

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Obor 3126 - 53

Textilní technologie

zaměření: Netkané textilie

Katedra netkaných textilií

**Vliv koncentrace nehořlavých vláken typu „Basofil“ na
snižování hořlavosti a na změny mechanických vlastností
NT z POP vláken.**

**A report on the influence that fire-resistant fibres
(type Basofil) has on flammability, and the changes they
produce in the mechanical properties of POP fibres**

Bc. Kateřina Nováková

Vedoucí práce: RNDr. Bohuslav Charvát

Technická univerzita v Liberci, KNT

Počet stran: 90

Počet obrázků: 23

Počet tabulek: 20

Počet příloh: 1

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Katedra netkaných textilií

Školní rok 2000 -2001

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro Kateřinu NOVÁKOVOU, Bc.
obor 3126 - 53 Textilní technologie, zaměření netkané textilie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Vliv koncentrace nehořlavých vláken typu „Basofil“ na snižování hořlavosti a na změny mechanických vlastností NT z POP vláken**

Zásady pro vypracování :

1. Prostudujte literární prameny o dané tématice.
2. Připravte vzorky příčně a kolmo kladených roun (asi 300 g/m²) s proměnným množstvím Basofilu.
3. Sledujte vliv koncentrace Basofilových vláken na snižování hořlavosti a změny mechanických vlastností NT.
4. Diskutujte výsledky a porovnejte jednotlivé vztahy, komentujte použitelnost směsi a ekonomiku výroby.

V 14/01 T

KNT/NT
89s, 27s. přel.

Rozsah grafických prací: 20 - 40

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 60

Seznam odborné literatury:

1. Buchar, J. a kol.: Zušlechťování SNTL, Praha 1982
2. Militký, J.: textilní vlákna, TU Liberec 1995
3. Košková, B.: Struktura a vlastnosti vláken, VŠŠT Liberec 1989
4. Jambrich, M.: Fyzika vláken, Alfa Bratislava 1987
5. Firemní literatura „Basofil“
6. Stegurová, E.: Využití vláken KYNOL pro omezení hořlavosti netkaných textilií, Diplomová práce KNT 1997
7. Kotišová, R.: Vybrané vlastnosti kolmo kladených textilií, Diplomová práce KNT 1999

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Bohuslav Charvát

Konzultant:

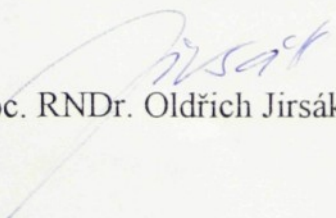
Zadání diplomové práce: 15. 6. 2000

Termín odevzdání diplomové práce: 10. 1. 2001



Vedoucí katedry:

Děkan


Doc. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.


Prof. Ing. Radko Kovář, CSc.

V Liberci dne 15. 9. 2000

ANOTACE

Vliv koncentrace nehořlavých vláken typu Basofil na snižování hořlavosti a na změny mechanických vlastností z POP vláken.

Cílem této práce bylo otestovat nehořlavost kolmo a příčně kladených vzorků z POP vláken s různou koncentrací Basofilových vláken. U těchto vzorků byly rovněž provedeny mechanické zkoušky; u příčně kladených – pevnost v tahu, u kolmo kladených – odpor proti stlačení a trvalá deformace v tlaku. Na základě vyhodnocení těchto zkoušek bylo zjištěno, při jakém obsahu Basofilových vláken ve vlákenné vrstvě je dosaženo optima nehořlavosti a dobrých mechanických vlastností.

ABSTRACT

A report on the influence that fire-resistant fibres (type Basofil) has on flammability, and the changes they produce in the mechanical properties of POP fibres.

The intention of this work was to test the incombustibility of perpendicular and cross-laying samples of POP fibres when they are combined with various concentrations of Basofil fibres. A number of mechanical tests were made using various samples; using cross laying samples to test tensile strength; with perpendicular laying samples to test resistance to both compression and permanent deformation under pressure. Following an evaluation of the test results it was possible to ascertain the necessary concentration of Basofil fibres which have to be present in the fibre strata sample to optimize both incombustibility and the mechanical properties.

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

V Liberci, dne 9.12.2000

Bc. Kateřina Nováková

Bc. Kateřina Nováková

Poděkování

Děkuji p. RNDr. Bohuslavu Charvátovi za spolupráci při výrobě zkušebních vzorků a za odbornou pomoc při zpracování diplomové práce.

Dále děkuji svým rodičům za materiální i duchovní podporu během studia a při psaní diplomové práce.

Obsah:

	str.
Přehled použitých zkratk a symbolů	9
1 ÚVOD	12
2 TEORETICKÁ ČÁST	13
2.1 Proces hoření	13
2.2 Charakteristika jednotlivých fází hoření	13
2.3 Chemické a fyzikální vlivy působící na hořlavost	14
2.3.1 Chemická a fyzikální konstituce vlákna	14
2.3.2 Konstrukce plošné textilie	15
2.3.3 Obsah textilních pomocných prostředků	16
2.3.4 Okolní podmínky požáru	16
2.4 Řešení nehořlavosti textilních materiálů	17
2.4.1 Speciální úpravy	18
2.4.2 Použití nehořlavých vláken	19
2.5 Speciální nehořlavá vlákna	20
2.6 Metody hodnocení odolnosti textilií vůči ohni	29
2.6.1 Vertikální metody	30
2.6.2 Horizontální metody	30
2.6.3 Metody se šikmým uložením vzorku	31
2.6.4 Oblouková metoda	32
2.6.5 Metoda limitního kyslíkového čísla (LOI)	32
2.6.6 Ostatní metody	33
2.7 Mechanicko – fyzikální vlastnosti textilií	33
2.7.1 Fyzikální charakteristiky	33
2.7.2 Mechanické charakteristiky	34
2.7.3 Základní typy zkoušek pro studium mech. vlast.	34
2.8 Teorie stlačení	36
2.8.1 Stlačení objemných textilií	36
2.8.2 Součinitel zaplnění	37
2.8.3 Souvislost mezi stlačením a zaplněním	39
2.9 Statistické charakteristiky	40
2.9.1 Charakteristiky polohy	40
2.9.2 Charakteristiky variability	40
2.9.3 Charakteristiky šikmosti	41
2.9.4 Charakteristiky špičatosti	41
3 VYBRANÉ ZKUŠEBNÍ METODY PRO EXPERIMENT	42

3.1 Stanovení objemové hmotnosti ČSN 80 0845	42
3.2 Stanovení tloušťky ČSN 80 0844	42
3.3 Zkoušení hořlavosti plošných textilií s obsahem syntetických vláken nad 50% ČSN 80 0815	43
3.4 Zjišťování pevnosti v tahu a tažnosti ČSN 80 6133	44
3.5 Stanovení odporu proti stlačení ČSN 64 5441	45
3.6 Stanovení trvalé deformace v tlaku ČSN 64 5442	47
4 EXPERIMENT	50
4.1 Úvod do experimentu a plán experimentu	50
4.2 Příprava vlákenné vrstvy z příčně kladené pavučiny	51
4.2.1 Popis technologie výroby vlákenné vrstvy	51
4.2.2 Parametry výrobních strojů	53
4.2.3 Materiál pro přípravu vzorků	54
4.3 Příprava vlákenné vrstvy z kolmo kladené pavučiny	56
4.3.1 Popis technologie výroby vlákenné vrstvy	56
4.3.2 Parametry výrobních strojů	58
4.3.3 Materiál pro přípravu vzorků	58
4.4 Měření hořlavosti	60
4.5 Měření pevnosti v tahu a tažnosti	62
4.5.1 Popis měření pevnosti v tahu a tažnosti	63
4.6 Měření odporu proti stlačení	64
4.6.1 Popis měření odporu proti stlačení	64
4.7 Měření trvalé deformace v tlaku	70
4.7.1 Postup měření trvalé deformace v tlaku	70
4.8 Statistické zpracování	74
4.8.1 Statistické zpracování hodnot hořlavosti	74
4.8.2 Diskuse zpracovaných výsledků hořlavosti	75
4.8.3 Statistické zpracování hodnot pevnosti v tahu a tažnosti	77
4.8.4 Diskuse výsledků měření pevnosti v tahu a tažnosti	78
4.8.5 Statistické zpracování hodnot odporu proti stlačení	79
4.8.6 Diskuse výsledků měření odporu proti stlačení	80
4.8.7 Statistické zpracování hodnot trvalé deformace v tlaku	83
4.8.8 Diskuse zpracovaných výsledků trvalé deformace v tlaku	84
4.9 Ekonomický rozbor	85
5 ZÁVĚR	86
6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	88

Přehled použitých zkratk a symbolů

aj.	a jiné	
angl.	anglický	
apod.	a podobně	
atd.	a tak dále	
A	plocha povrchu zkušebního tělesa	[mm ²]
CC _{xx}	odpor proti stlačení	[kPa]
d	tloušťka	[m]
D _p	hustota příze	[kg/m ³]
D _v	hustota vláken	[kg/m ³]
E	trvalá deformace v tlaku	[%]
F	síla	[N]
F _{xx}	síla zaznamenaná při 5. zatěž. cyklu při stlačení o xx %	[N]
F _p	plocha řezu přízí	[m ²]
F _v	celková plocha řezů vláken	[m ²]
h	tloušťka jednotlivého vzorku	[mm]
h ₀ = h ₀	výška tělesa před zkouškou; tloušťka nestlačené NT	[mm]
h ₁	výška tělesa po stlačení	[mm]
h _l	nastavená tloušťka stlačení	[mm]
H	hystereze	[%]
H	nastavená vzdálenost čelistí	[mm]
Hč	výška horní čelisti při deformaci vz.	[mm]
K _m	koeficient špičatosti	
L	délka vzorku	[m]
LOI	limitní kyslíkové číslo	
m	hmotnost jednotlivého vzorku	[kg]
m _s	plošná hmotnost	[g/m ²]
m _v	objemová hmotnost	[kg/m ³]
n	počet	

např.	například	
nt	střední hodnota měrné hmotnosti	[kg/m ³]
NT	netkaná textilie	
obr.	obrázek	
P	pórovitost	[%]
PE	polyethylen	
POP	polypropylén	
resp.	respektive	
s	směrodatná odchylka	
s ²	rozptyl	
S	plocha	[m ²]
S	spálená plocha	[cm ²];[%]
S ₁	plocha pod zatěžovací křivkou	[mm ²]
S ₂	plocha v hysterezní smyčce	[mm ²]
Sm	koeficient šikmosti	
T _g	teplota skelného přechodu	[°C]
tj.	to je	
tzn.	to znamená	
tzv.	tak zvaný	
v	variační koeficient	
v _ε	rychlost deformace	[mm/min]
V _{NT}	objem netkané textilie	[m ³]
V _o	objem pórů	[m ³]
V _p	objem příze	[m ³]
V _v	objem vlákna	[m ³]
VV	vlákenná vrstva	
W	šířka vzorku	[m]
x _i	i-tá hodnota	
x _i	hmotový zlomek jednotl. složek	[%]
Xs	aritmetický průměr	
Z	součinitel zaplnění	
Z _p	součinitel zaplnění	
Z _v	součinitel zaplnění	

$\text{tg } \beta$	modul tuhosti	[°]
γ	měrná hmotnost útvaru	[kg/m ³]
ε	deformace	[mm]
μ	zaplnění	
ρ	měrná hmotnost vláken	[kg/m ³]
ρ_i	měrná hmotnost jednotl. složek	[kg/m ³]
σ	normálové napětí	[Pa]
τ	smykové napětí	[Pa]

1 Úvod

Textilní výrobky v nejrůznější podobě, vyrobené z chemických či přírodních vláken, obklopují člověka v každodenním životě. Jako součást životního prostředí plní řadu základních funkcí od potřeb elementárních až k vysoce náročným.

V některých případech však mohou být textilní výrobky pro člověka nebezpečné, a to zvláště pro svou negativní vlastnost - hořlavost. Tím je myšleno chování textilií a textilních výrobků při požárech, kdy mohou působit jako médium, které velmi výrazně přispívá k rozšíření požáru do plochy (např. koberce, potahové a dekorační textilie, přikrývky), do výšky (např. závěsové textilie) a v přímém styku s osobami (oděv, ložní prádlo apod.). Vážné důsledky mohou mít i druhotné jevy, které doprovázejí hoření vláken a mohou být příčinou buď sekundárních požárů, nebo dalších specifických poškození, tj. deformace, odkapávání taveniny, tvorby dýmu a toxických zplodin [1].

Tato práce je zaměřena na úplné, nebo alespoň postačující snížení hořlavosti textilních materiálů, a to zvyšováním obsahu nehořlavých vláken Basofil ve vlákenné směsi s polypropylénovými vlákny, z níž je vyrobena kolmým nebo příčným kladením vlákenná vrstva. Zároveň jsou sledovány změny mechanických vlastností těchto materiálů. Cílem práce je nalézt optimum mezi nehořlavostí a mechanickými vlastnostmi. To znamená vyrobit a vyzkoušet textilií, která bude úplně, nebo téměř nehořlavá, ale bude také vykazovat jisté mechanické vlastnosti v rámci dalšího použití těchto netkaných textilií.

2 Teoretická část

2.1 Proces hoření

Hořením rozumíme souhrn pochodů, které se vyskytují od počátku působení tepelné energie na vlákno na vzduchu až do zhasnutí plamene. Proces hoření je složitá soustava fyzikálně – chemických dějů. Základem procesu je vývoj tepla chemickou reakcí. Teplotní režim v procesu hoření závisí na dvou hlavních faktorech – na rychlosti přívodu a odvodu tepla. Rychlost přívodu tepla určují zákony chemické kinetiky, rychlost odvodu tepla určují fyzikální a mechanické vlastnosti reagující soustavy a okolí. Proces hoření podmiňuje přítomnost tří základních složek – tepla, paliva a kyslíku [2].

2.2 Charakteristika jednotlivých fází hoření

Hoření je možno rozdělit do několika dílčích etap.

1. Reakce do zapálení. Než dojde k zapálení, probíhají při působení tepelné energie ve vlákne většinou endotermické reakce vyžadující různé dávky energie. Jednotlivé typy reakcí nastávají při různých teplotách. Při nízkých teplotách praskají příčné vazby mezi hlavními řetězci, nadmolekulární struktura vláknenných materiálů se stále více a více narušuje. U syntetických vláken je to v oblasti mezi teplotou měknutí a teplotou tání. Při dalším zvyšování teploty dochází k depolymeraci (odbourání řetězce) a přitom vznikají tuhé, kapalné a plynné složky. Rychlost pyrolýzy se zvyšuje se stoupající teplotou. Při zvyšování teploty se mění procentuální složení produktů pyrolýzy v tom smyslu, že vzniká více plyných sloučenin. Čím vyšší je rychlost pyrolýzy, čím nižší je teplota, při níž pyrolýza začíná, a čím více zápalných, lehce těkavých (u kapalných) a plyných produktů pyrolýzy vzniká, tím rychleji nastane zapálení a hoření a obráceně.

2. Zapálení. Při zapálení (endotermický pochod) je nutno rozlišovat mezi zapálením vnějším zápalným zdrojem a samozapálením (samovznícením), resp. teplotou samozapálení (zapálení bez vnějšího zápalného zdroje). Při dosažení této teploty se zapalují hořlavé, plynné zplodiny pyrolýzy.

3. Hoření. Hoření jako reakce látky s kyslíkem je exotermický pochod, který se odehrává za vývoje tepelné energie a světelného záření. Plamen, který vznikl zapálením, hoří po oddálení zápalného zdroje dále, jestliže výdej energie vzniklé spalováním plynných zplodin pyrolýzy je větší než energie potřebná k pyrolýze vláknenného materiálu. Podle průběhu spalování a druhu vláken vznikají kvalitativně a kvantitativně různé, zčásti toxické, plynné sloučeniny, jakož i tuhé produkty odbourání a kouř. Po shoření formou otevřeného ohně – plamene následuje spalování zuhelnatělých zbytků za současného doutnání (oxidace uhlíku na CO, resp. CO₂).

2.3 Chemické a fyzikální vlivy působící na hořlavost

Hořlavost textilních vláken a plošných útvarů z nich vyrobených je závislá na řadě faktorů, které lze rozdělit do 4 skupin:

1. chemická a fyzikální konstituce vláken,
2. konstrukce textilních a plošných útvarů,
3. nános pomocných textilních prostředků,
4. okolní podmínky hoření.

2.3.1 Chemická a fyzikální konstituce vlákna

Záleží na chemickém složení a na podmínkách výroby vláken, jaké množství energie je třeba, aby se uvolnily intramolekulární a intermolekulární energie vazeb a energie příčných vazeb mezi prvky vláknenné struktury (mikrofibrily, fibrily atd.), aby mohla nastat

dezagregace (zahřátí na teplotu tání a tavné teplo). Uvedené souvislosti platí také pro pyrolýzu. Zápalnost a samozapálení závisí na typu vlákenného materiálu a tedy na chemickém složení.

Zápalné a samozápalné teploty různých vláken:

<u>Vlákno</u>	<u>Zápalná teplota (C°)</u>	<u>Samozápalná teplota (C°)</u>
bavlna	350	400
triacetátové	325	490
polypropylenové	375	495
polyesterové	390	508
polyamidové	390	510
polyakrylonitrilové	250	515
vlna	325	590
Kynol	500	614
Nomex	490	675

Chemické složení plynů vznikajících při pyrolýze, resp. hoření, je závislé na chemickém složení vlákenného materiálu. Je to důležité tehdy, odštěpují-li se toxické plyny, protože mohou působit škodlivě na zdraví, zejména při požárech v uzavřených prostorách. Je velmi obtížné analyzovat velký počet vzniklých sloučenin.

2.3.2 Konstrukce plošné textilie

Průběh hoření je do určité míry ovlivňován konstrukcí textilního plošného útvaru. U bavlněných tkanin existuje dobrá korelace mezi plošnou hmotností tkaniny a zápalností (čas od začátku působení zápalného zdroje do vzplanutí). S rostoucí plošnou hmotností vzrůstá tepelná kapacita (součin měrného tepla a hmotnosti plošné textilie), takže při konstantní přiváděné tepelné energii vzrůstá též doba zápalnosti. Tkaniny z PES vláken se chovají jinak. Při nízkých hodnotách plošné hmotnosti (do 150 g/m^2) stačí tepelná energie při odpovídající době působení k tomu, aby vlákno tálo a odkapávalo, než se zapálí a začne hořet. U plošné hmotnosti nad 150 g/m^2 je tepelná kapacita větší, takže

změkknou jenom vnější vrstvy vláken, zatímco vnitřek vláken působí jako nosná kostra. Nedojde tu k tavení a odkapávání, plošná textilie zůstává v oblasti zápalného zdroje, zapálí se a hoří. Tímto způsobem se tkaniny z polyesterových vláken chovají při zapálení odlišně než tkaniny bavlněné [3].

Také rychlost hoření závisí na plošné hmotnosti a na hustotě tkaniny. Čím vyšší je plošná hmotnost a hustota tkaniny, tím nižší je rychlost hoření. Rozhodující je, že se změnou plošné hmotnosti a hustoty tkaniny se mění i přístup vzduchu nutného pro hoření. Jestliže stoupá plošná hmotnost a hustota tkaniny, zmenšuje se vnitřní objem, tj. množství pohlceného vzduchu, propustnost pro vzduch a možnost difúze proudu vzduchu. Tím klesá rychlost hoření.

2.3.3 Obsah textilních pomocných prostředků

Textilní pomocné prostředky aplikované při úpravách na plošných textiliích mohou negativně ovlivnit průběh hoření, při čemž účinek jednoho textilního pomocného prostředku na různých vláknech nemusí být týž. To je třeba mít na paměti tehdy, jestliže se plošné textilie mají nehořlavě upravit a je nutno použít kombinaci s těmito pomocnými prostředky. Textilní pomocné prostředky jsou: změkčovačla, melaminová pryskyřice, polysiloxany, pigmentový tisk apod.

2.3.4 Okolní podmínky požáru

Protože okolní podmínky jsou u každého požáru velmi rozdílné, je velmi obtížné zjistit přesné závislosti. Jenom v laboratorním měřítku je možné zjistit závislosti mezi uspořádáním zkušebního vzorku a rychlostí hoření. Je známa obecná zkušenost, že se zvyšujícím se sklonem vzorku z vodorovné do svislé polohy se zvyšuje také rychlost hoření. Při požáru se bude tudíž chovat jinak

vodorovně ležící koberec než kolmo visící záclona, i když budou pro oba účely použity stejné materiály.

U plošných textilních útvarů zavěšených svisle se vyskytuje tzv. „komínový efekt“, který zvyšuje rychlost hoření. Z uvedeného tedy vyplývá velký význam proudění vzduchu při hoření. Stupeň proudění vzduchu ovlivňuje více či méně kinetiku pochodu hoření. V uzavřeném prostoru může dojít podle stupně působící tepelné energie pouze k odhořívání nebo doutnání. Kromě proudění vzduchu záleží také na obsahu vlhkosti hořících plošných textilií, zda se kouř bude vyvíjet. Čím vyšší je obsah vlhkosti, tím větší je vývin kouře.

2.4 Řešení nehořlavosti textilních materiálů

Existuje řada různých způsobů pro potlačení hořlavosti textilních materiálů. Je několik teorií, které vysvětlují účinek jednotlivých způsobů [3].

1. Teorie ochranné vrstvy: je založena na předpokladu vzniku ochranné vrstvy na povrchu vlákna. Např. anorganické soli se působením tepelného zdroje taví a vytvářejí kolem vlákna ochrannou bariéru, čímž brání přístupu kyslíku k hořlavým podílům rozkladu vlákna.

2. Plynová teorie: obsahuje retardanty, které tvoří plynné produkty při teplotě nižší než je teplota zápalná, nebo produkují plyny, které jsou při teplotě zápalné nehořlavé a zředí ty hořlavé.

3. Termická teorie: jde o retardanty, které prochází endotermickými změnami jako tavení, krystalizace nebo ztráta vody, např. anorganické soli obsahující dostatečné množství krystalické vody a tuto vodu při tepelném nárazu odštěpují, čímž dochází k ochlazení textilie pod teplotu zápalu.

4. Teorie katalytické dehydratace: retardanty způsobují při hoření zuhelnatění a tvorbu vodních par [4].

Technické řešení, jak získat textilní materiály nebo výrobky se sníženou hořlavostí, je možno spatřovat v podstatě ve dvou směrech:

1. speciálními úpravami textilií nebo hotových textilních výrobků,
2. použitím vláken se sníženou hořlavostí.

2.4.1 Speciální úpravy

Pro nehořlavé úpravy se používají organické a anorganické sloučeniny. Počet známých a používaných prostředků je v současné době značný a jsou aplikovány jak podle typu vlákna a textilie, tak podle požadovaného stupně a stálosti úpravy. Přesto, že některými prostředky se dosahují velmi dobré výsledky z hlediska snížení hořlavosti, mají nehořlavé úpravy i některé nevýhody. Je to především otázka snížení pevnosti proužku, v dotržení a oděru, dále pak změna odstínu a brilance u některých barevných odstínů, zhoršení omaku a ohybové tuhosti.

