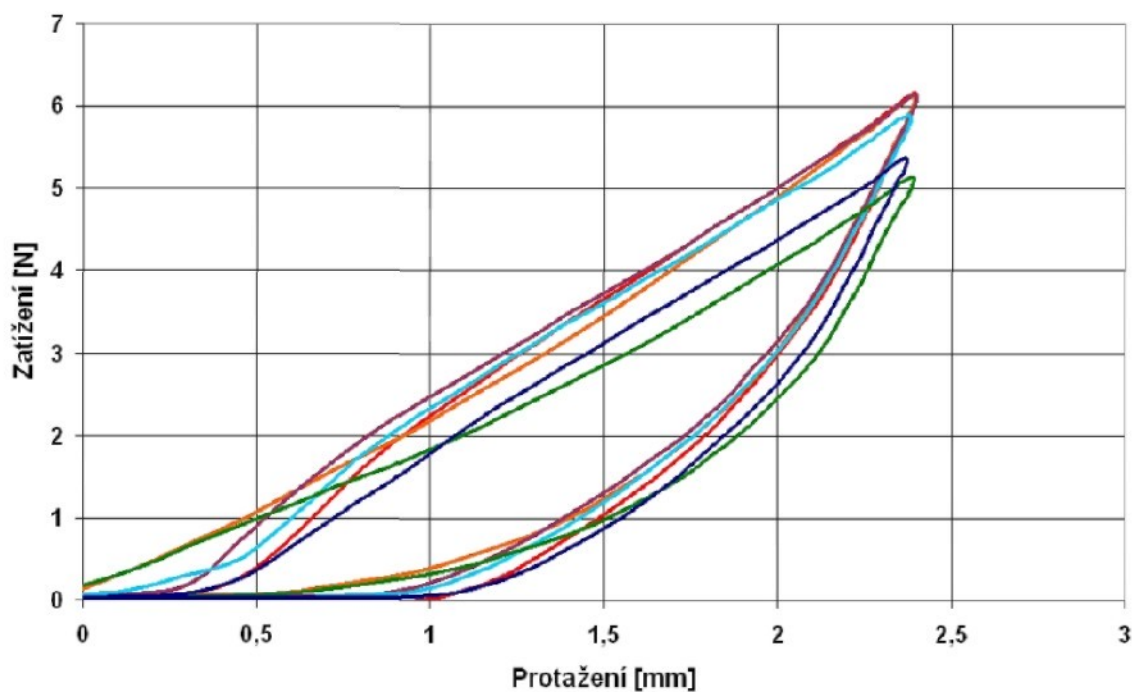
P2-19-90					
	Pevnost	Tažnost	Průsečík	Čas	Energ
	(N)	(mm)	(mm)	(sec)	(J)
1	481,3	51,03	14,14	30,7	11,62
2	481,1	52,78	14,28	31,7	12,11
3	482,7	47,91	13,38	28,8	10,46
4	466,0	47,00	13,89	28,3	9,55
5	449,9	44,63	14,91	26,8	7,82
Průměr	472,2	48,67	14,12		
SmOdch	14,2	3,25	0,56		
CV (%)	3,0	6,67	3,96		
Confid.	12,44	2,85			