Všeobecně je pak nutno konstatovat, že nehořlavými úpravami je dosahováno příznivých výsledků převážně na textiliích, vyrobených z přírodních materiálů a z celulóзовých chemických vláken [3].

Povrchové úpravy nejsou pevně zafixovány ve struktuře, nýbrž pouze na povrchu, a mohou způsobovat zhoršení některých vlastností. Proto jsou kladeny na přípravky pro nehořlavou úpravu určité požadavky.

Mezi nejdůležitější požadavky patří:

1. dostatečný retardační účinek hoření,
2. stálost úpravy při praní a chemickém čištění,
3. odolnost proti povětrnostním podmínkám,
4. jednoduchá aplikace přípravku,
5. retardant by neměl mít vliv na pevnost materiálu, omak, oděr,
6. retardant nesmí být zdraví škodlivý,

7. při pyrolýze se nesmí uvolňovat toxické plyny [1].

2.4.2 Použití nehořlavých vláken

Druhým základním principem je použití vláken se sníženou hořlavostí. Tato cesta má několik možných variant řešení:

1. přidavkem speciálních přísad – retardérů hoření – do polymerů,
2. chemickou modifikací polymerů,
3. výrobou vláken z nehořlavých polymerů, kopolymerů a jejich směsí.

Ve skupině vláken se sníženou hořlavostí je třeba rozlišovat běžné typy chemických a syntetických vláken, u kterých je přidavkem speciálních látek – retardérů hoření – způsoben zásah do reakčního mechanismu hoření, a dále vlákna připravená z nehořlavých polymerů.

Retardéry hoření, používané k úpravám běžných typů vláken, jsou nejrůznějšího složení. Z fyzikálně chemického hlediska jde o skupinu aditivních a reaktivních retardérů. Aditivní retardéry vytvářejí s taveninou nebo roztokem polymeru pouze mechanickou směs. Reaktivní se mechanicky vážou na makromolekulární řetězec, tj. modifikují jej.

Výhodnějšími jsou reaktivní retardéry, protože se vyznačují vyšší stabilitou účinků, zachováním tepelné odolnosti, zlepšením charakteristik stárnutí a mají i menší plastifikační účinek. Nevýhodou je však jejich větší spotřeba.

Nejvýznamnějšími aditivními retardéry jsou z anorganických – sloučeniny antimonu, z organických – sloučeniny fosforu a halogenů, hlavně estery kyseliny fosforečné. Z reaktivních retardérů jsou nejpoužívanější halogenové uhlovodíky a fosforhalogenové sloučeniny.

Vlákna z nehořlavých polymerů mají vzhledem ke svému charakteru speciální postavení. Jejich vývoj si vynutily některé speciální obory, jako např. kosmický průmysl, raketová technika a

další. Jde o vlákna, u kterých je nehořlavost již primární vlastností použité hmoty [3].

2.5 Speciální nehořlavá vlákna

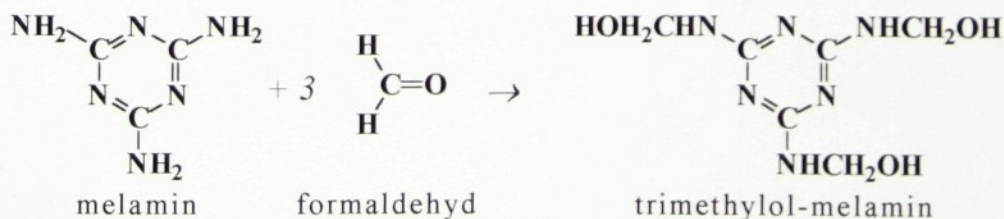
BASOFIL

Basofil je nové ohni a žáruvzdorné vlákno, vyvinuté firmou BASF v roce 1992, na bázi melaminu. Kombinuje dobré žáruvzdorné vlastnosti s vynikající chemickou a hydrolytickou stabilitou. Vláknem může být s úspěchem používáno ve tkaných i netkaných technologiích, kde není požadována vysoká pevnost výsledné textilie. Vláknem lze zpracovávat obvyklými postupy. Mimo to je možné mísit vlákna dohromady s jinými vlákny. Některé směsi poskytují zajímavé synergické efekty, jako např. naprostou nepropustnost textilie vůči odkapávajícímu kovu. Používají se směsi s viskózou, bavlnou, polyestery a aramidy.

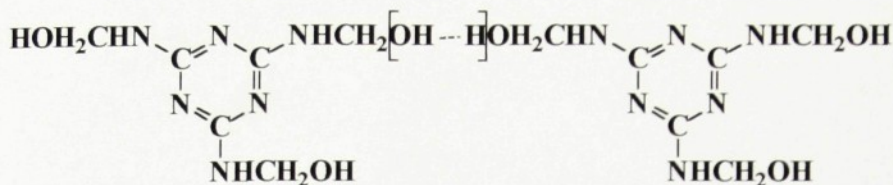
Způsob výroby:

Vlákna Basofil se vyrábějí kondenzační reakcí. Výchozím materiálem je melamin. Ačkoliv melamin je považován za nereaktivní, jeho symetrie a funkčnost ho činí vhodným pro sloučení stavebních jednotek v kondenzačních reakcích s formaldehydem. První formované počáteční produkty jsou trimethylol-melamin, který pak dále reaguje s eliminací vody. Tak se vytváří zesíťená, třírozměrná, amorfnní polymerní struktura s vlastnostmi jako je tvrdost, chemická odolnost a nízká hořlavost.

1.



2.



Typické vlastnosti Basofilu:

Délka vlákna:	20 – 50	mm
Měrná hmotnost:	1,4	g/cm ³
Navlhavost:	4	%
Soudržnost:	2 – 4	cN/dtex
Tažnost:	15 – 20	%
Jemnost:	2,2	dtex
Degradace:	nad 370	°C
LOI:	31 – 33	

- odolnost teplotě 200 – 260 °C, srazí se o pouhé 2 %
- dobře barvitelný
- příjemný omak
- výborné tepelné vlastnosti a odolnost vůči ohni
- dobře pohlcuje UV záření

Aplikace:

- žáru a ohnivzdorné ochranné oděvy
- letadla a hromadná doprava
- horkovzdušná filtrace
- netkaný automobilový průmysl [5]

KYNOL

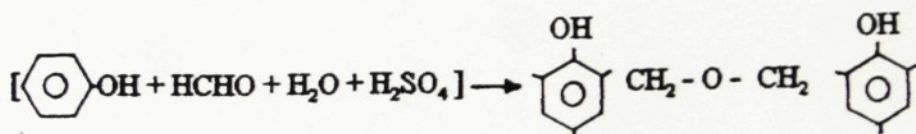
Novoloidová vlákna Kynol jsou vlákna s vynikající odolností vůči ohni a chemikáliím. Jako jediná fenolová vlákna, běžně na trhu dostupná, slouží i jako polotovary pro řadu uhlíkových vlákenných a textilních výrobků a příbuzných materiálů z aktivovaných

uhlíkových vláken s vysokou tepelnou a chemickou odolností a s vynikajícími sorpčními a omakovými vlastnostmi.

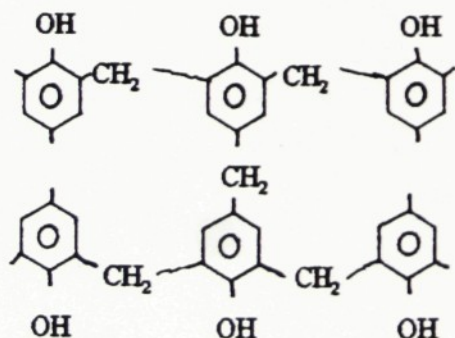
Způsob výroby:

Vlákna Kynol jsou vytvrzená fenol-formaldehdyová vlákna, vyrobená kyselým katalyzovaným zesítním novolakové pryskyřice, zvlákněné v tavenině tak, že aby se vytvořila zcela zesítněná, třírozměrná, amorfni polymerní struktura, která se podobá struktuře teplem tavitelných fenolových pryskyřic. Chemicky obsahují vlákna přibližně 76 % uhlíku, 18 % kyslíku a 6 % vodíku. Vlivem své základní chemické struktury nedají se vlákna Kynol tavit a rozpouštět a mají takové fyzikální a chemické vlastnosti, které je zřetelně odlišují od jiných přírodních a chemických vláken.

1. Tavné zvláknování nízkomolekulárních fenolformaldehdyových pryskyřic



2. Zesítnění formaldehydem v plynné nebo kapalně fázi při 100 - 150 °C



Typické vlastnosti Kynolu:

Délka vlákna:	1 – 100	mm
Měrná hmotnost:	1,27	g/cm ³
Navlhavost:	6 – 7	%
Tažnost:	30 – 60	%
Degradace:	nad 370	°C

LOI:

33

- vysoká odolnost vůči extrémním podmínkám
- příjemný omak
- vysoká absorpce zvuku
- odolné proti γ -záření

Aplikace:

- ochranné oděvy, ochranné bariéry proti ohni
- kabely, optická vlákna [6]

Kromě výše uvedených se vyskytuje řada dalších nehořlavých vláken, které lze rozdělit do dvou skupin: na **keramická** (uhlíková, skleněná, čedičová, křemenná, atd.) a na **polymerní** (aramidová, polyimidová, polybenzimidazoly, polybenzoxazoly, polypyridiny, termotropní směsi aromatických polyesterů, PBT vlákna, PEEK vlákna, PS vlákna, PTO vlákna, atd.).

UHLÍKOVÁ VLÁKNA

Uhlíková vlákna jsou anorganická vlákna, která vznikají pyrolýzou z organických pevných nebo růstem z plynných uhlíkatých sloučenin.

Podle teploty zpracování a výsledné struktury lze uhlíková vlákna dělit na:

- **karbonizovaná uhlíková vlákna** (obsah C 91 – 98%);
- **grafitová uhlíková vlákna** (obsah C 99%).

Uhlíková vlákna v závislosti na způsobu výroby umožňují široké spektrum využití. Podle jejich mechanických vlastností se dělí do čtyř základních skupin:

Vlákna s nízkým modulem (LM) – patří k nejlevnějším typům uhlíkových vláken. Jsou vyráběná z izotropních smol. Jejich pevnost je přibližně 700 MPa a modul pružnosti je 70 GPa.

Vysokopevnostní vlákna (HT) – vyrábějí se převážně z PAN prekurzoru. V posledních letech došlo k prudkému vývoji těchto vláken a tím ke zlepšení parametrů pevnosti až na 7 GPa. Tato vlákna jsou označována jako vlákna vysokotažná, modul pružnosti odpovídá 200 – 360 GPa. Mají nejširší možnosti použití.

Vlákna se středním modulem (IM) – jejich modul leží v rozmezí 250 - 350 GPa.

Vysokomodulová vlákna (HM) – vyrábějí se z PAN prekurzoru a mezofázových smol. Jsou to vlákna, jejichž modul v tahu ve směru osy vlákna má vyšší hodnotu než 30 % hodnoty modulu C_{11} monokrystalu grafitu. Modul pružnosti těchto průmyslově vyráběných vláken se pohybuje v rozmezí 350 – 700 GPa, pevnost od 1,8 do 3 GPa. Tato vlákna jsou používána pro náročnější aplikace v kosmonautice a letectví [7].

SKLENĚNÁ VLÁKNA

Skleněná vlákna mají silikátový základ SiO_2 . Vyrábějí se tažením taveniny směsi oxidů CaO , B_2O_3 , Na_2O , Fe_2O_3 , Al_2O_3 [8]. Lze je rovněž zpracovávat ve formě stříže na mykacích strojích, mokrymi procesy nebo do kompozitů ze směsi skleněná stříž – pryskyřice. Přímou pod tryskou se vyrábějí izolační rohože. Nejdůležitější typy skleněných vláken jsou:

- **E – sklo** (pro elektrotechniku) – dobrá pevnost, tuhost, elektrické vlastnosti, odolnost proti atmosférickým vlivům;
- **C – sklo** (koroziuvzdorné) – vyšší odolnost vůči chemické korozi než E - sklo, ale je dražší a má nižší hodnoty mechanických vlastností;
- **S – sklo** (pro speciální aplikace) – má vyšší Youngův modul než E – sklo, zejména pro letecký průmysl [9].

Typickými užitnými vlastnostmi skleněných vláken jsou nehořlavost, vysoká tepelná odolnost a vysoký modul v tahu. Jako

jeden z mála vlákenných materiálů má vlastnosti izotropní, tj. Youngův modul ve směru osy vlákna má stejnou hodnotu jako ve směru kolmém k ose vlákna [8]. Pevnost vláken silně závisí na zpracovatelských a klimatických podmínkách, klesá při poškození povrchu vláken a ve vlhkém prostředí, v důsledku adsorpce vody na povrchu vláken, což se projeví zejména v kontaktu s minerálními kyselinami. Pevnost a modul jsou teplotně závislé, sklo podléhá statické únavě. Na pevnost má velký vliv poškození vláken při jejich vzájemném tření v procesu výroby. Aby se snížilo toto poškození, používají se šlichty a lubrikace. Ty mají za úkol chránit povrch vlákna před poškozením, vázat vlákna navzájem během zpracování, snížit tření a rovněž mají antistatický účinek [9].

ČEDIČOVÁ VLÁKNA

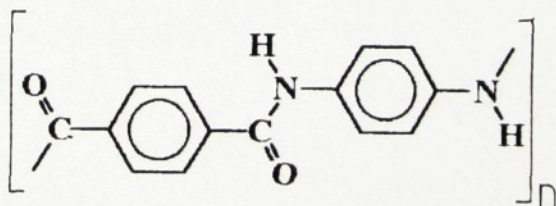
Mají podobné vlastnosti jako skleněná vlákna. Využívají se zejména pro výrobu stavebních tepelně izolačních materiálů.

KŘEMENNÁ VLÁKNA

Vyrábějí se zvlákněním taveniny připravené extrakcí skla. Vlákna jsou složena z čistého křemene a od skleněných vláken se liší podstatně vyšší tepelnou a chemickou odolností, pevností a modulem [10].

ARAMIDOVÁ VLÁKNA

KEVLAR



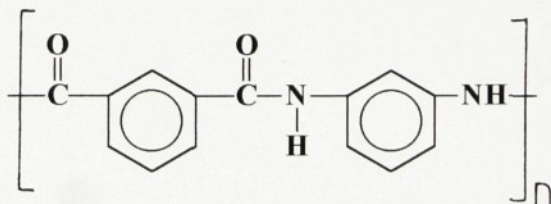
Patří do důležité skupiny vláken s vysokou pevností a tuhostí, s plně napřímeným řetězcem. Jsou to vlákna na bázi aromatického polyamidu (polyparafenylentereftalamid). Aromatický prstenec dává polymernímu řetězci tuhost. Tuhé, neohebné polymerní molekuly jsou napřímeny ve směru rovnoběžném s osou vlákna. Molekuly vytvářejí tuhé, rovinné vrstvy. Molekulové řetězce vázány vodíkovými můstky. Vrstvy jsou uspořádány nad sebou, vykazují krystalické uspořádání, navzájem jsou slabě vázány. Vyrábí se zvlákněním z roztoku a dloužením.

Materiál je silně anizotropní. Ve směru osy vlákna je modul 130 GPa, ale nízký podélný smykový modul a slabé mechanické vlastnosti ve směru příčném. Kevlar má velmi nízkou odolnost vůči axiálnímu tlakovému namáhání a dobrou odolnost vůči vyšším teplotám. Limitní kyslíkové číslo LOI = 31.

Vlákno se nejčastěji vyskytuje ve dvou formách:

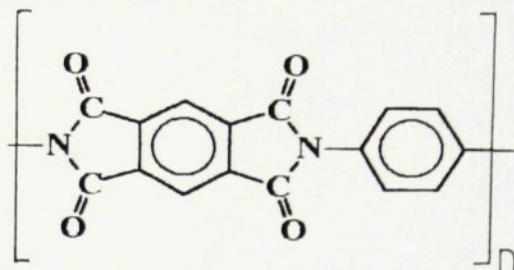
- **Kevlar 29** – vysoká pevnost, střední modul, pro vyztužení pneumatikových kordů
- **Kevlar 49** – vysoká pevnost, vysoký modul, pro špičkové kompozity, pro kosmonautiku [9]

NOMEX

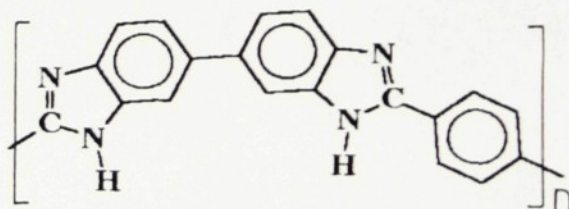


Vlákna se vyrábějí z polymetafenylizoftalamidu. Při teplotě nad 371 °C se Nomex rychle rozkládá, při 260 °C má ještě 60 % relativní pevnosti měřené při normální teplotě. Má pevnost v tahu 700 MPa, modul 18 GPa, limitní kyslíkové číslo LOI = 28.

Použití: kosmická technika, ochranné oděvy, filtry za horka [11].

POLYIMIDOVÁ VLÁKNA

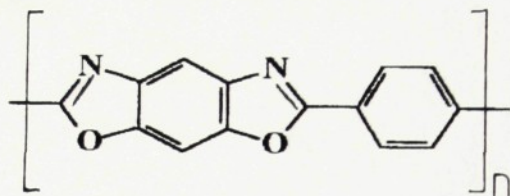
Mají podobné vlastnosti a oblasti využití jako vlákna aramidová. Jsou tvarovatelná, nehořlavá a mají nižší měrnou hmotnost. Rovněž mají neobyčejně dobré mechanické, elektrické a chemické vlastnosti. Jsou nerozpustné v rozpouštědlech a výborně odolávají chemikáliím s výjimkou silných zásad. Při jejich tepelném rozkladu nevznikají toxické látky. Na trhu se objevila později než aramidová vlákna. Mají vysokou teplotu $T_g = 315\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tepelnou odolnost do $260 - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zvláknují se podobně jako aramidy. Lze je použít jako elektroizolaci, k vrstvení, utěšňování, jako ochranné kryty radarových antén, součástky letadel, tepelnou izolaci. $\text{LOI} = 32$.

POLYBENZIMIDAZOLY (PBI)

Polybenzimidazoly jsou sloučeniny žluté až tmavooranžové barvy. Jejich teplota tání je mezi 500 až $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Patří mezi nečetné položebříkové vysoce teplovzdorné polymery, které jsou dobře rozpustné v některých silně polárních rozpouštědlech. Své mechanické vlastnosti zachovávají na vzduchu do $370\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v atmosféře N_2 do $425\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tkaniny z těchto vláken se používají jako brzdicí padák k raketám a k nadzvukovým letadlům. Pro nehořlavost a přijímání vlhkosti se hodí pro výrobu oděvů pro letce a kosmonauty. Zpevní-li se tato tkanina skleněným vláknem, je velice

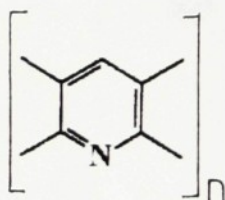
pevná, takže se z ní vyrábějí mimo jiné tepelné štíty kosmických lodí. LOI = 41.

POLYBENZOXAZOLY



Jsou na vzduchu i v atmosféře N_2 do $520\text{ }^{\circ}\text{C}$ stabilní. Při $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ při rozkládání měkne. Je vysoce odolný vůči teplu a hydrolyze. Polybenzoxazoly jsou používány především ve zbrojním a textilním průmyslu.

POLYPYRIDINY (POLYCYKLOAKRYLONITRIL)



Patří mezi nejžárovzdornější vlákna. Získává se z polyakrylonitrilového vlákna druhotnou reakcí při vysoké teplotě dehydrogenační cyklizací. Má různé obchodní názvy: HF-Orlon, Fiber HF, Black Orlon, atd.. Je nerozpustný, má polovodivé vlastnosti a odolává i teplotě červeného žáru. Pro své vlastnosti se uplatňuje jako materiál ohnivzdorných oděvů, jako tepelně izolační materiál v letecké a raketové technice a k filtraci horkých i koncentrovaných kyselin i koncentrovaných hydroxidů. Po krátkou dobu snese bez tání teplotu $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při teplotách nad $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ bez plamene uvolňuje HCN [3].

TERMOTROPNÍ SMĚSI AROMATICKÝCH POLYESTERŮ – LCP polymery

Jsou velice perspektivní a lze očekávat jejich rozsáhlejší používání. Jde o polymery s vysoce tuhými makromolekulami, které i v tavenině polymeru zachovávají uspořádanost na dlouhé vzdálenosti, takže lze hovořit o polymerní tavenině s tekutými krystaly (LCP z angl. „Liquid Crystal Polymer“). Vlákná lze vyrábět přímo z taveniny (jde o tzv. termotropní polymery). Tato vlákna jsou vhodná pro konstrukční aplikace, jednak vzhledem k větší odolnosti proti teplotě, jednak pro přirozenou afinitu k matici [12].

Existují ještě jiná tepelně odolná vlákna jako např.:

PBT vlákna (poly-*p*-fenylénbenzobisthiazol) – dlouhodobé použití při 350 °C,

PEEK vlákna (polyéter-éterketon) – LOI = 28,

PS vlákna (poly-*p*-fenylénsulfid), *Procon* – LOI = 34 – 40,

PTO vlákna (polytereftaloyloxalic – bis – amidazon), *Enkatherm* – LOI = 50 [13].

2.6 Metody hodnocení odolnosti textilií vůči ohni

Se stoupajícími požadavky na nehořlavé vlastnosti textilií se přirozeně zvyšují i nároky na zkušební metody k vyznačování míry hořlavosti. Při vývoji zkušebních metod se musí věnovat velká pozornost reprodukovatelnosti jejich výsledků, musí být co největší shoda podmínek s podmínkami hoření v praxi, resp. je nutno volit podmínky zkoušení tak, aby byla zachována alespoň přibližná korelace.

Pro testování nehořlavosti textilních plošných útvarů se zkušební metody nejčastěji dělí podle způsobu uložení vzorku na vertikální, horizontální, se šikmým uložením vzorku,

s obloukovitým uložením vzorku a na ostatní. Přitom se může hořlavost materiálů hodnotit podle různých kritérií, jako jsou snadnost zapálení, celková doba hoření, rychlost šíření plamene, shořelá plocha, dožeh, popřípadě i množství vyvinutého dýmu a tepla a chování materiálů při hoření, tj. zvláštnosti syntetických materiálů, jako tavení, odkapávání apod..

2.6.1 Vertikální metody

Při této metodě se vzorek upevněný ve vertikální poloze vystaví účinkům zapalujícího zdroje. Nejjednodušší zkouškou byl původně používaný tzv. „zápalkový test“, který se však ukázal jako málo reprodukovatelný a slouží jen pro hrubou orientaci hořlavosti.

Metody stanovení hořlavosti využívající vertikálního způsobu uložení vzorku, patří k nejrozšířenějším a jsou zakotveny v mnoha státních normách.

Lze říci, že jsou hodnoceny jako nejpřísnější způsoby zkoušení hořlavosti materiálů. Příkladem je norma DIN 53 906, kde se volně zavěšený vzorek o rozměrech 15 cm x 2 cm na spodním okraji zapálí pomocí mikrohořáku o určité výšce plamene po dobu 2 sekund. Měří se doba do zhasnutí plamene, resp. dokud plamen nedosáhne horní hrany vzorku, a dále zuhelnatělá plocha.

2.6.2 Horizontální metody

Při horizontálním uložení vzorku jsou velmi mírné podmínky pro provedení zkoušky. Z toho vyplývá, že rychlost šíření plamene je nejnižší, a proto reprodukovatelnost výsledků je dobrá.

U horizontální metody se neuplatňuje žádný komínový efekt, který by u jiných metod byl příčinou zrychlení procesu hoření, a proto podmínky zkoušení nejméně odpovídají praxi. Zapálení se většinou provádí na okraji zkoušeného vzorku různými zapalovacími zdroji.

Představitelem tohoto způsobu hodnocení je DIN 53 907, zavedená v Německu. Princip zkoušky spočívá v tom, že vzorek textilie se upne do rámečku a ve vodorovné poloze se vloží do zkušebního přístroje. Zapálení se provádí zespodu mikrohořákem s definovaným plamenem pod dobu 30 sekund. Při zkoušce se měří doba hoření, dožeh a zuhelnatělá plocha. Existuje spousta příbuzných norem v USA, Japonsku, v Polsku a jiných státech.

2.6.3 Metody se šikmým uložením vzorku

Reprodukovatelnost těchto metod je u snadněji vznětlivých a hořlavých textilií se zřetelem na rychlost šíření plamene lepší.

Zkušební vzorek se zapaluje ponejvíce pod úhlem 45° a 60°. Metoda se vyvinula jako kompromisní řešení metody vertikální a horizontální a měla zpočátku za cíl zachytit jedinou zkouškou zápalnost i rychlost šíření plamene, zejména u snadno hořlavých tkanin.

Do této skupiny metod patří i ČSN 80 0824, používající úhel sklonu testované textilie 45°. Princip měření spočívá v tom, že vzorek textilie 5 x 15 cm se upevní na speciální rámeček a vloží do přístroje Pyrostop. Vzorek se na spodním okraji zapálí mikrohořákem o délce plamene 4 cm (doba zapalování se řídí plošnou hmotností tkaniny od 4 do 14 s). Hodnocení se provádí podle délky ohořelého vzorku. Podle této ČSN 80 0824 lze měřit ve vertikální poloze tzv. odolnost proti tepelné destrukci.

Ke kladu této metody patří jednoduchost provedení, nízká spotřeba materiálu a dobrá reprodukovatelnost. Tato norma platí pro plošné textilie, vyrobené z vláken přírodních, chemických a jejich směsí s maximálním obsahem syntetických vláken 20%.

Zkoušením hořlavosti plošných textilií s obsahem syntetických vláken nad 50% se zabývá ČSN 80 0815. Vzorek 450 mm x 150 mm se upne do rámečku šíře 75 mm tak, aby vzniklo prověšení, které je důležité vzhledem k rozměrové deformaci. Rámeček se vzorkem se upevní v přístroji v poloze 45° od svislice.

Přístroj se uzavře a zapálený mikrohořák se zasune pod vzorek tak, aby vzdálenost ústí mikrohořáku od spodního okraje vzorku byla 20 mm a prodloužená osa plamene byla totožná s podélnou osou vzorku. Doba zapalování: 6 s pro textilie s plošnou hmotností do 140 g/m^2 a 9 s pro textilie s plošnou hmotností nad 140 g/m^2 . Hodnotí se velikost spálené plochy.

2.6.4 Oblouková metoda

Tato metoda vychází z poznatku, že určitá tkanina hoří v různé poloze různou rychlostí. Jde o zkoušení vzorku upnutého na půlobloukovém držáku, který se na jednom konci vystaví plameni hořáku tvaru podélné hrany. Příkladem je norma DIN 54 331, kde je doba trvání zkoušky 15 s. Na stupnici se odečítá úhel, do kterého zkouška prohořela, při současném zjištění doby hoření. Metodu lze použít pro všechny plošné textilie.

2.6.5 Metoda limitního kyslíkového čísla (LOI)

Tato metoda je založena na principu změny koncentrace kyslíku ve směsi kyslík-dusík, která proudí konstantní rychlostí okolo hořícího vzorku umístěného ve skleněném válci. Vzorek se shora zapálí hořákem a hledá se minimální koncentrace kyslíku ve směsi $\text{O}_2 + \text{N}_2$, které je třeba k tomu, aby vzorek ještě hořel. Tato směs plynů pak určuje LOI a je i mírou hořlavosti daného materiálu.

Materiály s kyslíkovým číslem vyšším než 27 je možno považovat za nehořlavé, vysoce hořlavé materiály mají kyslíkové číslo 15 až 18. Metoda LOI je velmi přesná, poměrně jednoduchá, dobře použitelná pro různé typy materiálů, jako jsou plasty, vlákna, textilie apod., u nichž chceme velmi přesně rozlišit nehořlavý efekt.

2.6.6 Ostatní metody

Kromě popsaných hlavních metod zkoušení hořlavosti textilních plošných útvarů existuje mnoho různých metod, určených pro speciální materiály, jako např. podlahové krytiny. Mezi tyto metody patří: metoda malého hořáku, tabletkový test, cigaretový test [3].

2.7 Mechanicko – fyzikální vlastnosti textilií

Mechanické vlastnosti popisují schopnost těles změnit tvar a případně i objem (tj. deformovat se) v důsledku působení vnějších mechanických sil. Vnější síla vyvolá v tělese napětí σ , což vede ke vzniku odpovídající deformace ε . Matematicky lze napětí vyjádřit vztahem $\sigma = F/S$, jestliže je rozložení síly F v ploše namáhaného průřezu S rovnoměrné. Pokud je vztahujeme na počáteční plochu průřezu (tj. před namáháním), hovoříme o konvenčním napětí. Jestliže je vztahujeme na skutečnou plochu průřezu (po deformaci), pak je nazýváme skutečné napětí. V namáhaném průřezu působí obecně 2 druhy napětí: normálové napětí σ , působící kolmo na plochu průřezu a v rovině plochy průřezu působí smykové napětí τ .

2.7.1 Fyzikální charakteristiky

Odpor materiálu proti deformaci charakterizuje *modul*, obecně definovaný jako poměr aplikovaného napětí a vzniklé deformace, tj. σ/ε . V různých typech mechanických zkoušek lze stanovit různé moduly, např. modul v tahu, modul ve smyku, relaxační modul, apod.. Čím je daný modul látky vyšší, tím vyššího napětí je třeba k dosažení dané deformace.

Inverzní veličinou k modulu je *poddajnost*, která charakterizuje schopnost materiálu deformovat se za daných podmínek. Je definována jako poměr vzniklé deformace a

aplikovaného napětí, tj. ε/σ . V závislosti na druhu experimentu a způsobu namáhání můžeme stanovit např. poddajnost v tahu, ve smyku, křipovou poddajnost, apod.. Čím větší má látka poddajnost, tím více se při stejně velkém napětí deformuje.

Pevnost materiálu je definována jako největší konvenční napětí, které způsobí rozdělení materiálu na dvě části.

Tažnost je největší protažení, kterého je dosaženo při přetrhu vzorku.

Modul, poddajnost, pevnost a tažnost lze považovat za základní fyzikální charakteristiky.

2.7.2 Mechanické charakteristiky

1. *Podle účinku vnějších sil* dělíme mechanické vlastnosti na:

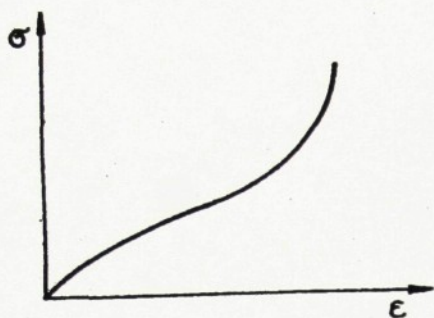
- a) deformační - elastické, viskoelastické, plastické, které popisují průběh deformace materiálu,
- b) destrukční (např. pevnost, odolnost v oděru), jež popisují mechanické porušení (destrukci) materiálu.

2. *Podle časového režimu namáhání* dělíme vlastnosti na statické a dynamické. U statických vlastností se velikost podnětu v čase nemění a u dynamických vlastností se velikost podnětu v čase mění, buď periodicky nebo neperiodicky.

2.7.3 Základní typy zkoušek pro studium mechanických vlastností

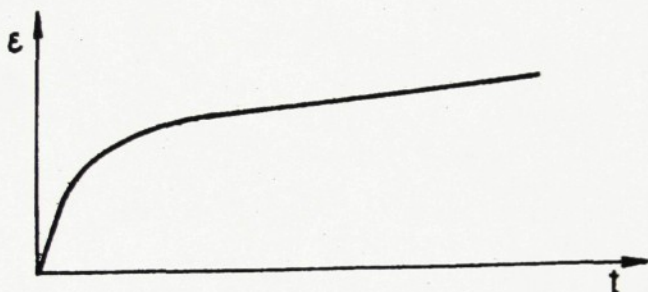
Při stálosti struktury polymerního materiálu a neproměnnosti vnějších podmínek (způsobu upnutí a namáhání, časového režimu namáhání, teploty, tlaku a vlhkosti) se v experimentech mohou měnit tři veličiny: napětí σ , deformace ε a rychlost deformace v_ε . Podle toho, kterou z těchto tří proměnných držíme během zkoušky na konstantní hodnotě, rozlišujeme:

- a) zkoušky s konstantní deformační rychlostí ($v_\varepsilon = \text{konst.}$),



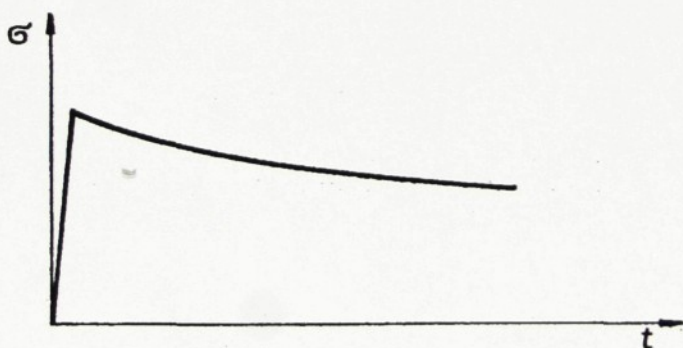
Obrázek 1: Pracovní křivka

b) zkoušky s konstantním napětím (křipové zkoušky, $\sigma = \text{konst.}$)



Obrázek 2: Křipová křivka

c) zkoušky s konstantní deformací (relaxace napětí, $\epsilon = \text{konst.}$)



Obrázek 3: Relaxační křivka

[14]

2.8 Teorie stlačení

2.8.1 Stlačení objemných textilií

Stlačování vlákenného materiálu je základní součást dějů, které probíhají nejen v mechanické textilní technologii, ale i při používání textilních výrobků. Touto problematikou se zabývala již řada autorů. Výsledkem byly většinou práce rozebírající stlačování masy vláken s nahodilou orientací (Wyk, Komori, Itoh), či stlačování idealizované soustavy ohybově namáhaných vláken (Neckář, Lee, Carnaby). Avšak objemné, kolmo kladené netkané textilie se od těchto zkoumaných soustav podstatně liší. Určité množství vláken je v kolmo kladené textilii namáháno nikoli na ohyb, ale na vzpěr, čímž se celý problém stává problematičtější a ne zcela objasněným.

Obecně lze říci, že proces stlačení vlákenné hmoty je silně ovlivněn charakterem rozložení vláken ve hmotě, tvaru vláken a jejich mechanickými vlastnostmi. Při vysokých tlacích je provázený změnou mechanismu deformace a vznikem některých průvodních jevů. Tyto doprovodné jevy souvisí s pružností (například stlačení vláken v místech kontaktů, napnutí vláken, aj.). Při stlačení dochází k deformaci, která je složena z deformace elastické, viskoelastické a plastické.

Elastická (Hookeovská) deformace charakterizuje schopnost vlákenné vrstvy obnovit svůj objem okamžitě po odlehčení. Je dokonale vratná a u textilních vláken se prakticky nevyskytuje.

Viskoelastická deformace je deformace časově zpožděná za podnětem. V průběhu doby zatížení narůstá, po odlehčení postupně, v závislosti na čase, mizí. V principu je dokonale vratná. Doba návratu do původního, nedeformovaného stavu, však může být u některých polymerů velmi dlouhá.

Plastická deformace je časově závislá a dokonale nevratná [15].

2.8.2 Součinitel zaplnění

Hustota vláken ve vlákenném útvaru se ve starších pracích charakterizuje měrnou hmotností útvaru γ . Čím je útvar poréznější, tím menší je jeho hmotnost. Vedle pórovitosti je však měrná hmotnost γ závislá na měrné hmotnosti vláken ρ . Hodnoty tak nejsou pro různé materiály souměřitelné.

Proto byla navržena veličina vyjadřující podíl celkového prostoru útvaru zaplněného objemem vláken. Užívá se pro ni název *zaplnění*. Zaplnění je bezrozměrná veličina ležící v intervalu $< 0,1 >$. Původně byl tento pojem chápán plošně, jako poměr součtu ploch řezů vlákny k celkové ploše řezu přízí.

$$\mu = F_v / F_p \quad (1)$$

μ	součinitel zaplnění	
F_v	celková plocha řezů vlákny	$[m^2]$
F_p	plocha řezu přízí	$[m^2]$

V prostorové verzi se jedná o porovnání hustoty příze a vláken, tedy:

$$Z_p = D_p / D_v \quad (2)$$

Z_p	součinitel zaplnění	
D_p	hustota příze	$[kg/m^3]$
D_v	hustota vláken	$[kg/m^3]$

Tento vztah je již blízký použití i pro nelineární útvary, kde součinitel zaplnění je definován pomocí poměru objemu vláken a přízí.

$$Z_v = V_v / V_p \quad (3)$$

Z_v	součinitel zaplnění	
V_v	objem vlákna	$[m^3]$
V_p	objem příze	$[m^3]$

Uvažujeme-li místo objemu příze objem NT, značený V_{NT} , je zřejmá souvislost součinitele zaplnění a pórovitosti.

$$V_{NT} = V_v + V_o \quad (4)$$

$$P = V_o / V_{NT} * 100 \quad (5)$$

V_{NT}	objem NT	$[m^3]$
V_o	objem pórů	$[m^3]$
V_v	objem vláken	$[m^3]$
P	pórovitost	$[\%]$

Potom součinitel zaplnění je:

$$Z = V_v / V_{NT} = 1 - p / 100 \quad (6)$$

Pro plošné textilie je pak možno při určování součinitele zaplnění vycházet ze zjištěných hodnot objemové hmotnosti a hustoty vláken, případně pojiva.

$$Z = m_v / \rho_v = m_s / d \quad (7)$$

m_v	objemová hmotnost	$[kg/m^3]$
ρ_v	hustota vláken	$[kg/m^3]$
m_s	plošná hmotnost	$[kg/m^2]$
d	tloušťka	$[m]$

Obsahuje-li textilie více složek (směsová příze, pojená textilie, atd.), je nutno měrnou hmotnost vláken ve výpočtovém

vztahu nahradit střední měrnou hmotností složek, které jsou v textilií obsaženy:

$$nt = \sum_{i=1}^n \rho_i * x_i \quad (8)$$

nt	střední hodnota měrné hmotnosti NT	[kg/m ³]
ρ_i	měrná hodnota jednotlivých složek	[kg/m ³]
x_i	hmotnostní zlomek jednotlivých složek	[%]

Pro malé nároky na přístrojové vybavení při stanovování se jeví součinitel zaplnění zatím jako nejvhodnější parametr struktury, použitelný v širokém měřítku i v průmyslu.

2.8.3 Souvislost mezi stlačením a zaplněním

Zaplnění charakterizuje hustotu vláken ve vlákenném útvaru a vyjadřuje podíl celkového prostoru útvaru, který je zaplněn objemem vláken. Vlákná ve vlákenném útvaru jsou buď směrově uspořádaná nebo mohou být uložena v různých směrech. Vlákná se vzájemně dotýkají a v místech dotyku vzniká kontakt schopný přenosu sil a energií. Hustota kontaktů je dána vlastnostmi vláken a vlastnostmi jimi vytvořené struktury. Tyto kontakty mají svůj význam pro zajištění potřebné pružnosti a odolnosti NT vůči opakovanému stlačování [15].

Každý materiál se nestlačuje na stejnou hodnotu tloušťky. Některé materiály lze stlačit až na setinu původní tloušťky, některé pouze na desetinu. Odpor proti stlačení lze ovlivnit volbou technologie a vláken ve směsi, jakožto složky zajišťující odpor proti stlačování. Zotavovací schopnost závisí na struktuře textlie, deformačních vlastnostech vláken apod..

2.9 Statistické charakteristiky

Pro statistické vyhodnocení získaných dat budou využity charakteristiky polohy a variability.

2.9.1 Charakteristiky polohy

Udávají jakýsi střed (úroveň) celé skupiny údajů, kolem kterého všechny hodnoty kolísají (analogie tělesa).

Aritmetický průměr $\bar{x}$ = X_s – je definován jako součet všech hodnot znaku dělený jejich počtem. Vyjádřeno vzorcem:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (9)$$

2.9.2 Charakteristiky variability

Udávají koncentraci nebo rozptýlení (variabilitu) hodnot, kolem zvoleného středu skupiny.

Rozptyl s^2 – je definován jako součet kvadratických odchylek od průměru dělený rozsahem výběru zmenšeným o 1. Vyjádřeno vzorcem:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

Rozptyl a jeho druhá odmocnina (směrodatná odchylka) se používají jako určité kritérium, jak moc se dá věřit, či nevěřit průměru. Malé hodnoty rozptylu zvyšují význam průměru, velké hodnoty znamenají, že hodnoty znaku mají vysokou variabilitu.

Směrodatná odchylka s – je odmocninou rozptylu, používá se pro charakterizování variability, platí o ní to, co o rozptylu.

Variační koeficient v – slouží k měření relativní variability. Je definován jako podíl směrodatné odchylky a průměru.

$$v = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad (11)$$

Využívá se jej také pro porovnání variability znaků měřených v odlišných měrných jednotkách.

2.9.3 Charakteristiky šikmosti

Popisují, zda jsou hodnoty kolem zvoleného středu rozloženy souměrně, nebo je-li rozdělení hodnot sešikmeno (na jedné straně). V případě symetrického rozdělení jsou rovny nule.

Koeficient šikmosti S_m – je definován podle vztahu:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{S^3} \quad (12)$$

2.9.4 Charakteristiky špičatosti

Udávají jaký průběh má (graf) rozdělení hodnot kolem zvoleného středu (rozdělení). Čím je špičatější, tím víc jsou hodnoty soustředěny kolem daného středu rozdělení. Na druhou stranu rozdělení s nízkou špičatostí často obsahuje hodnoty velmi vzdálené od středu rozdělení.

Koeficient špičatosti K_m – je definován podle vztahu:

$$K_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^4}{S^4} \quad (13)$$

[16]

3 Vybrané zkušební metody pro experiment

3.1 Stanovení objemové hmotnosti ČSN 80 0845

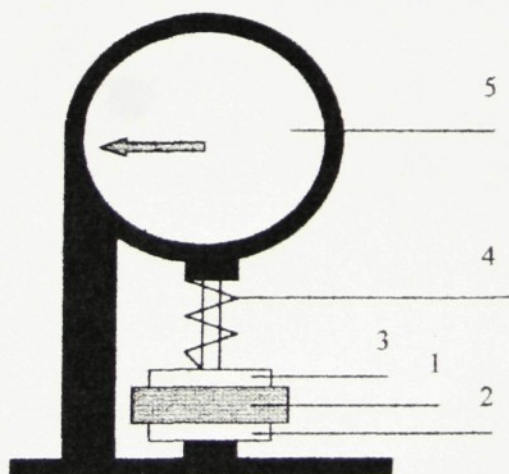
Objemová hmotnost jednotlivého vzorku (m_v) se vyjadřuje v kg/m^3 a vypočítá dle vzorce:

$$m_v = m / (L * W * d) \quad (14)$$

m	hmotnost jednotlivého vzorku	[kg]	
L	délka vzorku	[m]	
W	šířka vzorku	[m]	
d	tloušťka jednotlivého vzorku	[m]	[17]

3.2 Stanovení tloušťky ČSN 80 0844

Tloušťka plošné textilie v mm je vzdálenost mezi lícovou a rubovou stranou textilie, nacházející se mezi dvěma rovnoběžnými deskami pod stanoveným tlakem [18]. K měření byl použit přístroj na obrázku 4. Vzorky byly proměřeny náhodně po celé ploše. Výsledná hodnota vznikla zprůměrováním naměřených hodnot.



Obrázek 4: Přístroj pro měření tloušťky textilie

(plocha 10 cm², tlak 5 kPa)

Legenda k obrázku č. 4:

- 1 – měřená NT , 2 – spodní čelist, 3 – horní přítlačná čelist,
4 – pružina zajišťující předpětí horní čelisti, 5 - stupnice

Pozn.: U kolmo kladených vzorků bylo k měření tloušťky použito posuvného měřítka.

3.3 Zkoušení hořlavosti plošných textilií s obsahem syntetických vláken nad 50 % ČSN 80 0815

Podstata zkoušky:

Vzorek plošné textilie se vystaví působení přímého plamene a posuzuje se vyhořelá plocha vzorku.

Zkušební zařízení:

Přístroj se napojí na přívod propan butanu. Po zapálení mikrohořáku a jeho hoření nejméně 60 sekund se regulačním ventilem seřídí celková výška plamene na 40 mm. Výška plamene se kontroluje před každou zkouškou.

Zkušební vzorky:

Pro hodnocení plošných textilií shodné konstrukce na lici i na rubu se připraví 5 elementárních vzorků v podélném směru a 5 vzorků v příčném směru o rozměrech 450 x 150 mm. Uprostřed každého elementárního vzorku se vyznačí po celé délce pruh široký 95 mm.

Postup zkoušky:

Elementární vzorek se upne do rámečku šíře 75 mm tak, aby okraje vyznačeného pruhu se kryly s vnitřními okraji rámečku. Vzniklé prověšení je důležité vzhledem k rozměrové deformaci, ke které dochází z důvodu termoplasticity syntetických materiálů při vyšších teplotách.

Rámeček se vzorkem se upevní v přístroji v poloze 45° od svislice, přístroj se uzavře a zapálený mikrohořák upevněný

v poloze 45° od svislice se zasune pod vzorek tak, aby vzdálenost ústí mikrohořáku od spodního okraje vzorku byla 20 mm a prodloužená osa plamene byla totožná s podélnou osou vzorku. Doba zapalování: 6 s – textilie s plošnou hmotností do 140 g/m^2 , 9 s – pro textilie s plošnou hmotností nad 140 g/m^2 .

Vyhodnocení:

Hodnotí se velikost spálené plochy v cm^2 [19].

3.4 Zjišťování pevnosti v tahu a tažnosti ČSN 80 6133

Podstata zkoušky:

Působí se zatížením v podélném směru ke zkušebnímu vzorku stanovené délky a šířky při konstantním přírůstku prodloužení.