Příloha č. 3

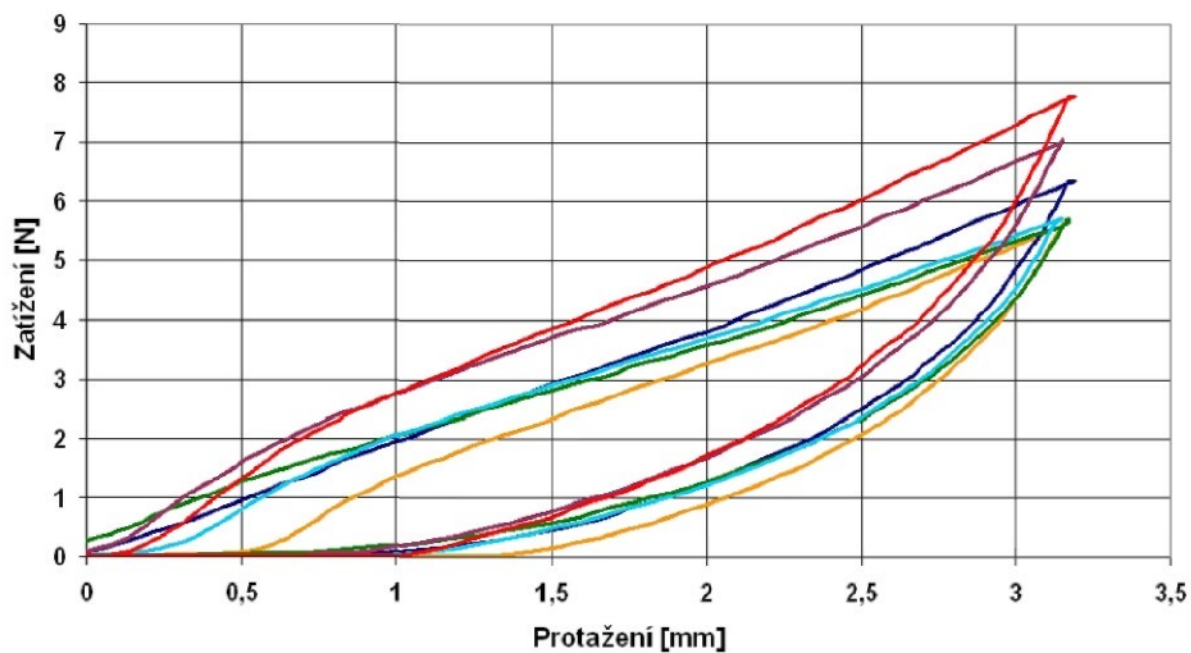
Grafy

Příklad deformačních křivek hystereze při délce cyklu do 10 % tažnosti