Zkušební zařízení:

Trhací přístroj s konstantním přírůstkem prodloužení, vybavený registračním zařízením pro záznam hodnot použitého zatížení a vzdálenosti svorek (INSTRON 4411).

Zkušební vzorky:

Odebere se 5 zkušebních vzorků v podélném směru a 5 v příčném směru o šířce $50(\pm 0,5)$ mm a dostatečné délce, která umožní, aby vzdálenost svorek byla 200 mm. V tomto případě byla zvolena délka zkušebních vzorků 230 mm.

Postup zkoušky:

Svorky trhacího přístroje se nastaví na vzdálenost $200(\pm 1)$ mm. Zkušební vzorek se upne a vyrovná tak, aby ukazatel hodnoty zatížení byl na nulové poloze. Při konstantním přírůstku prodloužení 100 mm/min se pro každý zkušební vzorek zaznamená křivka zatížení - prodloužení.

Vyhodnocení:

Z křivky zatížení – prodloužení se zjistí maximální pevnost při přetrhu v Newtonech a prodloužení zkušební vzorku při maximální pevnosti při přetrhu. Z výsledků se vypočítá průměrná pevnost při přetrhu v Newtonech s přesností na 0,1 N a průměrná

hodnota prodloužení v procentech s přesností na 0,5 %. Vypočítá se variační koeficient výsledků [20].

3.5 Stanovení odporu proti stlačení ČSN 64 5441

Podstata zkoušky:

Spočívá ve stlačování zkušebního vzorku konstantní rychlostí a registraci zatěžovacího cyklu.

Zkušební zařízení:

Musí být schopno stlačit zkušební těleso mezi povrch podložky a stlačovací desku pohybující se vertikálně konstantní rychlostí $100(\pm 20)$ mm/min. Zkušební stroj musí umožňovat měření síly požadované k vyvození specifikovaného stlačení s přesností ± 2 % a měření tloušťky zkušebního tělesa při zatížení s přesností $\pm 0,2$ mm (INSTRON 4411).

Zkušební vzorky:

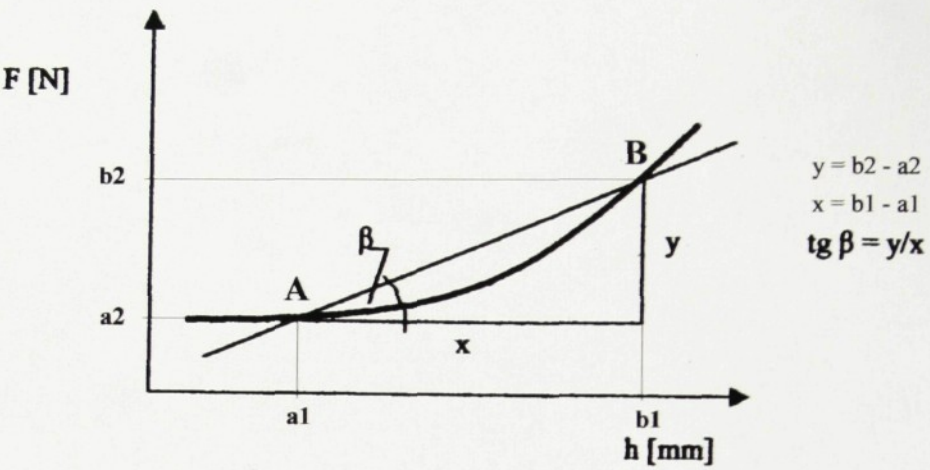
Použito vždy 5 zkušebních vzorků o rozměrech 100 x 100 mm.

Postup zkoušky:

Zkušební vzorek se umístí mezi čelisti zařízení. Nastaví se rychlost posuvu pohyblivé čelisti a výška, na kterou se má těleso stlačit. Před zatěžovacím cyklem se uvede do chodu registrační zařízení přístroje. Vzorek se postupně deformuje do doby, než je dosažena nastavená hodnota deformace. Potom je zkoušený vzorek stejnou rychlostí odlehčován. Registrační zařízení zaznamenává hodnoty zatěžovací a odlehčovací křivky a to celkem v pěti cyklech.

Vyhodnocení:

Z hodnot získaných registračním zařízením přístroje se sestrojí grafy zatěžovacích a odlehčovacích křivek. Po výběru dvou bodů, charakterizující zkoumanou oblast grafu, je jimi vedena sečna. Sečna svírá s osou h (změna tloušťky) úhel β . Tangens úhlu β se nazývá modul tuhosti, který charakterizuje odpor proti stlačení (viz. obr. 5).



Obrázek 5: Stanovení modulu tuhosti

Odpor proti stlačení (compression stress/strain characteristic) při jakémkoli procentuálním stlačení, v kilopascalech, se vypočítá podle vzorce:

$$CC_{xx} = 1000 \cdot (F_{xx} / A)$$

(15)

- CC_{xx}

odpor proti stlačení při stlačení o xx %

[kPa]
- F_{xx}

síla zaznamenaná při pátém zatěžovacím cyklu při stlačení o xx %

[N]
- A

plocha povrchu zkušebního tělesa

[mm²]

Hysterezi charakterizuje hysterezní smyčka (obr. 6), tj. plocha mezi zatěžovací a odlehčovací křivkou. Hystereze se stanoví podle vzorce:

$$H = S_2 / S_1 \cdot 100$$

(16)

- H

hystereze

[%]
- S_1

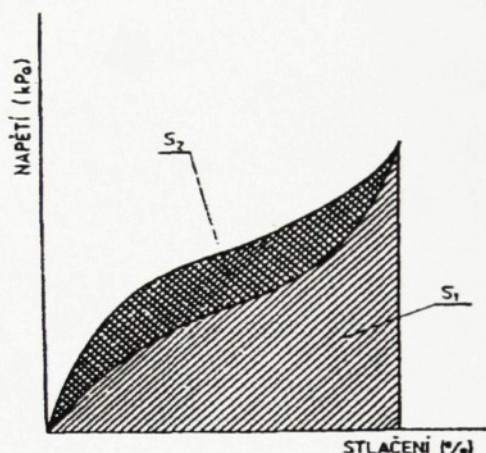
plocha pod zatěžovací křivkou

[mm²]
- S_2

plocha v hysterezní smyčce

[mm²]

[21]



Obrázek 6: Hysterezní smyčka

Legenda k obrázku č. 6:

S_1 – plocha pod zatěžovací křivkou, S_2 – plocha v hysterezní smyčce

3.6 Stanovení trvalé deformace v tlaku ČSN 64 5442

Tato norma platí pro stanovení trvalé deformace v tlaku měkkých lehčených hmot, včetně tenkých materiálů, za podmínek konstantní deformace, teploty a doby.

Trvalá deformace v tlaku je změna výšky zkušební tělesa namáhaného za podmínek konstantní deformace po dané době zotavení. Změna výšky se vztahuje k počáteční výšce zkušební tělesa. Vyjadřuje se v %.

Podstata zkoušky:

Zkušební těleso o známé výšce se stlačí na předepsanou deformaci za podmínek zkoušky. Po daném čase se zkušební těleso odlehčí a stanoví se změna tloušťky, ze které se výpočtem určí trvalá deformace v tlaku.

Podmínky zkoušky:

Zkoušku trvalé deformace v tlaku lze provádět za třech podmínek:

- A: při teplotě $70(\pm 1) ^\circ\text{C}$ po dobu 22 hod.
- B: při teplotě kondicionování zkušebních těles po dobu 72 hod.
- C: při dohodnuté teplotě i době

Zkušební zařízení:

Je složeno ze dvou plochých, kovových desek, opatřených čtyřmi šrouby. Desky mají větší rozměr, než zkušební těleso a je možné mezi nimi zkušební těleso stlačovat.

Zkušební vzorky:

Vzorky musí mít rovnoběžnou horní a dolní plochu a vertikální boky. Rozměry zkušebního tělesa jsou $100 \times 100 \text{ mm}$. Zkouší se 5 vzorků.

Postup zkoušky:

♦ Metoda A

Zkušební těleso se stlačí na 50 % původní výšky. Ve speciálních případech lze zkušební těleso stlačit i o 75 % původní výšky. V rozmezí 15 min. se zkušební těleso vloží (stlačené) do termostatu o teplotě $70(\pm 1) ^\circ\text{C}$ a ponechá se zde 22 hodin. Po uplynutí doby se vyjme a umístí na rovnou podložku, kde se kondiciuje 30 min. v prostředí, které bylo použito před zkouškou. Potom se opět změří výška zkušebního tělesa a to stejným způsobem, jako před stlačením.

♦ Metoda B

Postup zkoušky je shodný jako u metody A, ale zkušební těleso se stlačuje po dobu 72 hod. při teplotě kondicionování.

♦ Metoda C

Postup zkoušky je opět shodný s metodou A s tím rozdílem, že doba stlačení, teplota i stupeň stlačení jsou stanoveny speciálními požadavky.

Vyhodnocení:

$$E = ((h_0 - h_1)/h_0) * 100 \quad (17)$$

E	trvalá deformace v tlaku	[%]	
h_0	výška tělesa před zkouškou	[mm]	
h_1	výška tělesa po zkoušce	[mm]	[22]

4 Experimentální část

4.1 Úvod do experimentu a plán experimentu

ÚVOD DO EXPERIMENTU

Cílem této diplomové práce je otestování nehořlavosti u kolmo a příčně kladených vzorků z POP vláken s různým obsahem Basofilových vláken. Dále jsou u těchto vzorků provedeny mechanické zkoušky, u příčně kladených - pevnost v tahu, u kolmo kladených - odpor proti stlačení a trvalá deformace v tlaku. Dle těchto zkoušek následně probíhá vyhodnocení při jaké koncentraci Basofilových vláken je dosaženo optima nehořlavosti a vhodných mechanických vlastností.

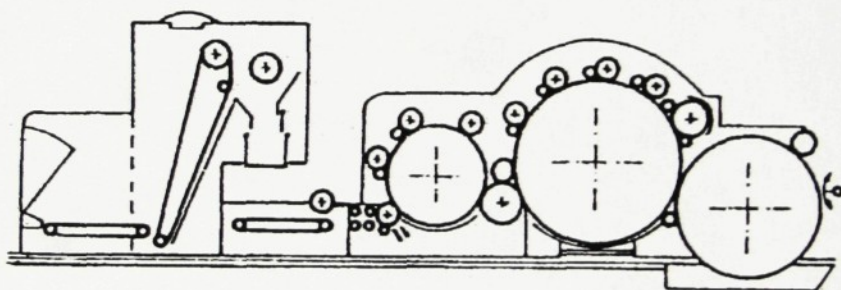
PLÁN EXPERIMENTU

1. Příprava vlákenné suroviny a výroba vlákenné vrstvy z kolmo a příčně kladené pavučiny.
2. Testování nehořlavosti u vyrobených zkušebních vzorků
3. U vzorků, které splňují podmínku nehořlavosti, provedení mechanických zkoušek.
4. U mechanických zkoušek porovnání výsledků s hodnotami, kterých dosáhly vzorky s nulovým procentuálním zastoupením Basofilových vláken.
5. Návrh aplikace testovaného materiálu s obsahem Basofilových vláken.

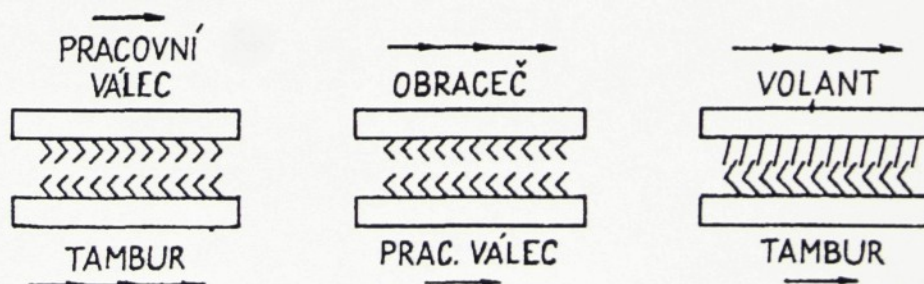
4.2 Příprava vlákněné vrstvy z příčně kladené pavučiny

4.2.1 Popis technologie výroby vlákněné vrstvy

Výrobní linka pro přípravu vlákněné vrstvy z příčně kladené pavučiny se skládá z vlnařského mykacího stroje, vertikálního kladeče a vpichovacího stroje. Základem vlnařského mykacího stroje (obr. 7) je soustava válců opatřených drátkovými nebo pilkovými pracovními povlaky. Drátky, resp. hroty pilkových potahů jsou na válcích ve vzájemném postavení (obr. 8) na mykání (tambur – pracovní válec), na snímání (obraceč – pracovní válec) nebo povytažení (volant – tambur).

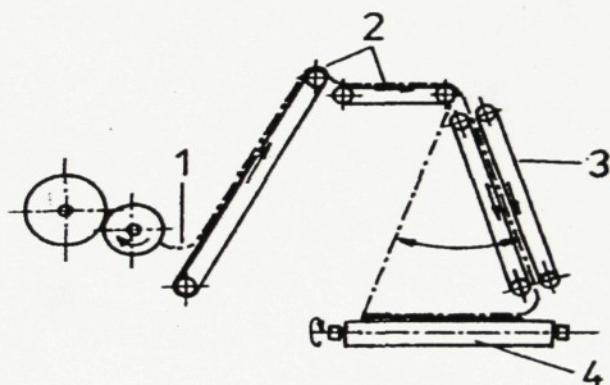


Obrázek 7: Schéma válcového mykacího stroje



Obrázek 8: Vzájemné postavení pracovních potahů mykacího stroje

Vláknenná pavučina, vystupující z mykacího stroje se vrství, aby se docílilo vyšší plošné hmotnosti. K vrstvení bylo použito vertikálního kladeče. Vertikální kladeč (obr. 9) se skládá z přívodního dopravníku pavučiny a dvojice společně výkyvných pásů ukládajících pavučinu do vláknenné vrstvy složené ze šikmých skladů na odváděcím dopravníku. Úhel křížení pavučiny v příčně vrstveném vláknenném rounu je dán rychlostí pohybu ukládacího pásu a odváděcího pásu. Plošná hmotnost vytvořeného rouna závisí na plošné hmotnosti přiváděné pavučiny, její postupné rychlosti, šířce vytvářeného rouna a rychlosti jeho odvodu [10].



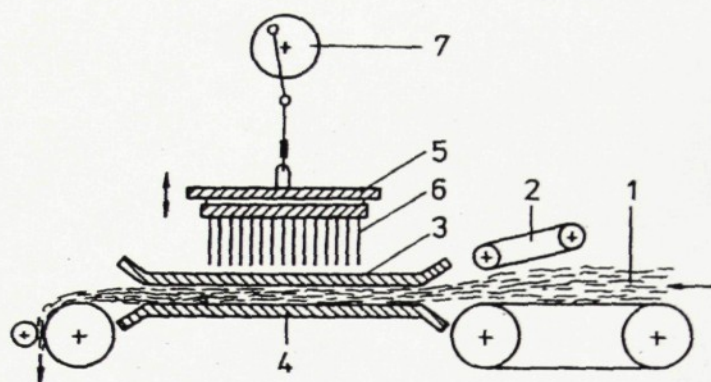
Obrázek 9: Vertikální příčný kladeč

Legenda k obrázku č. 9:

- 1 – pavučina, 2 – přiváděcí dopravník, 3 - dvojice výkyvných kladečích pásů, 4 - odváděcí dopravník

Zpevnění vláknenné vrstvy, vystupující z vertikálního příčného kladeče, bylo provedeno pomocí vpichovacího stroje (obr. 10). Podstatou vpichování je provazování vláknenné vrstvy svazky vláken vzniklými přeorientací části vláken účinkem průniku jehel s ostny. V průběhu vpichování dochází také k podstatné redukci tloušťky

vláknenné vrstvy, k výrazné přeorientaci všech vláken a ke změnám délky a šířky útvaru [23].



Obrázek 10: Schéma vpichovacího stroje

Legenda k obrázku č. 10:

- 1 – vláknenná vrstva, 2 – vstupující ústrojí, 3 – stěrací rošt,
4 – opěrný rošt, 5 – jehelná deska, 6 – vpichovací deska,
7 – pohon jehelné desky

4.2.2 Parametry výrobních strojů

Pro výrobu vzorků byly použity tyto stroje, jejichž parametry byly nastaveny na uvedené hodnoty:

Válcový mykací stroj:

vstupní rychlost dopravníku	0,9	m/min
rychlost snímacího válce	0,7	m/min
výstupní rychlost	0,4	m/min

Vpichovací stroj HANSA:

hloubka vpichu	11	mm
počet vpichů	181	cm ⁻²
frekvence vpichování	300	min ⁻¹
typ jehel	15x18x32x3,5RB	
příváděcí rychlost dopravníku	0,4	m/min
odváděcí rychlost dopravníku	0,5	m/min

počet průchodů textilie strojem 2x

Při výrobě vpíchnutých vlákenných vrstev z příčně kladené pavučiny nastal problém docílení požadované plošné hmotnosti (asi 300 g/m^2). Proto byly vyrobeny vždy dvě předvpíchnuté vlákenné vrstvy s hloubkou vpichu 5 mm a ty byly vpíchnuty dohromady s hloubkou vpichu 11 mm. Výsledná vlákněná vrstva byla posléze ještě jednou vpíchnuta, aby bylo dosaženo většího počtu vpichů.

4.2.3 Materiál pro přípravu vzorků

Pro přípravu vlákenných vrstev z příčně kladené pavučiny bylo použito:

POP jemnost vláken - 6,7 dtex

 délka vláken - 60 mm

Basofil jemnost vláken - 2,2 dtex

 délka vláken - 50 mm

CHARAKTERISTIKA POLYPROPYLÉNOVÝCH VLÁKEN

Patří mezi polyolefiny. Jsou produkty polymerace nenasycených uhlovodíků.

Příprava polymeru:

- koordináční stereoskopická polymerace propylénu
- katalyzátor TiCl_3 , $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)$ při 100°C a tlaku 3 Mpa
- výsledkem je vysoce krystalický izotaktický POP

Výroba vlákna:

- zvláknování z taveniny (citlivé na přítomnost O_2)
- chlazení v dlouhé šachtě (nízká tepelná vodivost)

Vlastnosti POP:

- pevnost 1,5 – 6 cN/dtex
- tažnost 15 – 60 %
- teplota tání $165 - 170^\circ\text{C}$
- LOI: 18

- nízká tepelná vodivost
- vysoké specifické teplo
- dobré elektroizolační vlastnosti
- výborná odolnost vůči chemikáliím

Výhody:

- odolnost vůči oděru
- trvanlivost
- nízká měrná hmotnost
- snadná formovatelnost
- nízká úroveň elektrostatického náboje

Nevýhody:

- nízké (pomalé) zotavení
- nízká navlhavost
- nízká tepelná odolnost (tepelná sráživost)
- nepříjemný omak (voskovitý)
- malá tuhost
- nízká barvitelnost [13]

Pozn.: Charakteristika Basofilových vláken uvedena v kapitole 2.5.

Tabulka 1: Procentuální zastoupení vláken ve vláken. vrstvě

č.	POP [%]	Basofil [%]
1	100	0
2	30	70
3	20	80
4	10	90
5	0	100

Pozn.: Příčně kladené vzorky byly vyrobeny i s nižším procentuálním zastoupením Basofilu ve vlákenné směsi než je uvedeno v tabulce (tzn. méně jak 70 %). Tyto směsi však při zkoušce hořlavosti vyhořely v celé ploše, proto nebyly u těchto vzorků prováděny žádné další zkoušky (vzorky nesplňovaly

podmínku alespoň částečné nehořlavosti). Vzorky ze 100 % POP byly použity pro porovnání s ostatními vzorky při zkoušce pevnosti v tahu.

4.3 Příprava vláknenné vrstvy z kolmo kladené pavučiny

Pracovní postup výroby kolmo kladených netkaných textilií zahrnuje, stejně jako předchozí technologický postup, přípravu vláknenných surovin a přípravu vláknenné vrstvy. Ta se pak vrství operací kolmého kladení a teplovzdušně zpevňuje. Potud je pracovní postup znám jako technologie STRUTO.

Výrobky STRUTO se uplatňují v mnoha průmyslových odvětvích – v čalounické výrobě, automobilovém průmyslu, ve výrobě příkrývek atd. Jedná se o objemné NT, které se používají především jako výplňkový, tepelně a zvukově izolační materiál.

Cílem vývoje této technologie byla snaha připravit vláknenné vrstvy s vyšším odporem proti stlačení. S tloušťkou textilie, která je v podmínkách praktického použití funkcí stlačení, souvisí přímo některé její užitné hodnoty jako je výplňková a měkkicí schopnost, tepelně izolační vlastnosti a jiné. Zvýšení odporu proti stlačení se u kolmo kladených textilií dosahuje tím, že vlákna jsou ve vrstvě orientována převážně kolmo k rovině textilie. Vlákna jsou pak v průběhu stlačování namáhána spíše na vzpěr než na ohyb, na rozdíl od vrstev s převážně horizontálně uloženými vlákny [10].

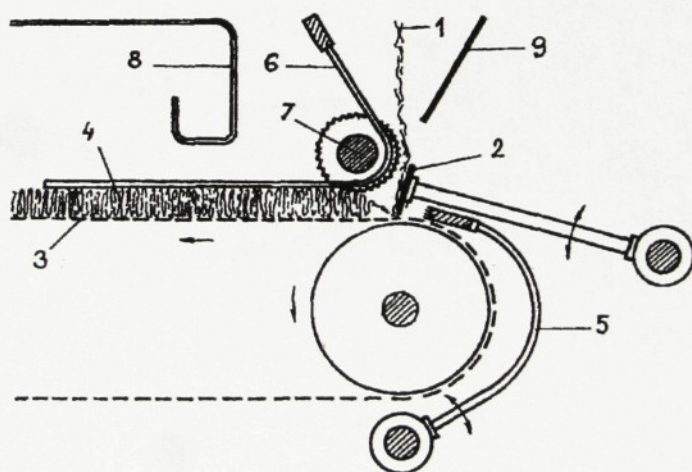
4.3.1 Popis technologie výroby vláknenné vrstvy

Typická kontinuální výrobní linka pro teplovzdušně pojené, kolmo kladené netkané textilie STRUTO se skládá z mykacího stroje, kladacího zařízení a teplovzdušné komory.

Byly vyvinuty dva základní principy kladacího zařízení, a to vibrační a rotační kladeč. Jelikož rotační kladeč nebyl k výrobě vzorků použit, není dále zmiňován. U vibračního kolmého kladeče

(viz. obr. 11) je shora přiváděná pavučina stahována vibrující pilkou k pohybujícímu se dopravníku. Tím se vytvoří sklad pavučiny, který je z hrany pilky sejmut soustavou hladkých jehel, umístěných na vibrující pěchovací liště. Sejmutý sklad je pěchovací lištou doražen k vlákněné vrstvě tvořící se a postupující mezi dopravníkem a drátovým roštem.

Ke zpevnění vrstvy složené z vláken základních a pojivých, vycházejících z vibračního kolmého kladeče, dochází v horkovzdušné komoře s cirkulujícím vzduchem. Horký vzduch, jehož teplota je udržována ohřevným a regulačním systémem na hodnotě postačující k roztavení pojiva, je pomocí ventilátoru proháněn vlákněnou vrstvou. Teplo je tak velmi rychle transportováno k povrchu všech vláken a k ohřevu vrstvy, v celém jejím průřezu, tak dojde mimořádně rychle [10].