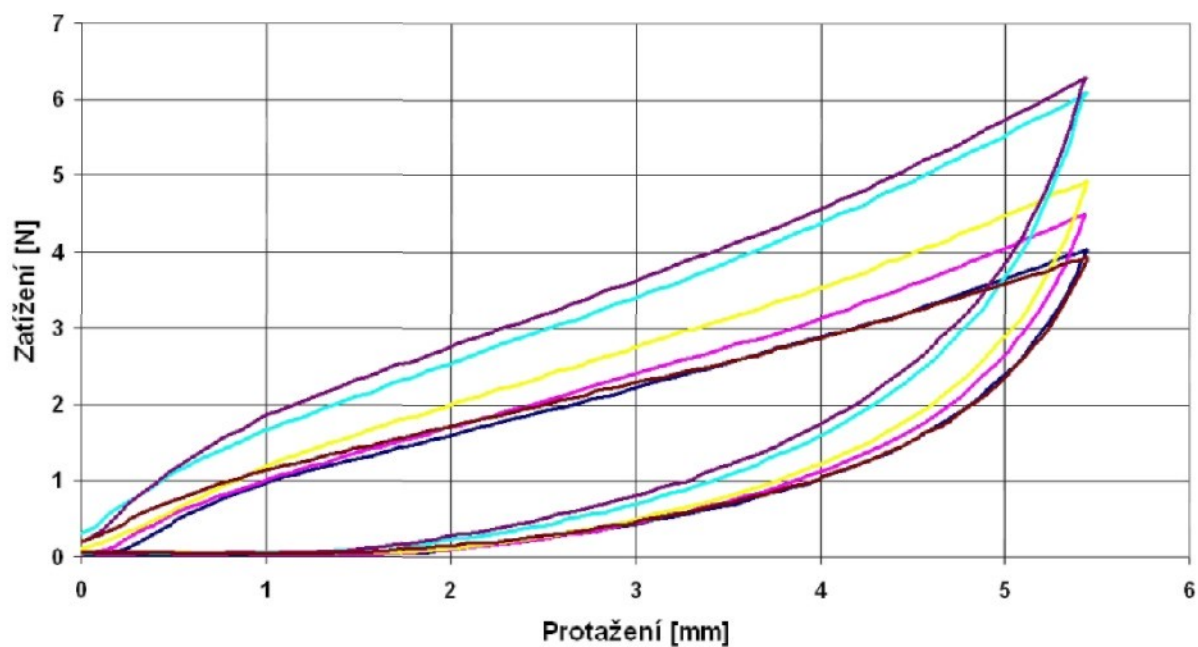
Směr zatěžování – 0°



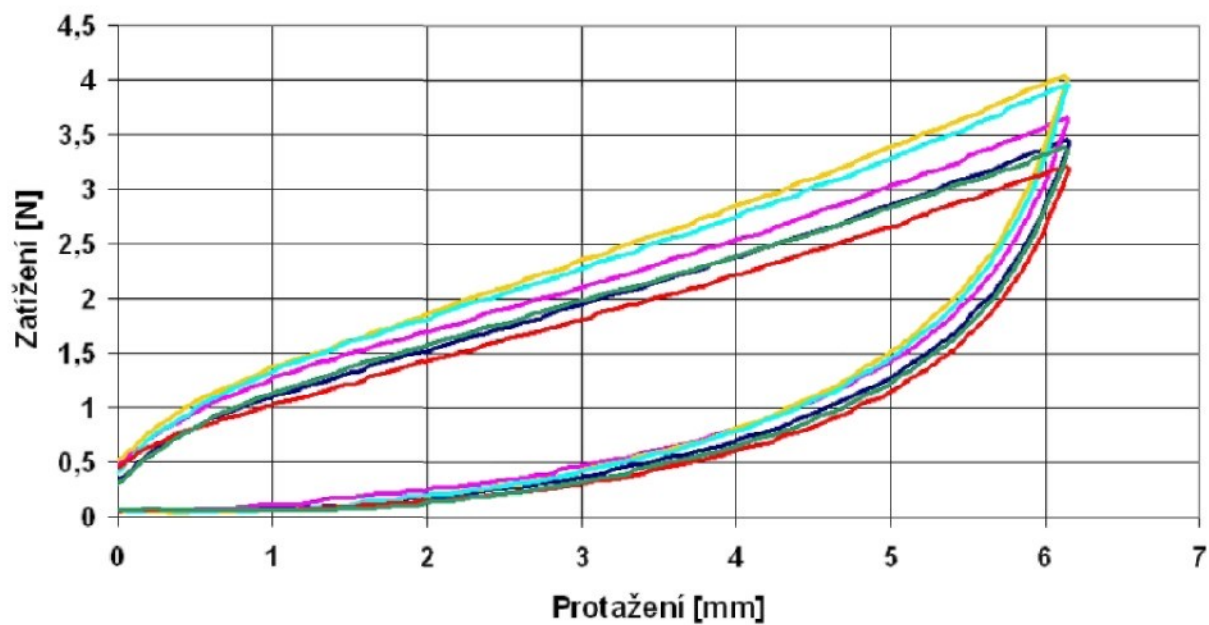
Směr zatěžování – 15°



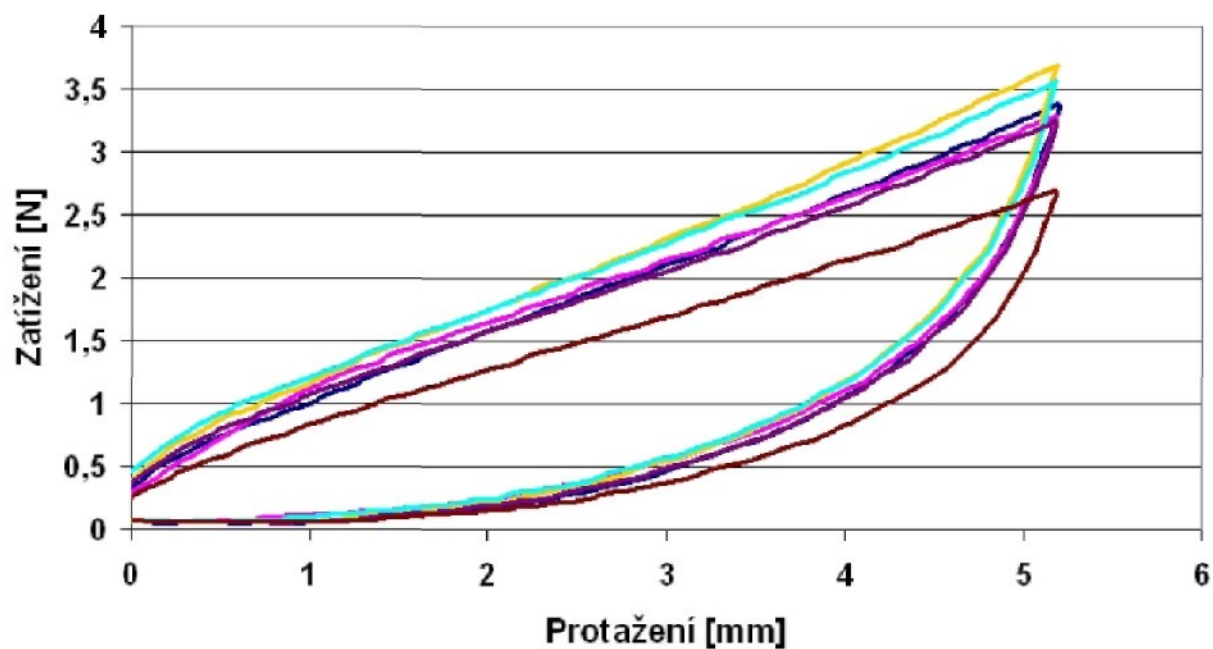