Obrázek 11: Vibrační kolmý kladeč pavučiny

Legenda k obrázku č. 11:

- 1 – pavučina z mykacího stroje, 2 – kladecí pilka,
- 3 – dopravník teplovzdušné komory, 4 – kolmo kladená vlákněná vrstva, 5 – pěchovací lišta, 6 – drátový rošt,
- 7 – pracovní kotouč, 8 – kryt teplovzdušné pojící komory,
- 9 – přiváděcí plech

4.3.2 Parametry výrobních strojů

Pro výrobu vzorků byly použity stroje, jejichž parametry byly nastaveny na uvedené hodnoty:

Válcový mykací stroj:

vstupní rychlost dopravníku	0,9	m/min
rychlost snímacího válce	0,7	m/min
výstupní rychlost	0,4	m/min

Vpichovací stroj HANSA:

hloubka vpichu	5	mm
frekvence vpichování	200	min ⁻¹
typ jehel	15x18x32x3,5RB	
příváděcí rychlost dopravníku	0,4	m/min
odváděcí rychlost dopravníku	0,5	m/min

STRUTO:

pěchovací lišta	15	mm
kladecí pilka	150-160	kmitů/min
dopravník teplovzdušné komory	0,3	m/min
dopravník od mykacího stroje	10	m/min
teplota pojení	145	°C

4.3.3 Materiál pro přípravu vzorků

Pro přípravu vlákenných vrstev z kolmo kladené pavučiny bylo použito těchto vláken:

POP	jemnost vláken - 6,7 dtex délka vláken - 60 mm
Basofil	jemnost vláken - 2,2 dtex délka vláken - 50 mm
Gymlene	nízkohustotní (vysokotlaký) PE (LDPE) jemnost vláken - 6,7 dtex délka vláken - 90 mm
Vision	bikomponentní vlákno POP/PE (1:1)

CHARAKTERISTIKA VLÁKEN GYMLENE (LDPE)

Příprava: radikálová polymerace ($p = 300 \text{ MPa}$, $t = 200 \text{ °C}$) $\Rightarrow$ značně rozvětvený řetězec $\Rightarrow$ menší stupeň krystalinity $\Rightarrow$ menší hustota; ohebnost řetězců a menší hodnoty molekulové hmotnosti jsou příčinou snadné zpracovatelnosti; měkký PE
Teplota tání $125 - 135 \text{ °C}$ [24].

CHARAKTERISTIKA VLÁKEN VISION (POP/PE)

Náleží do skupiny vláken používajících se k termoplastickému pojení. Používají se jako pojivá složka do vlákenných směsí. Vyrábějí se zvlákněním dvou různých polymerů (POP, PE) pomocí speciální zvláknovací trysky umožňující obklopení proudu taveniny (jádro) proudem taveniny (plášť). Níže tající složka (PE) slouží jako pojivo, výše tající složka (POP) zajišťuje nezborcení vlákna.

Pozn.: Charakteristika POP vláken popsána v kapitole 4.2.3 a Basofilových vláken v kapitole 2.5.

Tabulka 2: Procentuální zastoupení vláken ve vlákn. vrstvě

Č.	POP [%]	Basofil [%]	Gymlene [%]	Vision [%]
1	0	60	0	40
2	0	70	0	30
3	0	80	0	20
4	0	80	20	0
5	80	0	0	20

Pozn.: Rovněž u kolmo kladených vzorků docházelo při nižší koncentraci Basofilových vláken (tzn. méně jak 60 %) k vyhoření v celé ploše. Vzorky se složením 80 % POP/ 20 % Vision opět

sloužily při mechanických zkouškách pro porovnání s ostatními vzorky.

4.4 Měření hořlavosti

Pro zkoušku byly použity vzorky o rozměrech 225 x 150 mm, což se zdálo pro provedení zkoušky jako dostačující.

Hodnotí se velikost spálené plochy S v cm^2 . Stanovení se provádí tak, že se vzorek po zkoušce (s vyhořelou částí plochy) podloží papírem a upevní na vodorovnou podložku tak, aby mezi čarami vyznačujícími v jeho střední části pruh, byla vzdálenost 95 mm. Pro dodržení této vzdálenosti i na konci vyhořelého obrazce je zapotřebí vzorek ve střední části spálené plochy, z důvodu tepelného vysrážení, v délce asi 10 cm nastříhnout. Vyhořelý obrazec se obkreslí a vzniklý náčrt zplanimetruje.

Hodnoty vyhořelých ploch pro jednotlivé zkušební vzorky s různým obsahem Basofilových vláken jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 3: Hořlavost vzorků z příčně kladené pavučiny

Obsah Basofilu ve VV [%]	Směr vzorku	Hmotnost vzorku m [g]	Tloušťka vzorku h [mm]	Plošná hmotnost m _s [g/m ²]	Objemová hmotnost m _v [kg/m ³]	Spálená plocha S [cm ²]	Spálená plocha S [%]
70	Příčný	10,11	2,93	299,56	102,24	29,1	8,62
		10,26	2,99	304,00	101,67	26,43	7,83
		9,95	2,81	294,81	104,92	27,85	8,25
		10,67	3,01	316,15	105,03	26,98	7,99
		10,50	2,97	311,11	104,75	28,91	8,57
70	Podélný	10,58	2,96	313,48	105,91	30,32	8,98
		10,64	2,87	315,26	109,85	29,69	8,80
		10,49	2,89	310,81	107,55	31,08	9,21
		10,13	2,75	300,15	109,14	28,97	8,58
		10,88	3,11	322,37	103,66	29,06	8,61
80	Příčný	11,56	3,29	342,52	104,11	10,90	3,23
		11,68	3,27	346,07	105,83	10,10	2,99
		11,93	3,24	353,48	109,10	9,34	2,77
		12,06	3,25	357,33	109,95	8,96	2,65
		11,62	3,19	344,30	107,93	8,50	2,52

80	Podélný	11,74	3,22	347,85	108,03	11,26	3,34
		11,87	3,30	351,70	106,58	10,93	3,24
		11,65	3,26	345,19	105,89	10,29	3,05
		11,51	3,18	341,04	107,24	8,91	2,64
		11,69	3,26	346,37	106,25	9,6	2,84
90	Příčný	11,14	2,69	330,07	122,70	2,84	0,84
		11,19	2,73	331,56	121,45	3,63	1,08
		11,08	2,76	328,30	118,95	2,58	0,76
		11,15	2,74	330,37	120,57	3,20	0,95
		11,23	2,73	332,74	121,88	3,30	0,98
90	Podélný	11,20	2,77	331,85	119,80	3,95	1,17
		11,23	2,81	332,74	118,41	3,82	1,13
		11,21	2,79	332,15	119,05	3,60	1,07
		11,29	2,80	334,52	119,47	4,02	1,19
		11,18	2,76	331,26	120,02	3,41	1,01
100	Příčný	10,83	2,55	320,89	125,84	1,81	0,54
		10,75	2,63	318,52	121,11	1,24	0,37
		10,84	2,64	321,19	121,66	1,08	0,32
		10,86	2,67	321,78	120,52	0,93	0,28
		10,79	2,65	319,70	120,64	0,87	0,26
100	Podélný	10,87	2,59	322,07	124,35	1,80	0,53
		10,86	2,62	321,78	122,82	1,60	0,47
		10,82	2,68	320,59	119,62	1,09	0,32
		10,81	2,66	320,29	120,41	0,92	0,27
		10,80	2,68	320,00	119,40	0,97	0,29

Pokračování tabulky 3

Tabulka 4: Hořlavost vzorků z kolmo kladené pavučiny

Složení VV [%]	Směr vzorku	Hmotnost vzorku m [g]	Tloušťka vzorku h [mm]	Plošná hmotnost m _s [g/m ²]	Objemová hmotnost m _v [kg/m ³]	Spálená plocha S [cm ²]	Spálená plocha S [%]
Basofil: 60% Vision: 40%	Příčný	24,43	25,62	723,85	28,25	62,89	18,63
		24,56	25,39	727,70	28,66	63,64	18,86
		24,64	25,46	730,07	28,68	62,23	18,44
		25,13	25,41	744,59	29,30	64,49	19,11
		24,80	24,98	734,81	29,42	64,92	19,24
Basofil: 60% Vision: 40%	Podélný	24,95	24,96	739,26	29,62	64,28	19,05
		24,82	25,33	735,41	29,03	68,01	20,15
		24,89	25,57	737,48	28,84	67,43	19,98
		25,07	25,16	742,81	29,52	68,92	20,42
		25,19	25,10	746,37	29,74	69,25	20,52
Basofil: 70% Vision: 30%	Příčný	23,61	25,29	699,56	27,66	22,54	6,68
		24,28	25,18	719,41	28,57	22,42	6,64
		24,39	25,04	722,67	28,86	21,73	6,44
		24,04	24,95	712,30	28,55	22,86	6,77

		23,82	25,15	705,78	28,06	21,20	6,28
Basofil: 70% Vision: 30%	Podélný	23,79	25,21	704,89	27,96	24,96	7,40
		23,93	24,88	709,04	28,50	24,15	7,16
		24,16	24,92	715,85	28,73	23,87	7,07
		24,10	25,31	714,07	28,21	23,41	6,94
		24,02	25,11	711,70	28,34	22,98	6,81
Basofil: 80% Vision: 20%	Příčný	21,23	25,24	629,04	24,92	5,25	1,56
		19,67	24,97	582,81	23,34	5,49	1,63
		19,95	24,69	591,11	23,94	5,73	1,70
		20,06	24,73	594,37	24,03	5,03	1,49
		20,47	25,13	606,52	24,14	5,12	1,52
Basofil: 80% Vision: 20%	Podélný	20,91	25,08	619,56	24,70	7,11	2,11
		21,01	24,81	622,52	25,09	6,92	2,05
		19,89	24,93	589,33	23,64	6,77	2,01
		19,92	24,86	590,22	23,74	6,85	2,03
		20,53	24,97	608,30	24,36	6,59	1,95
Basofil: 80% Gymlene: 20%	Příčný	17,02	23,27	504,30	21,67	7,84	2,32
		16,93	23,08	501,63	21,73	7,95	2,36
		16,85	23,11	499,26	21,60	8,16	2,42
		17,14	23,49	507,85	21,62	7,58	2,25
		17,09	23,38	506,37	21,66	7,43	2,20
Basofil: 80% Gymlene: 20%	Podélný	17,19	23,76	509,33	21,44	9,62	2,85
		17,22	23,84	510,22	21,40	8,56	2,54
		16,98	23,15	503,11	21,73	9,01	2,66
		16,87	23,05	499,85	21,69	8,93	2,65
		17,06	23,32	505,48	21,68	9,80	2,90

Pokračování tabulky 4

4.5 Měření pevnosti v tahu a tažnosti

Zjišťování pevnosti v tahu a tažnosti u příčně kladených zkušebních vzorků bylo prováděno na přístroji INSTRON 4411, KTP, zkušební metodou vycházející z normy ČSN 80 6133, kapitola 3.4. Měření probíhalo při teplotě $20(\pm 2) ^\circ\text{C}$, relativní vlhkost vzduchu nezjištěna. Testováno bylo vždy 5 vzorků v podélném a 5 v příčném směru od každé směsi Basofilu s POP.

4.5.1 Popis měření pevnosti v tahu a tažnosti

Pro zmíněnou metodu bylo použito příčně kladených vzorků v podélném a příčném směru o rozměrech 50 x 230 mm. Poté byly vzorky upnuty do pneumatických čelistí ve vzdálenosti 200 mm. Bylo na ně působeno zatížením při konstantním přírůstku prodloužení 100 mm/min. Použita byla celá do 5 kN. Pro každý vzorek byla zaznamenána křivka zatížení prodloužení.

Tabulka 5: Vyhodnocení pevnosti v tahu a tažnosti

Složení VV [%]	Směr vzorku	Hmotnost vzorku m [g]	Tloušťka vzorku h [mm]	Plošná hmotnost m _s [g/m ²]	Objemová hmotnost m _v [kg/m ³]	Pevnost při přetrhu [N]	Prodloužení při přetrhu [mm]
POP: 100%	Příčný	4,51	4,11	392,17	95,42	586,6	128,6
		4,58	4,23	398,26	94,15	561,6	144,5
		4,49	4,26	390,43	91,65	651,5	118,7
		4,37	4,19	380,00	90,69	625,2	121,5
		4,42	4,25	384,35	90,43	589,0	148,5
POP: 100%	Podélný	4,46	4,14	387,83	93,68	483,0	259,5
		4,53	4,12	393,91	95,61	485,4	262,8
		4,50	4,24	391,30	92,29	485,1	275,6
		4,45	4,20	386,96	92,13	477,3	279,6
		4,32	4,09	375,65	91,85	430,7	269,7
POP: 30% Basofil: 70%	Příčný	3,45	2,98	300,00	100,67	323,1	103,6
		3,52	3,02	306,09	101,35	326,4	103,2
		3,49	3,08	303,48	98,53	321,5	91,3
		3,47	3,13	301,74	96,40	316,8	102,7
		3,44	2,97	299,13	100,72	319,0	105,7
POP: 30% Basofil: 70%	Podélný	3,39	2,93	294,78	100,61	286,2	205,7
		3,40	2,91	295,65	101,60	275,6	204,9
		3,48	3,10	302,61	97,62	276,9	164,2
		3,49	3,01	303,47	100,82	284,1	197,5
		3,51	2,88	305,22	105,98	277,3	198,6
POP: 20% Basofil: 80%	Příčný	3,99	3,25	346,96	106,76	210,6	98,2
		3,87	3,28	336,52	102,60	233,8	94,0
		3,91	3,30	340,00	103,03	233,7	92,0
		3,95	3,24	343,48	106,01	227,9	96,37
		3,88	3,19	337,39	105,77	244,0	92,3
POP: 20% Basofil: 80%	Podélný	4,03	3,27	350,43	107,17	177,4	136,2
		4,15	3,31	360,87	109,02	206,8	146,1
		3,96	3,22	344,35	106,94	189,9	144,3
		3,98	3,29	346,09	105,19	197,6	152,7
		3,89	3,23	338,26	104,72	181,1	146,6

POP: 10% Basofil: 90%	Příčný	3,79	2,76	329,57	119,41	159,9	89,5
		3,75	2,80	326,09	116,46	154,1	90,2
		3,84	2,79	333,91	119,68	158,7	88,6
		3,78	2,77	328,70	118,66	144,2	85,8
		3,81	2,74	331,30	120,91	146,0	82,9
POP: 10% Basofil: 90%	Podélný	3,82	2,82	332,17	117,79	120,0	128,1
		3,76	2,81	326,96	116,35	124,6	130,0
		3,79	2,80	329,57	117,70	133,7	123,1
		3,77	2,78	327,83	117,92	108,1	129,5
		3,80	2,75	330,43	120,16	119,6	125,2
Basofil: 100%	Příčný	3,66	2,64	318,26	120,55	107,1	77,1
		3,64	2,68	316,52	118,11	102,5	77,4
		3,58	2,63	311,30	118,36	101,2	74,6
		3,59	2,61	312,17	119,61	100,9	68,1
		3,63	2,57	315,65	122,82	105,3	75,4
Basofil: 100%	Podélný	3,65	2,59	317,39	122,54	81,8	119,5
		3,67	2,60	319,13	122,74	94,6	121,6
		3,60	2,65	313,04	118,13	91,4	117,2
		3,68	2,59	320,00	123,55	95,3	116,8
		3,70	2,66	321,74	120,95	95,7	120,3

Pokračování tabulky 5

4.6 Měření odporu proti stlačení

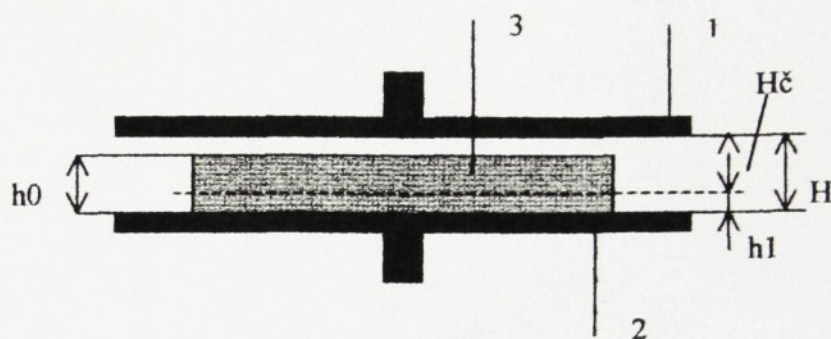
Zjišťování odporu proti stlačení u kolmo kladených vzorků bylo prováděno rovněž na přístroji INSTRON 4411, KTP, zkušební metodou vycházející z normy ČSN 64 5441, kapitola 3.5. Měření probíhalo při teplotě $20(\pm 2) ^\circ\text{C}$, relativní vlhkost vzduchu nezjištěna. Testováno bylo vždy 5 vzorků jedné směsi Basofilu s POP.

4.6.1 Popis měření odporu proti stlačení

Pro zmíněnou metodu byly použity kolmo kladené vzorky o velikosti 100 x 100 mm. Poté byly vzorky vkládány jednotlivě mezi kovové čelisti a stlačovány vždy v pěti cyklech na výšku 12 mm (viz. obr. 12), což bylo stlačení zhruba o 50 % původní výšky použitých vzorků. Vzdálenost čelistí H byla nastavena na 30 mm, rychlost zatěžování 100 mm/min. Po dosažení nastavené hodnoty

výšky došlo k odlehčení vzorku na nulovou hodnotu podle výše uvedené normy.

Na přístroji INSTRON byly zaznamenány hodnoty síly potřebné ke stlačení na požadovanou výšku v závislosti na deformaci vzorku, z nichž byly poté sestrojeny grafy (viz. příloha 1) a vypočten odpor proti stlačení v kilopascalech dle vzorce (15) kapitola 3.5.



Obrázek 12: Schéma stlačení vzorku na přístroji INSTRON 4411

Legenda k obrázku č. 12:

1 – horní, zatěžovací čelist, 2 – dolní čelist, 3 – vzorek stlačované NT

H – nastavená vzdálenost čelistí [mm]

Hč – výška horní čelisti při deformaci vzorku [mm]

h0 – tloušťka nestlačené NT [mm]

h1 – nastavená tloušťka stlačení [mm], ($h1 = 12 \text{ mm}$)

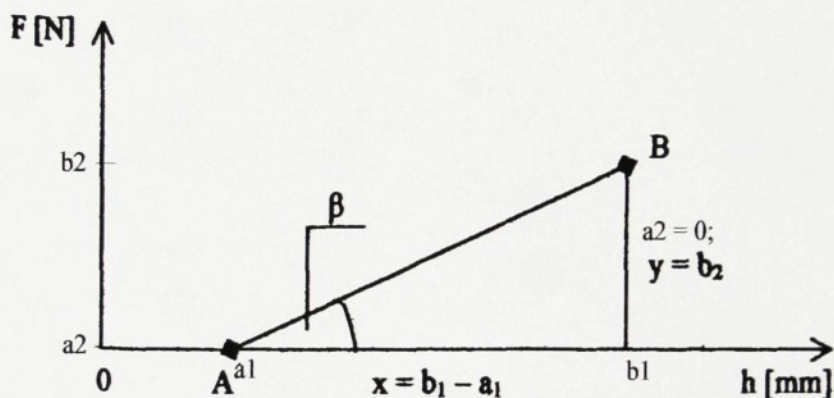
Rovněž byl stanoven modul tuhosti (kapitola 3.5). Modul tuhosti $\underline{tg \beta}$ je roven směrnici sečny $\underline{k}$, jež protíná zatěžovací křivku ve dvou bodech A [$a_1; a_2$], B [$b_1; b_2$]. Bod A je počátkem deformace. Souřadnice a_1 je rovna rozdílu nastavené vzdálenosti čelistí H a tloušťky nestlačené NT h_0 . Souřadnice b_1 je dána hodnotou výšky čelisti Hč, při deformaci vzorku (crosshead position), b_2 pak hodnotou zatížení (load) při výšce b_1 (viz. obr. 13). Rozdílem

hodnot b_1 a a_1 je dána výška x , o kterou byl vzorek stlačen. Modul tuhosti (viz. tab. 7a,b,c,d,e) se vypočítá podle vztahu (19).

$$k = \operatorname{tg} \beta = (b_2 - a_2) / (b_1 - a_1) \quad (18)$$

Jestliže $a_2 = 0$, pak platí:

$$k = \operatorname{tg} \beta = b_2 / (b_1 - a_1) \quad (19)$$



Obrázek 13: Orientační schéma pro výpočet modulu tuhosti

Tabulka 6: Vyhodnocení odporu proti stlačení

Složení VV [%]	Hmotnost vzorku m [g]	Tloušťka vzorku h [mm]	Plošná hmotnost m_s [g/m ²]	Objemová hmotnost m_v [kg/m ³]	Síla v pátém zatěžovacím cyklu F_{50} [N]	Odpor proti stlačení CC_{50} [kPa]
Basofil: 60% Vision: 40%	7,25	25,42	725	28,52	28,14	2,81
	7,42	26,01	732	28,53	27,43	2,74
	7,35	25,14	735	29,24	30,56	3,06
	7,40	25,39	740	29,15	29,13	2,91
	7,28	25,35	728	28,71	27,05	2,71
Basofil: 70% Vision: 30%	7,02	24,88	702	28,22	20,24	2,02
	7,11	24,95	711	28,50	22,13	2,21
	6,98	24,76	698	28,19	19,52	1,95
	7,07	24,90	707	28,39	17,61	1,76
	7,10	25,03	710	28,37	15,97	1,60
Basofil: 80% Vision: 20%	6,13	24,68	613	24,83	11,36	1,14
	6,20	24,79	620	25,01	11,94	1,19
	6,05	24,57	605	24,62	14,07	1,41
	6,19	24,81	619	24,95	14,31	1,43

	6,11	24,72	611	24,72	10,75	1,08
Basofil:	5,10	23,29	510	21,90	4,41	0,44
80%	5,14	23,45	514	21,92	3,36	0,34
Gymlene:	5,06	23,37	506	21,65	3,39	0,34
20%	5,02	23,22	502	21,62	4,09	0,41
	5,15	23,52	515	21,90	2,63	0,26
POP:	5,97	23,52	597	25,38	32,26	3,23
80%	6,02	23,65	602	25,45	47,11	4,71
Vision:	5,95	23,55	595	25,27	42,78	4,28
20%	5,93	23,59	593	25,14	44,43	4,44
	6,01	23,64	601	25,42	36,59	3,66

Pokračování tabulky 6

Tabulka 7a: Vypočtené hodnoty modulů tuhosti –
stlačení o 50 %
(60 % Basofil, 40 % Vision)

Vz.	1		2		3		4		5	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
	13,42	28,14	14,01	27,43	13,14	30,56	13,39	29,13	13,35	27,05
tgβ	2,0968703		1,9578872		2,325723		2,1755041		2,0262172	
β [°]	65		63		67		65		64	