Směr zatěžování – 30°



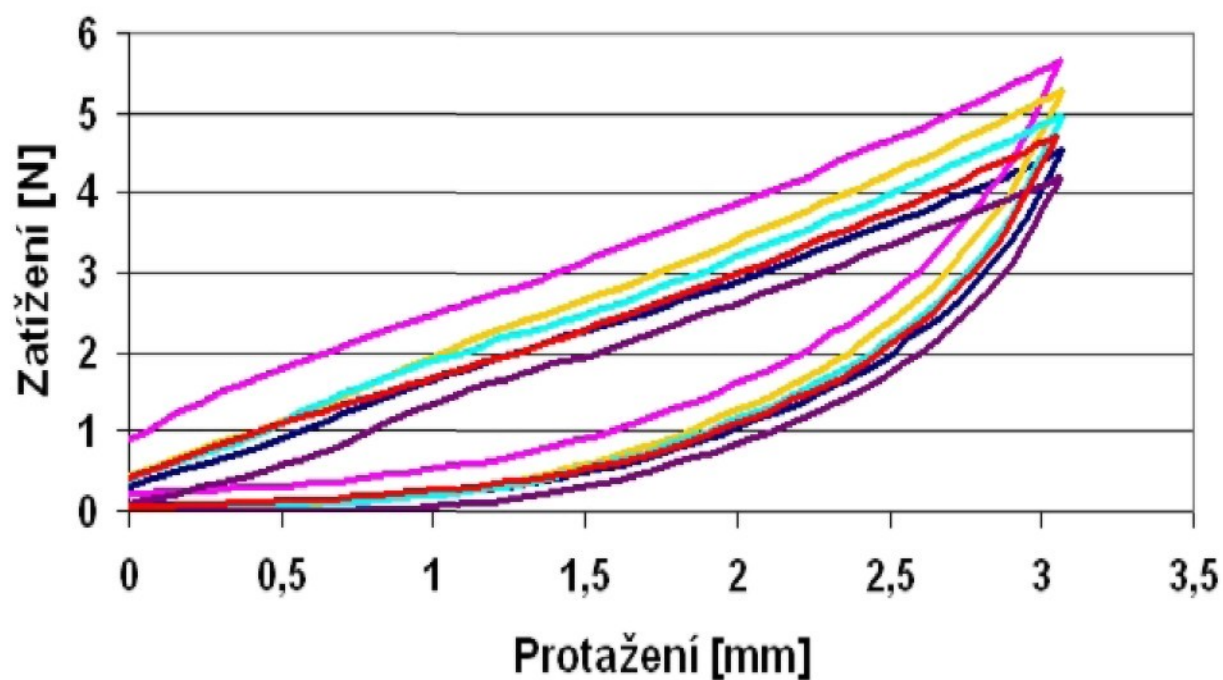
Směr zatěžování – 45°



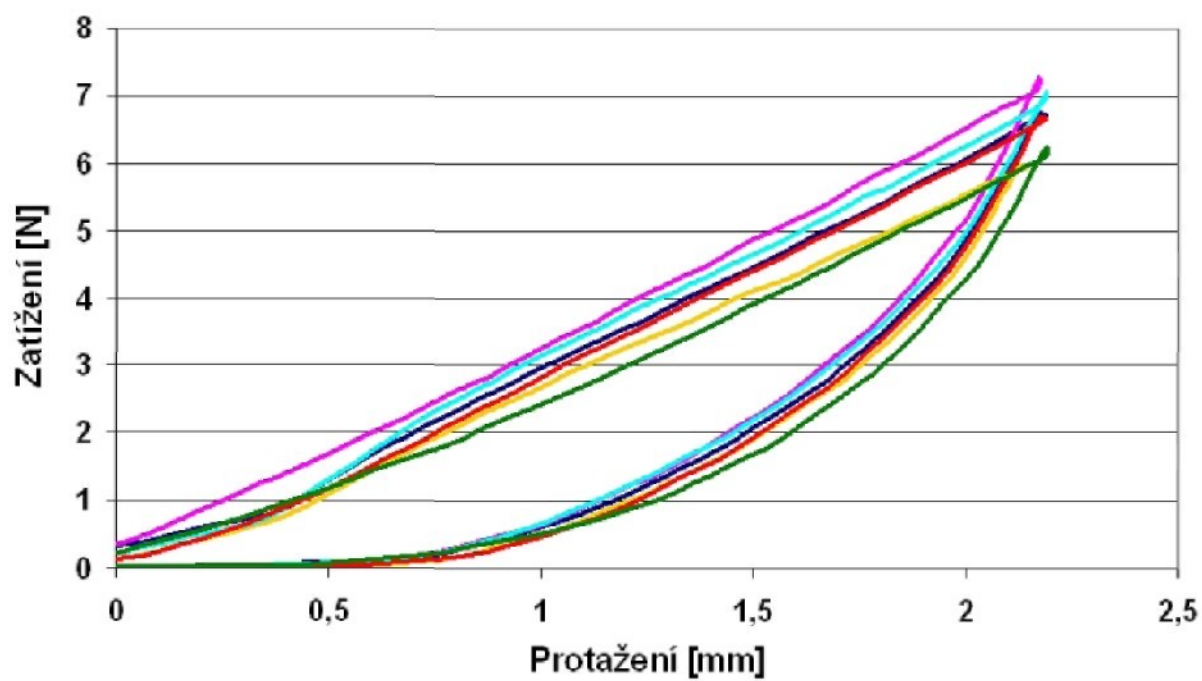