Tabulka 7b: Vypočtené hodnoty modulů tuhosti –
stlačení o 50 %
(70 % Basofil, 30 % Vision)

Vz.	1		2		3		4		5	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
	12,88	20,24	12,95	22,13	12,76	19,52	12,90	17,61	13,03	15,97
tgβ	1,5714286		1,7088803		1,5297806		1,3651163		1,2256332	
β [°]	58		60		57		54		51	

Tabulka 7c: Vypočtené hodnoty modulů tuhosti –
stlačení o 50 %
(80 % Basofil, 20 % Vision)

Vz.	1		2		3		4		5	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
	12,68	11,36	12,79	11,94	12,57	14,07	12,81	14,31	12,72	10,75
tgβ	0,895899		0,9335418		1,1193317		1,117096		0,8451257	
β [°]	42		43		48		48		40	

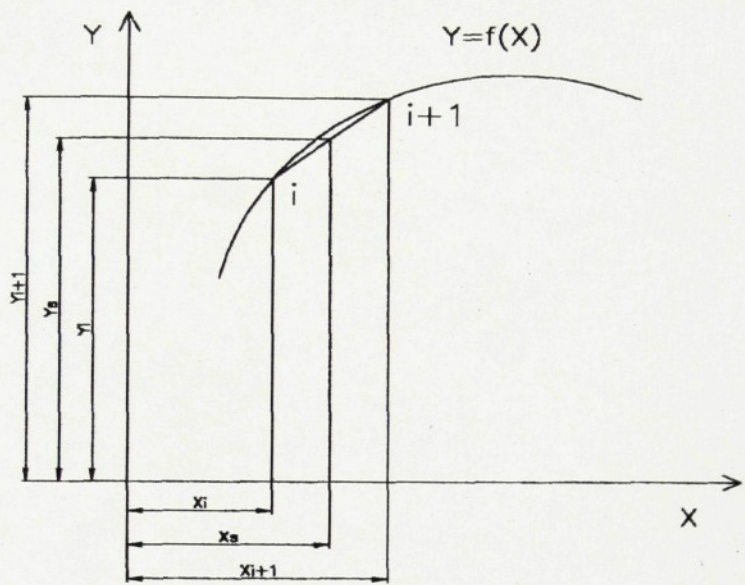
Tabulka 7d: Vypočtené hodnoty modulů tuhosti –
stlačení o 50 %
(80 % Basofil, 20 % Gymlene)

Vz.	1		2		3		4		5	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
	11,29	4,41	11,45	3,36	11,37	3,39	11,22	4,09	11,52	2,63
tgβ	0,3906111		0,2934497		0,298153		0,3645276		0,2282986	
β [°]	21		16		17		20		13	

Tabulka 7e: Vypočtené hodnoty modulů tuhosti –
stlačení o 50 %
(80 % POP, 20 % Vision)

Vz.	1		2		3		4		5	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
	11,52	32,26	11,65	47,11	11,55	42,78	11,59	44,43	11,64	36,59
tgβ	2,8003472		4,0437768		3,7038961		3,8334771		3,1434708	
β [°]	70		76		75		75		72	

Dále byla u zkušebních vzorků zjišťována hystereze. Přístroj v důsledku použitého programu nemohl automaticky zaznamenávat hodnoty hystereze v prvním, druhém a pátém cyklu, proto byla hystereze u těchto cyklů zjištěna výpočtem dle vzorce (16) kapitola 3.5. Ke zjištění ploch pod křivkami potřebné pro výpočet hystereze bylo použito lichoběžníkové metody aplikované do programu EXCEL 97. Podstatou lichoběžníkové metody (obr. 14) je, že se křivka nahradí přímkovými úseky, čímž se vytvoří elementární plošky lichoběžníkového tvaru. U plošek je spočtena střední výška a ta vynásobena šířkou této plošky, a tím se vypočte plocha lichoběžníkového pole. Všechny plochy se sečtou v celém intervalu vytyčeném křivkou na ose x.



Obrázek 14: Příklad pro výpočet plochy pod křivkou (při neznámé $y = f(x)$) – lichoběžníková metoda

Legenda k obrázku č. 14:

$$y_s = (y_i + y_{i+1})/2$$
$$x_s = (x_{i+1} - x_i)/2$$
$$S_i = x_s * y_s$$
$$S = \Sigma S_i$$

Tabulka 8: Vyhodnocení provedených měření kompresních charakteristik

Složení VV [%]	Hystereze 1.cyklus [%]	Hystereze 2.cyklus [%]	Hystereze 5.cyklus [%]
Basofil: 60% Vision: 40%	47,30	39,82	37,46
	47,46	39,67	37,28
	46,98	39,54	37,09
	47,25	39,71	37,55
	46,87	39,42	36,89
Basofil: 70% Vision: 30%	46,94	39,74	37,71
	47,50	39,97	37,90
	46,97	39,77	37,74
	46,64	39,55	37,61
	45,67	39,06	36,92
Basofil: 80% Vision: 20%	46,24	40,77	39,06
	47,45	41,23	39,36

	48,20	41,59	39,66
	47,43	41,24	39,71
	46,81	40,85	39,26
Basofil: 80%	44,63	40,42	39,44
Gymlene: 20%	45,51	41,06	39,87
	44,49	39,55	37,87
	44,47	39,71	38,37
	45,45	40,57	39,10
POP: 80%	45,16	40,22	38,27
Vision: 20%	51,21	41,23	38,37
	49,27	40,70	37,91
	50,68	40,85	37,82
	48,15	40,02	37,42

Pokračování tabulky 8

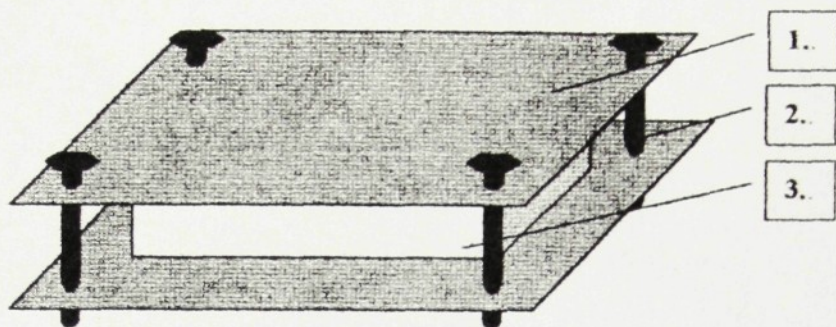
4.7 Měření trvalé deformace v tlaku

Trvalá deformace v tlaku byla měřena podle normy ČSN 64 5442 (viz. kapitola 3.6). Měření probíhalo při teplotě $20(\pm 2) ^\circ\text{C}$, relativní vlhkost vzduchu nezjištěna. Testováno bylo vždy 5 etalonů (vzorků) jedné směsi Basofilu s POP.

4.7.1 Postup měření trvalé deformace v tlaku

Zkušební vzorky byly upraveny na rozměry 100 x 100 mm a testovány jednotlivě mezi dvěma kovovými deskami (viz. obr. 15), kde došlo k jejich stlačení asi na 50 % původní výšky (tloušťky), viz. norma ČSN 64 5442, metoda A. Test probíhal ve dvou rovinách:

- za studena (bez tepelného působení)
- za tepla



Obrázek 15: Pomůcka pro měření trvalé deformace v tlaku

Legenda k obrázku č. 15:

1 – kovové desky, 2 – stahovací šrouby, 3 – vzorek NT

S výjimkou teploty, při které byly vzorky ponechány stlačené, se od sebe postupy nijak neliší. Po odečtení výšky před a po stlačení byly hodnoty dosazeny do vztahu (17), vypočteny hodnoty trvalé deformace E .

Tabulka 9: Základní parametry zkoušených vzorků (pro měření trvalé deformace v tlaku - za studena)

Složení VV [%]	Hmotnost vzorku m [g]	Tloušťka vzorku h [mm]	Plošná hmotnost m_s [g/m ²]	Objemová hmotnost m_v [kg/m ³]
Basofil: 60% Vision: 40%	7,21	25,55	721	28,22
	7,18	25,39	718	28,28
	7,14	25,61	714	27,88
	7,10	25,47	710	27,88
	7,25	25,50	725	28,43
Basofil: 70% Vision: 30%	7,05	24,96	705	28,25
	7,10	24,98	710	28,42
	7,02	25,03	702	28,05
	7,04	25,06	704	28,09
	6,99	24,95	699	28,02
Basofil: 80% Vision: 20%	6,22	24,65	622	25,23
	6,17	24,57	617	25,11
	6,14	24,56	614	25,00
	6,25	24,63	625	25,38
	6,12	24,50	612	24,98
Basofil: 80% Gymlene: 20%	5,15	23,33	515	22,07
	5,11	23,28	511	21,95
	5,09	23,35	509	21,80

	5,04	23,24	504	21,69
	5,08	23,21	508	21,89
POP: 80% Vision: 20%	6,04	23,62	604	25,57
	6,02	23,70	602	25,40
	5,98	23,59	598	25,35
	6,05	23,66	605	25,57
	5,97	23,68	597	25,21

Pokračování tabulky 9

Tabulka 10: Základní parametry zkoušených vzorků (pro měření trvalé deformace v tlaku - za tepla)

Složení VV [%]	Hmotnost vzorku m [g]	Tloušťka vzorku h [mm]	Plošná hmotnost m _s [g/m ²]	Objemová hmotnost m _v [kg/m ³]
Basofil: 60% Vision: 40%	7,23	25,58	723	28,26
	7,20	25,49	720	28,25
	7,11	25,60	711	27,77
	7,15	25,45	715	27,09
	7,24	25,52	724	28,37
Basofil: 70% Vision: 30%	7,09	24,92	709	28,45
	7,14	24,95	714	28,62
	7,05	25,01	705	28,19
	7,03	25,02	703	28,10
	7,00	24,99	700	28,01
Basofil: 80% Vision: 20%	6,20	24,66	620	25,14
	6,19	24,59	619	25,17
	6,16	24,58	616	25,06
	6,23	24,60	623	25,33
	6,14	24,55	614	25,01
Basofil: 80% Gymlene: 20%	5,10	23,31	510	21,88
	5,17	23,39	517	22,10
	5,06	23,36	506	21,66
	5,09	23,25	509	21,89
	5,07	23,25	507	21,81
POP: 80% Vision: 20%	6,06	23,67	606	25,60
	6,05	23,69	605	25,54
	5,99	23,57	599	25,41
	6,07	23,61	607	25,71
	5,98	23,62	598	25,32

Tabulka 11: Tloušťky vzorků při měření trvalé deformace – za studena

Vz.	60% Basofil 40% Vision		70% Basofil 30% Vision		80% Basofil 20% Vision		80% Basofil 20% Gymlene		80% POP 20% Vision	
Výš. vz.	h_0 [mm]	h_1 [mm]	h_0 [mm]	h_1 [mm]	h_0 [mm]	h_1 [mm]	h_0 [mm]	h_1 [mm]	h_0 [mm]	h_1 [mm]
1	25,55	22,96	24,96	22,17	24,65	21,68	23,33	20,50	23,62	19,43
2	25,39	22,78	24,98	22,21	24,57	21,59	23,28	20,46	23,70	19,52
3	25,61	23,02	25,03	22,25	24,56	21,54	23,35	20,54	23,59	19,38
4	25,47	22,85	25,06	22,26	24,63	21,66	23,24	20,41	23,66	19,50
5	25,50	22,85	24,95	22,19	24,50	21,47	23,21	20,38	23,68	19,49

Tabulka 12: Tloušťky vzorků při měření trvalé deformace – za tepla

Vz.	60% Basofil 40% Vision		70% Basofil 30% Vision		80% Basofil 20% Vision		80% Basofil 20% Gymlene		80% POP 20% Vision	
Výš. vz.	h_0 [mm]	h_1 [mm]	h_0 [mm]	h_1 [mm]	h_0 [mm]	h_1 [mm]	h_0 [mm]	h_1 [mm]	h_0 [mm]	h_1 [mm]
1	25,58	18,35	24,92	18,63	24,66	19,84	23,31	17,95	23,67	17,10
2	25,49	18,26	24,95	18,71	24,59	19,80	23,39	18,04	23,69	17,15
3	25,60	18,32	25,01	18,73	24,58	19,82	23,36	17,99	23,57	17,01
4	25,45	18,20	25,02	18,73	24,60	19,79	23,25	17,92	23,61	17,05
5	25,52	18,33	24,99	18,61	24,55	19,75	23,25	17,90	23,62	17,05

Význam použitých symbolů v tabulkách 11, 12:

h_0 – výška zkušební vzorku před stlačením

h_1 – výška zkušební vzorku po stlačení

Tabulka 13: Vypočtené hodnoty trvalé deformace v tlaku – za studena

E [%]	60% Basofil 40% Vision	70% Basofil 30% Vision	80% Basofil 20% Vision	80% Basofil 20% Gymlene	80% POP 20% Vision
1	10,14	11,18	12,05	12,13	17,74
2	10,28	11,09	12,13	12,11	17,64
3	10,11	11,11	12,30	12,03	17,85
4	10,29	11,17	12,06	12,18	17,58
5	10,39	11,06	12,37	12,19	17,69

Tabulka 14: Vypočtené hodnoty trvalé deformace v tlaku – za tepla

E [%]	60% Basofil 40% Vision	70% Basofil 30% Vision	80% Basofil 20% Vision	80% Basofil 20% Gymlene	80% POP 20% Vision
1	28,26	25,24	19,55	22,99	27,76
2	28,36	25,01	19,48	22,87	27,61
3	28,44	25,11	19,37	22,99	27,83
4	28,49	25,14	19,55	22,92	27,78
5	28,17	25,53	19,55	23,01	27,82

4.8 Statistické zpracování

Výsledné hodnoty naměřené na zkoušených vzorcích byly zpracovány podle vztahů (9,10,11) v kapitole 2.9.1 a 2.9.2.

4.8.1 Statistické zpracování hodnot hořlavosti

Tabulka 15: Statistické zpracování hořlavosti (pro příčně kladené vzorky)

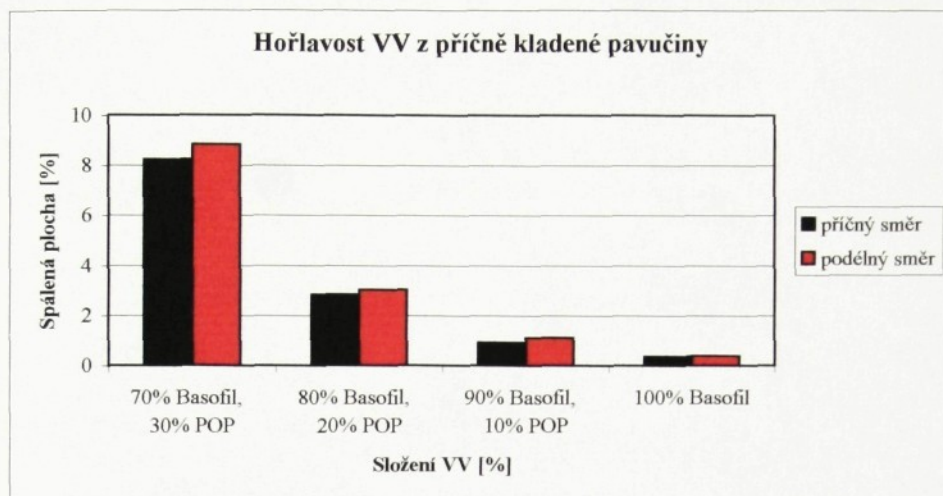
Vzorek	Směr vzorku	Zpracovávaný parametr	$\bar{X}_s$	s^2	s	v
70% Basofil 30% POP	Příčný	Spálená plocha [%]	8,25	0,12	0,35	4,24
	Podélný		8,84	0,07	0,26	2,94
80% Basofil 20% POP	Příčný	Spálená plocha [%]	2,83	0,08	0,28	9,89
	Podélný		3,02	0,08	0,29	9,60
90% Basofil 10% POP	Příčný	Spálená plocha [%]	0,92	0,01	0,12	13,04
	Podélný		1,11	0,005	0,07	6,31
100% Basofil	Příčný	Spálená plocha [%]	0,35	0,01	0,11	31,43
	Podélný		0,38	0,01	0,12	31,58

Tabulka 16: Statistické zpracování hořlavosti (pro kolmo kladené vzorky)

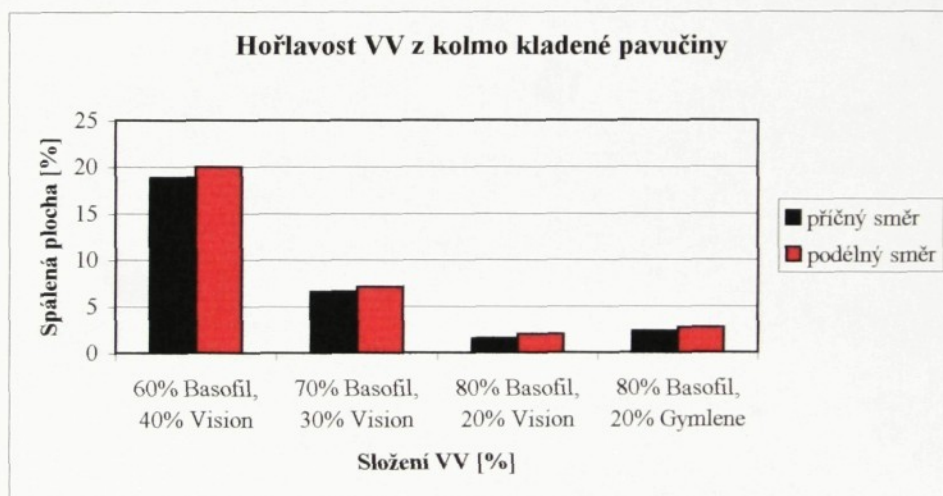
Vzorek	Směr vzorku	Zpracovávaný parametr	$\bar{X}_s$	s^2	s	v
60% Basofil 40% Vision	Příčný	Spálená plocha [%]	18,86	0,11	0,33	1,75
	Podélný		20,02	0,35	0,59	2,95
70% Basofil 30% Vision	Příčný	Spálená plocha [%]	6,56	0,04	0,20	3,05
	Podélný		7,08	0,05	0,22	3,11
80% Basofil 20% Vision	Příčný	Spálená plocha [%]	1,58	0,01	0,09	5,70
	Podélný		2,03	0,004	0,06	2,96
80% Basofil 20% Gymel	Příčný	Spálená plocha [%]	2,31	0,01	0,09	3,90
	Podélný		2,72	0,02	0,15	5,51

4.8.2 Diskuse zpracovaných výsledků hořlavosti

Z grafů uvedených na obrázcích 16, 17 je zřejmé, že u obou typů zkoušených vzorků (příčně kladených, kolmo kladených) klesá hořlavost se zvyšujícím se podílem obsahu Basofilu ve VV. U kolmo kladené pavučiny jsou zkoušené vzorky nehořlavé při nižším procentuálním zastoupení Basofilu ve směsi než u příčně kladené pavučiny. To je zřejmě způsobeno vyšší plošnou hmotností kolmo kladených vzorků. S rostoucí plošnou hmotností vzrůstá tepelná kapacita, takže při konstantní přiváděné tepelné energii vzrůstá též doba zápalnosti. U vyšší plošné hmotnosti dochází k hoření vnější vrstvy vláken, zatímco vnitřek působí jako nosná kostra.



Obrázek 16: Graf porovnávající hořlavost pro příčný a podélný směr u příčně kladených vzorků.



Obrázek 17: Graf porovnávající hořlavost pro příčný a podélný směr u kolmo kladených vzorků.

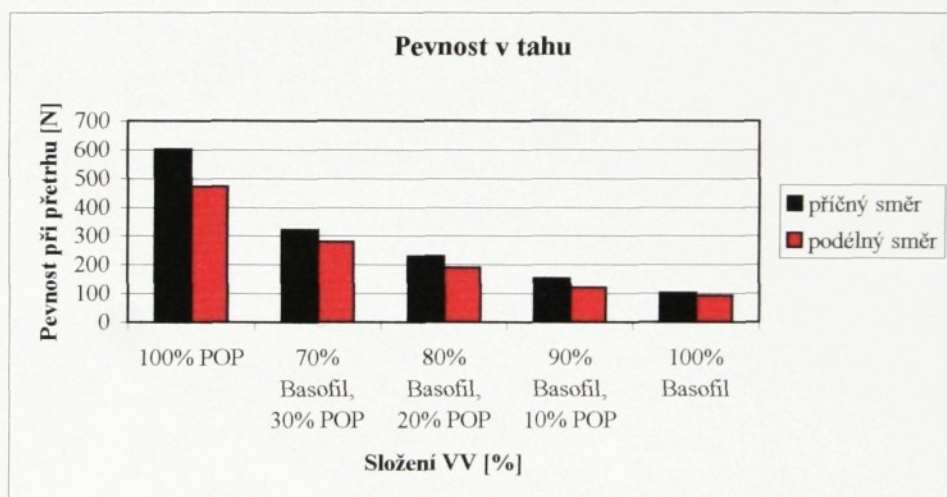
4.8.3 Statistické zpracování hodnot pevnosti v tahu a tažnosti

Tabulka 17: Statistické zpracování pevnosti v tahu a tažnosti

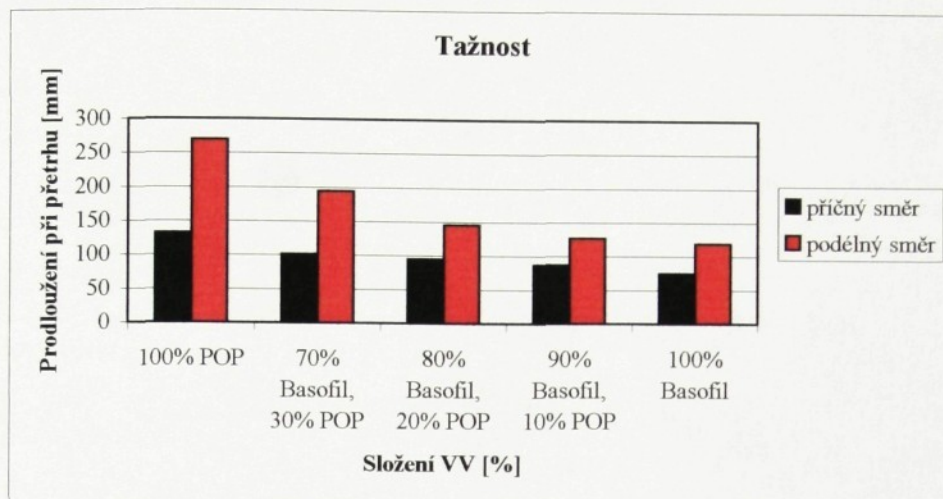
Vzorek	Směr vzorku	Zpracovávaný parametr	$\bar{X}_s$	s^2	s	v
100% POP	Příčný	Pevnost při přetrhu [N]	602,78	1256,0	35,44	5,88
		Prodloužení při přetrhu [mm]	132,36	181,71	13,48	10,18
	Podélný	Pevnost při přetrhu [N]	472,30	551,31	23,48	4,97
		Prodloužení při přetrhu [mm]	269,44	71,06	8,43	3,13
70% Basofil 30% POP	Příčný	Pevnost při přetrhu [N]	321,36	13,69	3,70	1,15
		Prodloužení při přetrhu [mm]	101,3	32,60	5,71	5,64
	Podélný	Pevnost při přetrhu [N]	280,02	22,85	4,78	1,71
		Prodloužení při přetrhu [mm]	194,18	294,12	17,15	8,83
80% Basofil 20% POP	Příčný	Pevnost při přetrhu [N]	230,00	151,29	12,30	5,35
		Prodloužení při přetrhu [mm]	94,57	7,13	2,67	2,82
	Podélný	Pevnost při přetrhu [N]	190,56	144,00	12,00	6,30
		Prodloužení při přetrhu [mm]	145,18	35,16	5,93	4,08
90% Basofil 10% POP	Příčný	Pevnost při přetrhu [N]	152,58	51,70	7,19	4,71
		Prodloužení při přetrhu [mm]	87,40	9,12	3,02	3,46
	Podélný	Pevnost při přetrhu [N]	121,20	85,93	9,27	7,65
		Prodloužení při přetrhu [mm]	127,18	8,70	2,95	2,32
100% Basofil	Příčný	Pevnost při přetrhu [N]	103,4	7,29	2,70	2,61
		Prodloužení při přetrhu [mm]	74,52	14,21	3,77	5,06
	Podélný	Pevnost při přetrhu [N]	91,76	33,87	5,82	6,34
		Prodloužení při přetrhu [mm]	119,08	4,20	2,05	1,72

4.8.4 Diskuse výsledků měření pevnosti v tahu a tažnosti

Z grafu uvedeného na obrázku 18 je vidět, že s rostoucím obsahem Basofilových vláken ve VV pevnost v tahu pro oba směry (příčný, podélný) klesá. Větší pevnost vykazuje příčný směr u vzorků a to u všech zkoumaných směsí, což bylo očekáváno, neboť je to směr převážné orientace vláken ve VV. Tyto vzorky mají zároveň nižší tažnost než vzorky podélného směru (viz. obr. 19). U 100 %ního POP bylo dosaženo nejvyšší pevnosti v tahu, avšak vzorky se složením 70% Basofil/ 30% POP dosáhly při poměrně nízké koncentraci POP vláken přibližně poloviční hodnoty pevnosti 100 %ního POP.



Obrázek 18: Graf porovnávající pevnost při přetrhu pro příčný a podélný směr vzorků.



Obrázek 19: Graf porovnávající tažnost pro příčný a podélný směr vzorků.

4.8.5 Statistické zpracování hodnot odporu proti stlačení

Tabulka 18: Statistické zpracování odporu proti stlačení

Vz.	Zpracovávaný parametr	$\bar{X}_s$	s^2	s	v
60% Basofil 40% Vision	Odpor proti stlač. [kPa]	2,85	0,02	0,14	4,91
	Modul tuhosti [°]	65	2,19	1,48	2,28
	Hystereze 1. cyklus [%]	47,17	0,06	0,24	0,51
	Hystereze 2. cyklus [%]	39,63	0,03	0,16	0,40
	Hystereze 5. cyklus [%]	37,25	0,07	0,27	0,72
70% Basofil 30% Vision	Odpor proti stlač. [kPa]	1,91	0,06	0,24	12,57
	Modul tuhosti [°]	56	12,53	3,54	6,32
	Hystereze 1. cyklus [%]	46,74	0,46	0,68	1,45
	Hystereze 2. cyklus [%]	39,62	0,12	0,35	0,88
	Hystereze 5. cyklus [%]	37,58	0,14	0,38	1,01
80% Basofil 20% Vision	Odpor proti stlač. [kPa]	1,25	0,03	0,16	12,80
	Modul tuhosti [°]	44	13,18	3,63	8,25
	Hystereze 1. cyklus [%]	47,23	0,55	0,74	1,57
	Hystereze 2. cyklus [%]	41,14	0,11	0,33	0,80

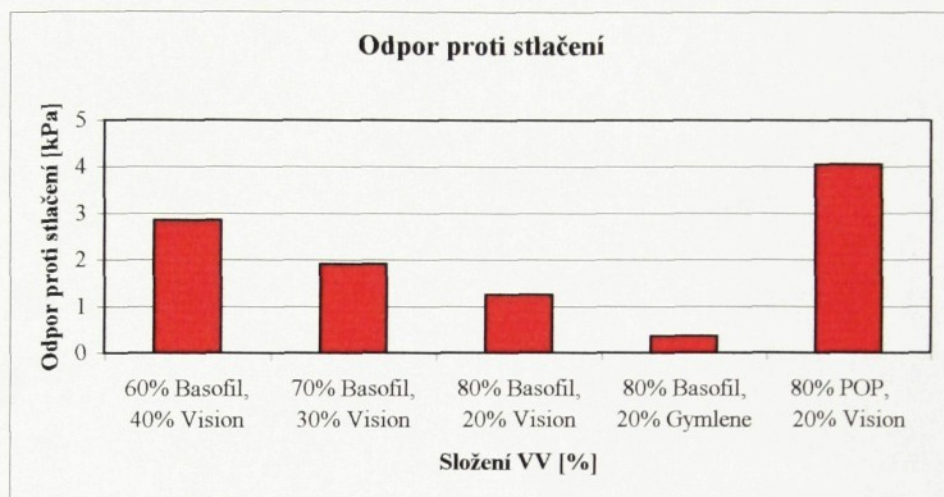
	Hystereze 5. cyklus [%]	39,41	0,07	0,27	0,69
80% Basofil 20% Gymlene	Odpor proti stlač. [kPa]	0,36	0,005	0,07	19,44
	Modul tuhosti [°]	17	10,30	3,21	18,88
	Hystereze 1. cyklus [%]	44,91	0,27	0,52	1,16
	Hystereze 2. cyklus [%]	40,26	0,40	0,63	1,56
	Hystereze 5. cyklus [%]	38,93	0,66	0,81	2,08
80% POP 20% Vision	Odpor proti stlač. [kPa]	4,06	0,37	0,61	15,02
	Modul tuhosti [°]	74	6,30	2,51	3,39
	Hystereze 1. cyklus [%]	48,89	5,81	2,41	4,93
	Hystereze 2. cyklus [%]	40,60	0,24	0,49	1,21
	Hystereze 5. cyklus [%]	37,96	0,14	0,38	1,00

Pokračování tabulky 18

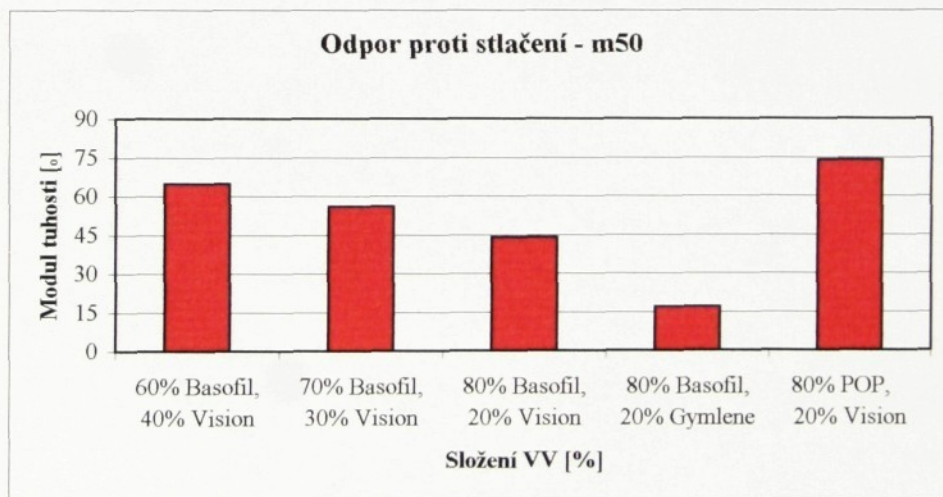
4.8.6 Diskuse výsledků měření odporu proti stlačení

Z grafů na obrázcích 20 a 21 vyplývá, že nejvyšší odpor proti stlačení a rovněž i modul tuhosti, který odpor proti stlačení charakterizuje, mají vzorky ve složení 80 % POP/ 20 % Vision. Poměrně vysoký odpor proti stlačení a modul tuhosti je i u vzorků se složením 60 % Basofil/ 40 % Vision. Je rovněž patrné, že s rostoucím procentuálním zastoupením Basofilu ve VV odpor proti stlačení a modul tuhosti klesá. Rozdíly u vzorků s 80 %ním obsahem Basofilu a v jednom případě s 20 %ním obsahem Visionu a v druhém Gymlenu jsou možná způsobeny rozdílnou objemovou hmotností. V případě vzorků 80 % Basofil/ 20 % Gymlene je objemová hmotnost nižší a zrovna tak i odpor proti stlačení a modul tuhosti. U vyšších objemových hmotností jsou totiž vlákna mezi sebou více nahuštěna a mohou si proto poskytovat větší vzájemnou oporu, nežli méně nahuštěná vlákna.

Společným faktorem ovlivňujícím odpor proti stlačení u kolmo kladených netkaných textilií je jejich tloušťka, vymezující úsek vlákna, na který působí zatěžovací síla. Se snižující se délkou roste jeho tuhost ve směru působící síly. Tuhost pak přímo určuje odpor proti stlačení.

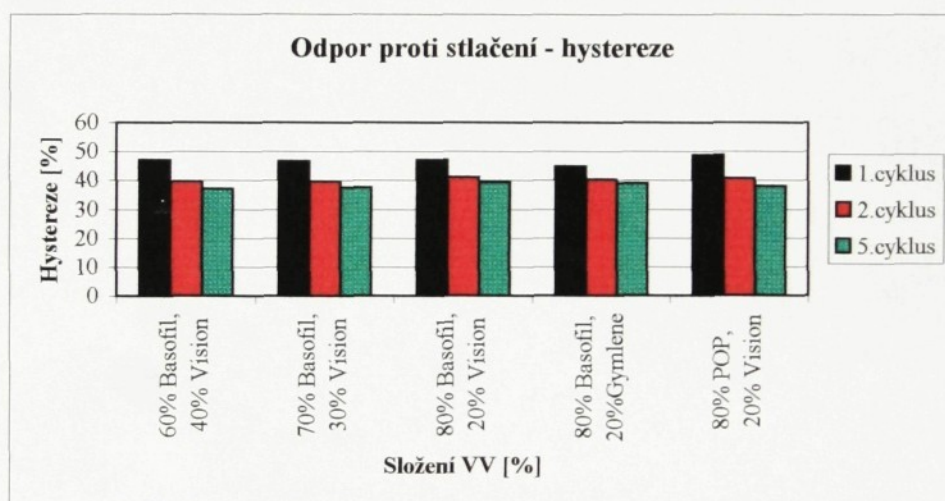


Obrázek 20: Graf porovnání odporu proti stlačení v kPa u zkoušených vzorků.



Obrázek 21: Graf porovnání modulů tuhosti vzorků, testovaných na odpor proti stlačení, při stlačení vzorků o 50 %.

Z grafu na obrázku 22 je zřejmé, že hystereze již ve druhém cyklu dosahuje, u všech vzorků, daleko menších hodnot než hystereze v prvním cyklu. To je patrně způsobeno trvalou deformací, která u vzorků (vláken) narůstá během cyklů deformování. Jak z grafu na obrázku 22 vyplývá, největší pokles hystereze je vidět, u všech vzorků, právě ve druhém cyklu. Hodnoty hystereze ve druhém a pátém cyklu se již příliš neliší. Graf rovněž vykazuje, že v hodnotách hystereze, ve všech cyklech, u všech vzorků, nejsou téměř rozdíly. Při jejich porovnání nelze usuzovat na žádnou závislost. Dle grafu na změnu hystereze nemá vliv ani tloušťka, ani objemová hmotnost.



Obrázek 22: Graf kompresních charakteristik vzorků testovaných v odporu proti stlačení

4.8.7 Statistické zpracování hodnot trvalé deformace v tlaku

Tabulka 19: Statistické zpracování trvalé deformace v tlaku – za studena

Vz.	Zpracovávaný parametr	$\bar{X}_s$	s^2	s	v
60% Basofil 40% Vision	h_0 [mm]	25,50	0,006	0,08	0,31
	h_1 [mm]	22,89	0,010	0,10	0,44
	E [%]	10,24	0,014	0,12	1,17
70% Basofil 30% Vision	h_0 [mm]	25,00	0,003	0,05	0,20
	h_1 [mm]	22,22	0,002	0,04	0,18
	E [%]	11,12	0,003	0,05	0,45
80% Basofil 20% Vision	h_0 [mm]	24,58	0,004	0,06	0,24
	h_1 [mm]	21,59	0,008	0,09	0,42
	E [%]	12,18	0,023	0,15	1,23
80% Basofil 20% Gymlene	h_0 [mm]	23,28	0,004	0,06	0,26
	h_1 [mm]	20,46	0,004	0,06	0,29
	E [%]	12,13	0,004	0,06	0,49
80% POP 20% Vision	h_0 [mm]	23,65	0,002	0,04	0,17
	h_1 [mm]	19,46	0,004	0,06	0,31
	E [%]	17,7	0,010	0,10	0,56

Tabulka 20: Statistické zpracování trvalé deformace v tlaku – za tepla

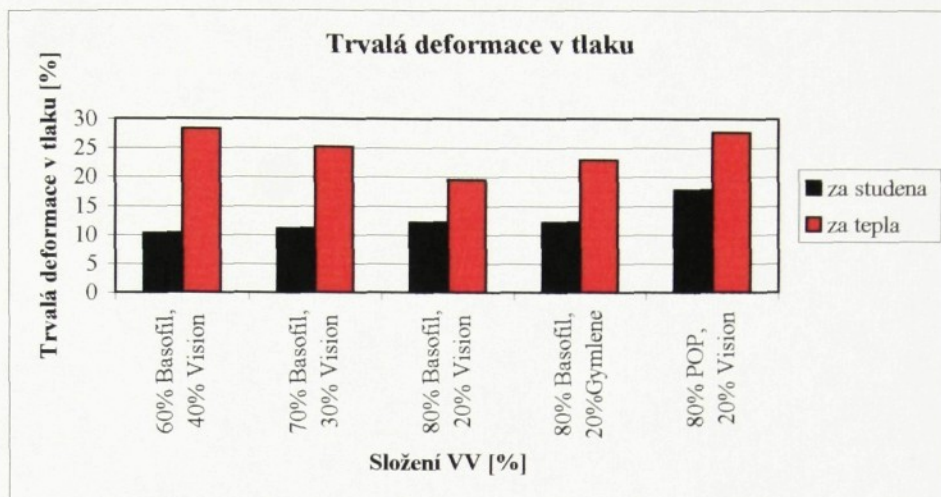
Vz.	Zpracovávaný parametr	$\bar{X}_s$	s^2	s	v
60% Basofil 40% Vision	h_0 [mm]	25,53	0,004	0,06	0,24
	h_1 [mm]	18,29	0,004	0,06	0,33
	E [%]	28,34	0,017	0,13	0,46
70% Basofil 30% Vision	h_0 [mm]	24,98	0,002	0,04	0,16
	h_1 [mm]	18,68	0,004	0,06	0,32

	E [%]	25,21	0,040	0,20	0,79
80% Basofil 20% Vision	h_0 [mm]	24,60	0,002	0,04	0,16
	h_1 [mm]	19,80	0,001	0,03	0,15
	E [%]	19,50	0,006	0,08	0,41
80% Basofil 20% Glymlene	h_0 [mm]	23,31	0,004	0,06	0,26
	h_1 [mm]	17,96	0,004	0,06	0,33
	E [%]	22,96	0,004	0,06	0,26
80% POP 20% Vision	h_0 [mm]	23,63	0,003	0,05	0,21
	h_1 [mm]	17,07	0,003	0,05	0,29
	E [%]	27,76	0,008	0,09	0,32

Pokračování tabulky 20

4.8.8 Diskuse zpracovaných výsledků trvalé deformace v tlaku

Ze sloupcového grafu uvedeného na obrázku 23 je vidět, že trvalá deformace v tlaku se za tepla snižuje s rostoucím obsahem Basofilových vláken ve zkušebních vzorcích. Naopak za studena se trvalá deformace v tlaku zvyšuje s rostoucím procentuálním zastoupením Basofilu ve vlákenné vrstvě, kromě vzorků se složením 80 % POP/ 20 % Vision, které dosahovaly vůbec nejvyšších hodnot trvalé deformace v tlaku za studena. To mohlo být způsobeno krátkou dobou zotavení (30 minut) po provedení zkoušky. Jednou z nevýhod POP vláken je totiž jejich pomalé zotavení, které mohlo ovlivnit naměřené hodnoty. Lze říci, že u všech zkoušených vzorků měla trvalá deformace v tlaku za studena daleko nižší hodnoty než za tepla.



Obrázek 23: Graf porovnávající vzorky testované na trvalou deformaci za studena a za tepla

4.9 Ekonomický rozbor

Protože jedním z rozhodujících faktorů pro volbu určitého produktu je i stránka finanční, bude v této části provedeno alespoň stručné zhodnocení. Jedná se však pouze o přibližné ceny vláken použitých na výrobu zkušebních vzorků. Abychom získali skutečné ceny výrobku, bylo by nutné připočítat ještě náklady na zařízení a provoz, mzdy, atd..

Polypropylénová vlákna	40,- Kč/ kg
Basofilová vlákna	250,- Kč/ kg
Gymlene (vlákna nízkohustotního polyethylenu)	60,- Kč/ kg
Vision (bikomponentní vlákna POP/PE)	70,- Kč/ kg

5 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zjistit, jak velký podíl Basofilových vláken ve vlákenné směsi s polypropylenovými vlákny je třeba, aby z této směsi vyrobená textilie (kolmo a příčně kladená) byla úplně, nebo téměř nehořlavá, ale zároveň také vykazovala jisté mechanické vlastnosti v rámci dalšího použití. U obou typů vzorků (kolmo a příčně kladených) byly provedeny a vyhodnoceny testy hořlavosti, u příčně kladených vzorků byla testována také pevnost v tahu a u kolmo kladených vzorků kompresní vlastnosti, tj. odpor proti stlačení a trvalá deformace v tlaku.

Příčně kladené vzorky splňují podmínku nehořlavosti až v sedmdesátiprocentním a vyšším zastoupení Basofilu. U vzorků se sedmdesátiprocentním obsahem Basofilu bylo rovněž dosaženo poměrně dobré pevnosti v tahu, i když je tato ve srovnání se stoprocentním polypropylénem menší. S rostoucím podílem Basofilových vláken ve vlákenné vrstvě pevnost v tahu klesá.

Kolmo kladené vzorky jsou nehořlavé při šedesátiprocentním a vyšším zastoupení Basofilových vláken ve vlákenné vrstvě. U kolmo kladených vzorků bylo v testech nehořlavosti dosaženo lepších výsledků, což bylo patrně způsobeno větší plošnou hmotností, jak je vysvětleno a popsáno v kapitole 4.8.2. Kolmo kladené vzorky s obsahem Basofilových vláken mají v porovnání se vzorky ve složení 80 % POP/ 20 % Vision nižší odpor proti stlačení, i když vzorky se šedesátiprocentním zastoupením Basofilu ve vlákenné vrstvě dosahují rovněž dobrých výsledků (viz. kapitola 4.8.6). Vzorky s obsahem Basofilu dokonce vykázaly lepší (nižší) hodnoty v trvalé deformaci v tlaku a to jak za studena tak za tepla (viz. kapitola 4.8.8). I když moje diplomová práce nezahrnuje všechna hlediska potřebná k odpovědnému zhodnocení, domnívám se, že na základě dosažených výsledků, je reálné uplatnění některých zkoušených směsí např. v automobilovém průmyslu, ať už v prostoru pro posádku jako obložení střechy, obložení prostoru pod

zadními sedadly, koberec a podlahová izolace, obložení dveří; nebo v zavazadlovém prostoru jako obložení podlahy zavazadlového prostoru, obložení dveří zavazadlového prostoru; anebo v motorovém prostoru jako obložení a izolace kapoty, izolace – přepážka motorového prostoru, izolace tunelu převodovky. Materiál lze rovněž aplikovat u letadel, lodí, a dalších dopravních prostředků. Nevýhodou pro široké uplatnění materiálu je poměrně vysoká cena Basofilových vláken. Případní výrobci musí sami posoudit, zda budou preferovat levnější materiál (tzn. nižší náklady pro výrobu) nebo snížení hořlavosti výrobku.