Směr zatěžování – 60°



Směr zatěžování – 75°

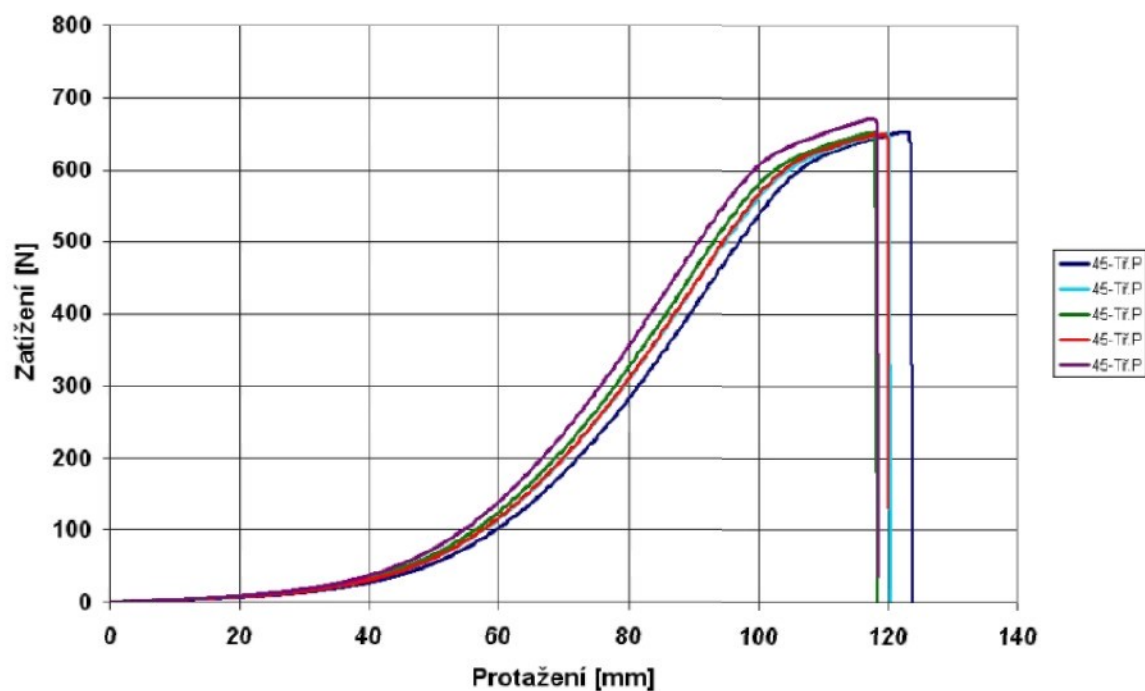


Směr zatěžování – 90°

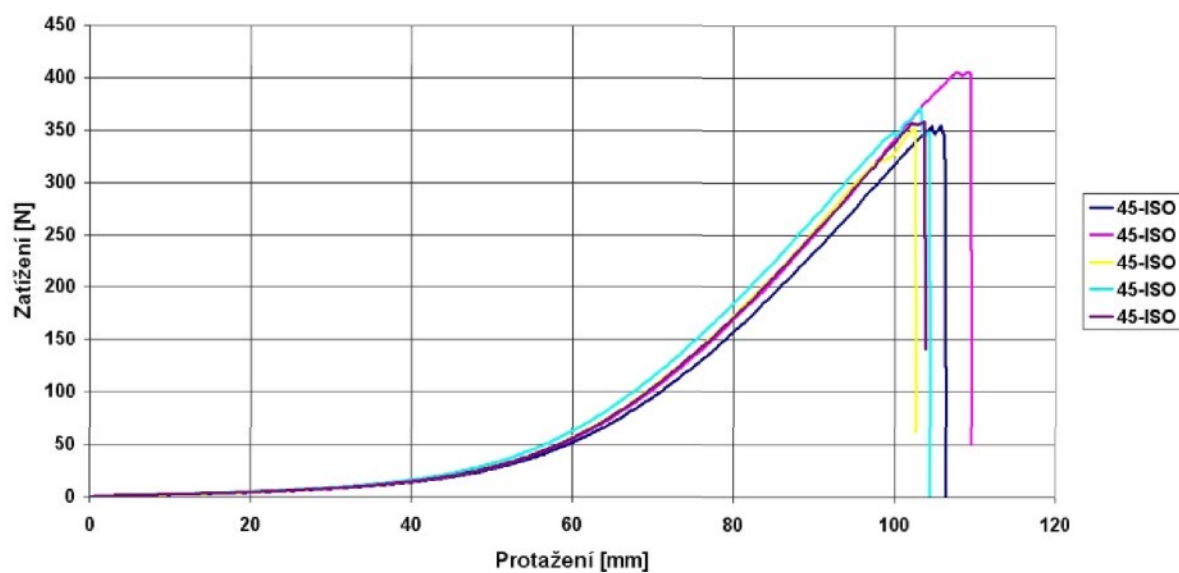


Tahové křivky do přetrhu

S třecím přípravkem



Podle normy EN ISO 13934-1



Tahové křivky ve všech směrech podle normy EN ISO 13934-1