6 Seznam použité literatury

- [1] Kučerová, A.: Způsoby nánosu nehořlavých úprav na objemné textilie a sledování stupně jejich hořlavosti, DP, TU Liberec, 1996
- [2] Blažej, A.: Speciální chemické úpravy textilií, publ., Alfa Bratislava, 1986
- [3] Buchar, J. a kol.: Pokroky vědy a techniky v textilním průmyslu – Zušlechťování, publ., SNTL Praha, 1982
- [4] Borecký, M.: Nehořlavá úprava objemných textilií, DP, TU Liberec, 1995
- [5] Basofil – firemní literatura k vláknům
- [6] Kynol – firemní literatura k vláknům
- [7] Sodomka, L.: Uhlíková vlákna, jejich struktura, technologie, vlastnosti a použití, výzkumná zpráva, VŠST Liberec, 1994
- [8] Rauch, H.W.; Sutton, W.H.; McCreight, L.R.: Ceramic fibers and fibrous composite materials, publ., Academic Press, New York and London, 1968
- [9] Košková, B.: Kompozitní materiály, přednášky, TU Liberec, 2000
- [10] Jirsák, O. – Macková, I.: Netkané textilie, skriptum, TU Liberec, 1997
- [11] Hanuš, J.: Technické textilie, přednášky, TU Liberec, 1999
- [12] Kořínek, Z.: Vlákna pro kompozity s polymerní matricí, skriptum, ČVUT Praha, 1996
- [13] Militký, J.: Textilní vlákna, skriptum, TU Liberec 1995
- [14] Soukupová, M. – Vacková, V.: Vliv suroviny na trvalou deformaci za tepla, semestrální práce, TU Liberec
- [15] Košková, B.: Struktura a vlastnosti vláken, skriptum, VŠST Liberec, 1989
- [16] Hanousek, J. – Charamza, P.: Moderní metody zpracování dat – matematická statistika pro každého, publ., Grada Praha, 1992

- [17] ČSN 80 0845: Stanovení objemové hmotnosti
- [18] ČSN 80 0844: Stanovení tloušťky
- [19] ČSN 80 0815: Zkoušení hořlavosti plošných textilií s obsahem syntetických vláken nad 50 %
- [20] ČSN 80 6133: Zjišťování pevnosti v tahu a tažnosti
- [21] ČSN 64 5441: Stanovení odporu proti stlačení měkkých lehčených hmot
- [22] ČSN 64 5442: Stanovení trvalé deformace v tlaku měkkých lehčených hmot
- [23] Krčma, R.: Stroje a mechanické technologie netkaných textilií, skriptum, VŠST Liberec 1986
- [24] Schejbalová, H.: Úvod do makromolekulární chemie, studijní materiály, TU Liberec, 1998

PŘÍLOHY

Počet příloh:	1
Počet stran:	27
Počet grafů:	25

Seznam příloh

Příloha 1

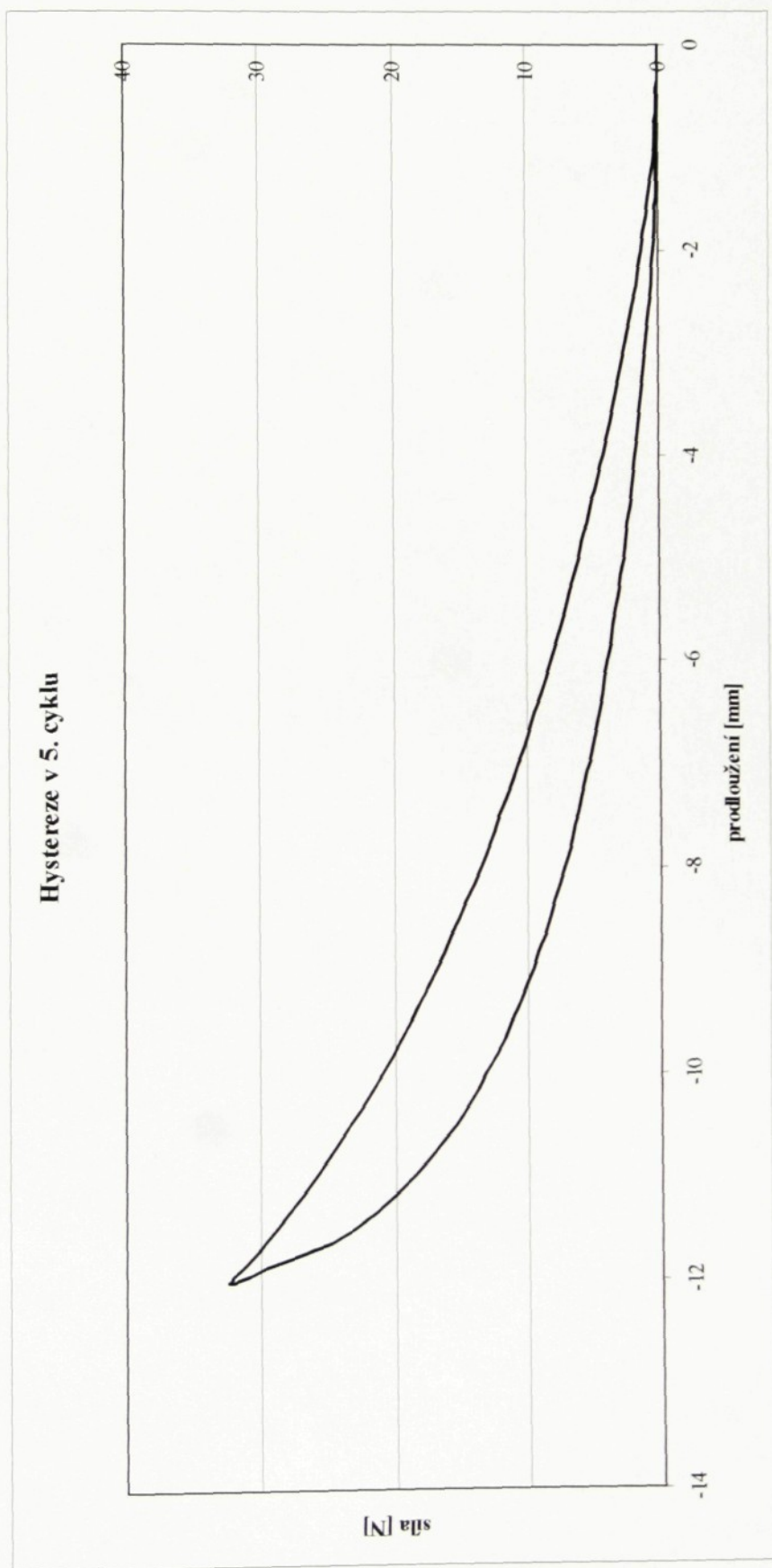
	str.
Hystereze v 5. cyklu	
Pro vzorky 80 % POP/ 20 % Vision	3
Pro vzorky 80 % Basofil/ 20 % Gymlene	8
Pro vzorky 80 % Basofil/ 20 % Vision	13
Pro vzorky 70 % Basofil/ 30 % Vision	18
Pro vzorky 60 % Basofil/ 40 % Vision	23

Pozn.: V příloze jsou uvedeny grafy hystereze v 5. cyklu, kterých bylo použito pro stanovení hodnot odporu proti stlačení a modulu tuhosti. Ostatní grafy (hystereze v 1. a 2. cyklu) nejsou do příloh vloženy, jelikož kromě zjištěných hodnot hystereze v těchto cyklech nesloužily pro jiné výpočty.

PŘÍLOHA 1

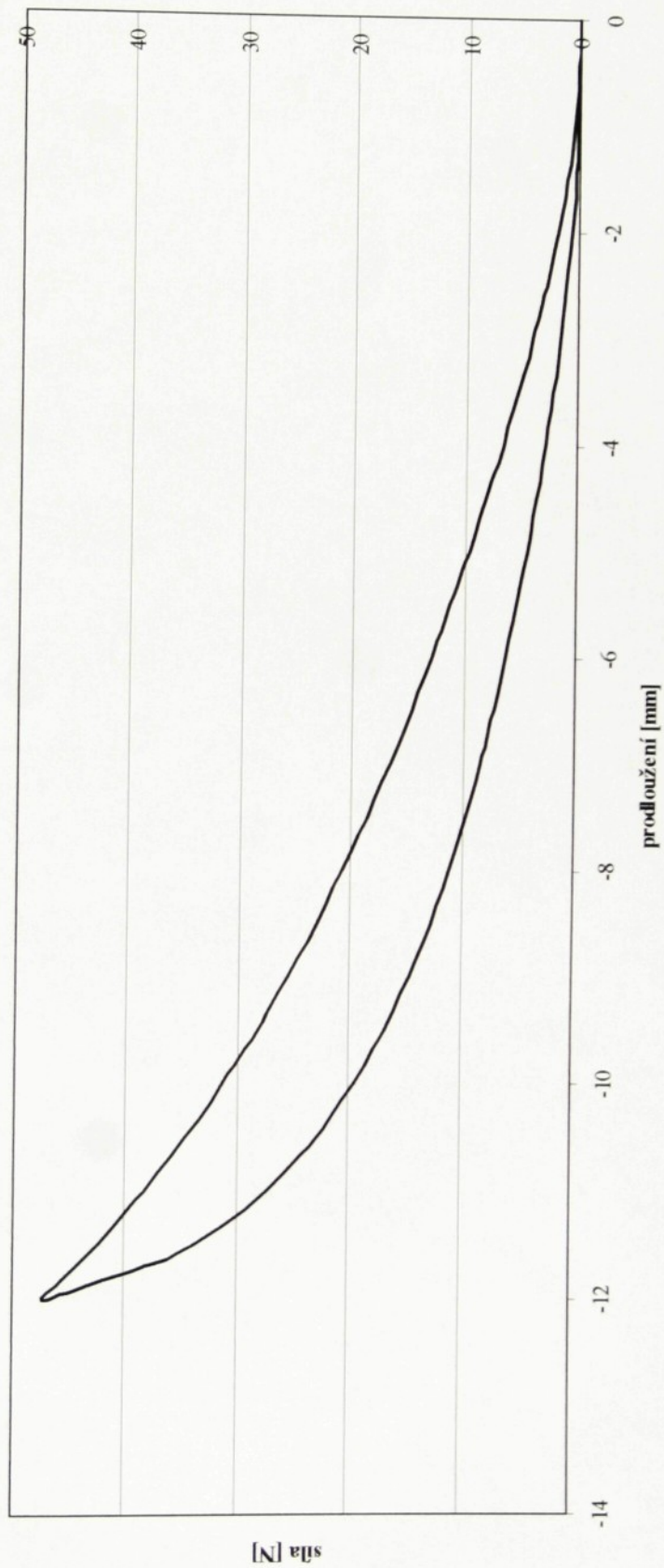
Hystereze v 5. cyklu

Graf 1: Hystereze v 5. cyklu (80 % POP/ 20 % Vision – 1. vzorek)

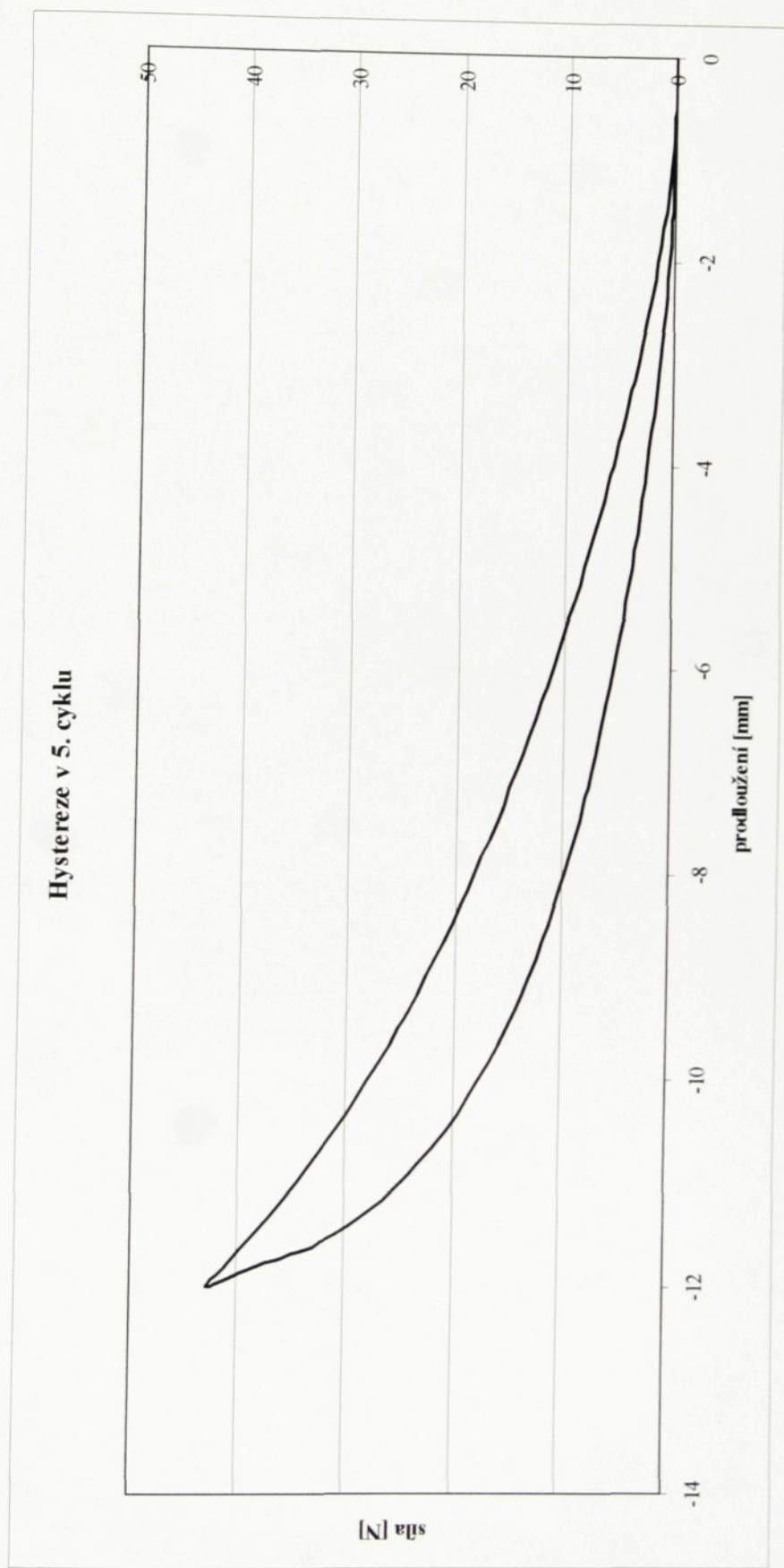


Graf 2: Hystereze v 5. cyklu (80 % POP/ 20 % Vision – 2. vzorek)

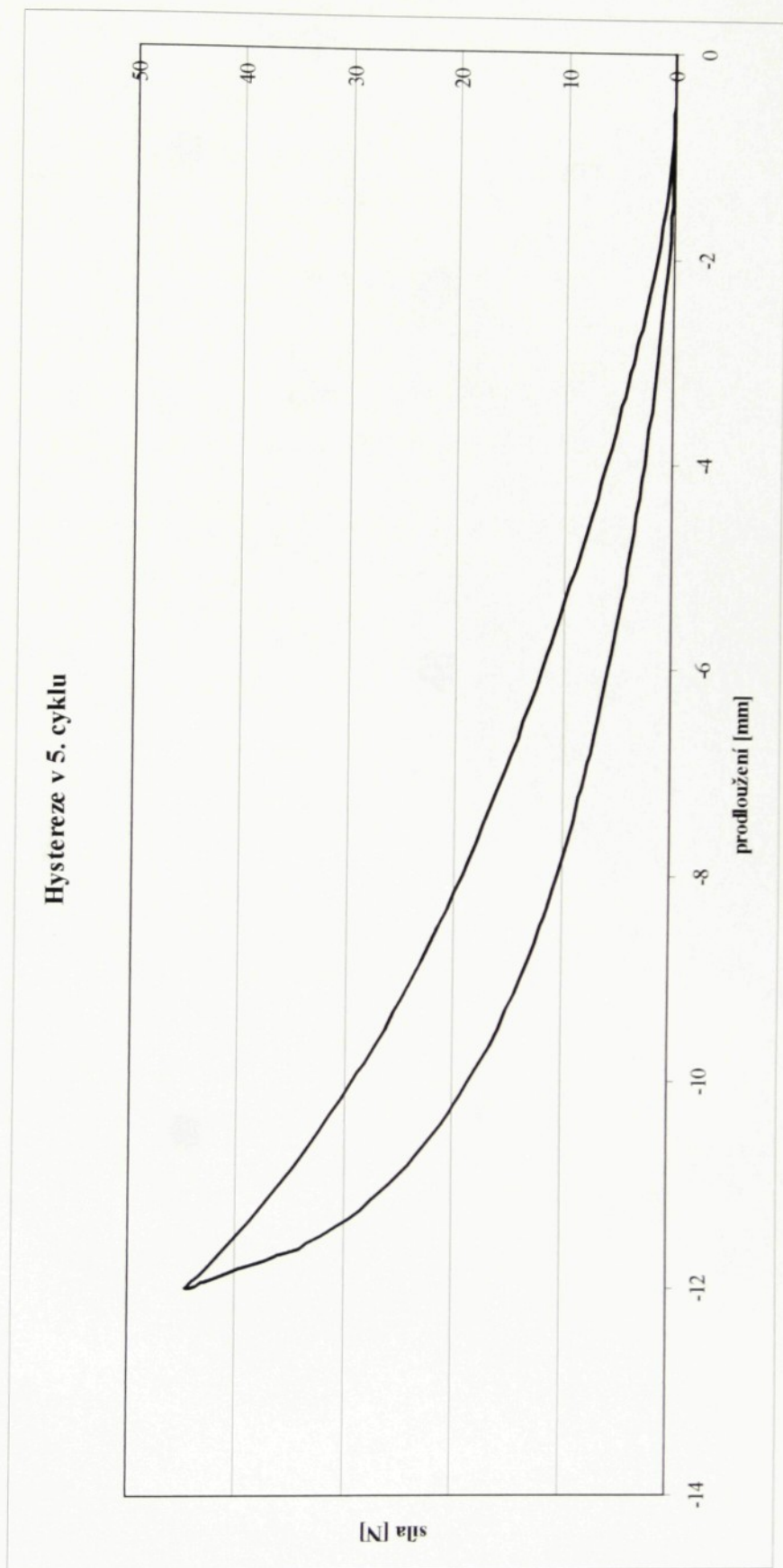
Hystereze v 5. cyklu



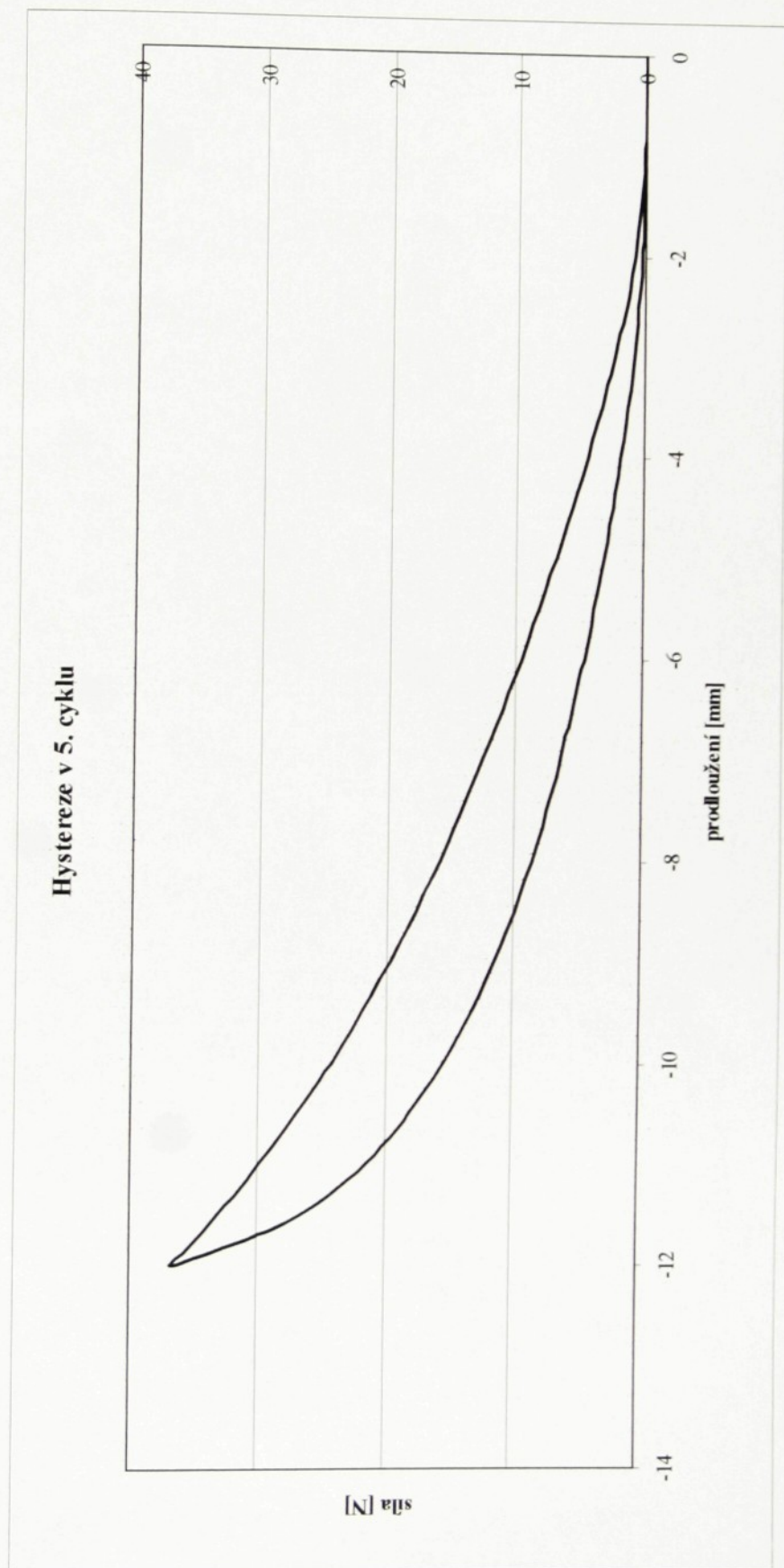
Graf 3: Hystereze v 5. cyklu (80 % POP / 20 % Vision – 3. vzorek)



Graf 4: Hystereze v 5. cyklu (80 % POP/ 20 % Vision – 4. vzorek)

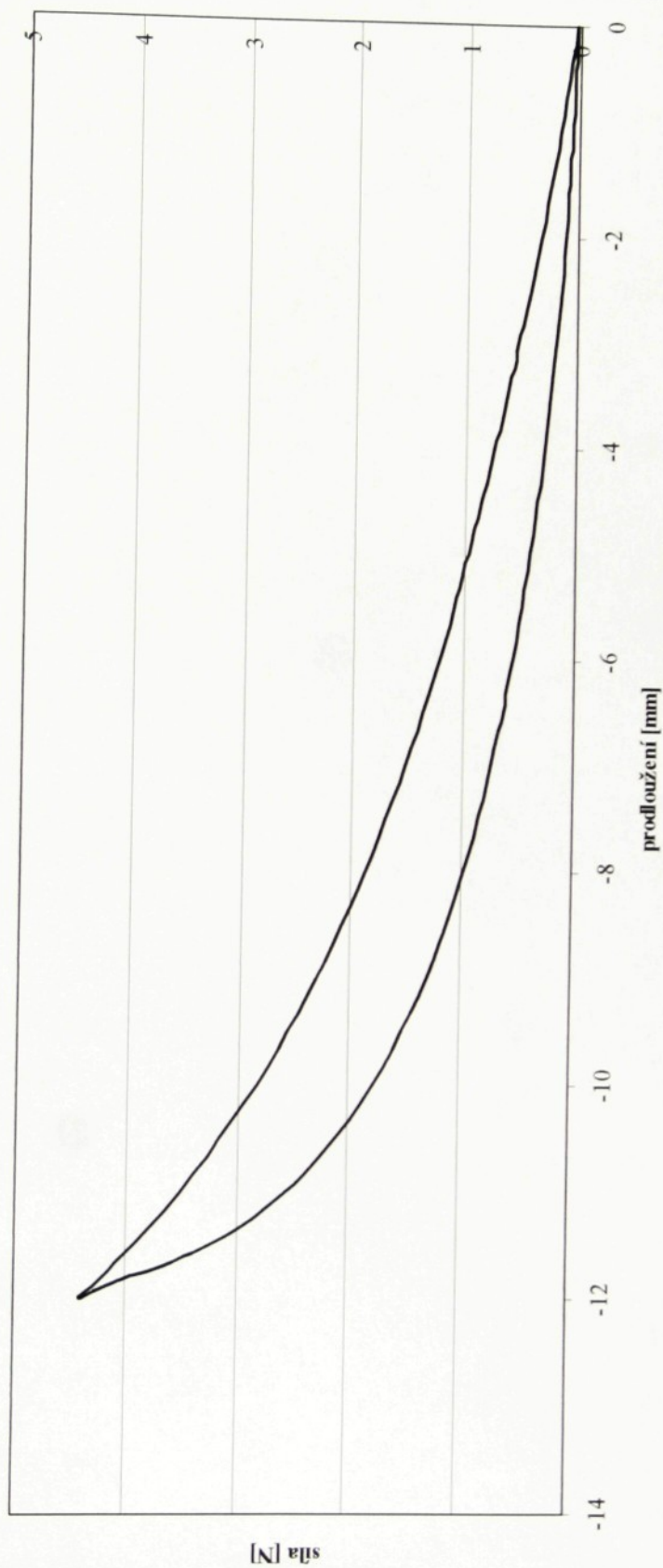


Graf 5: Hystereze v 5. cyklu (80 % POP/ 20 % Vision – 5. vzorek)

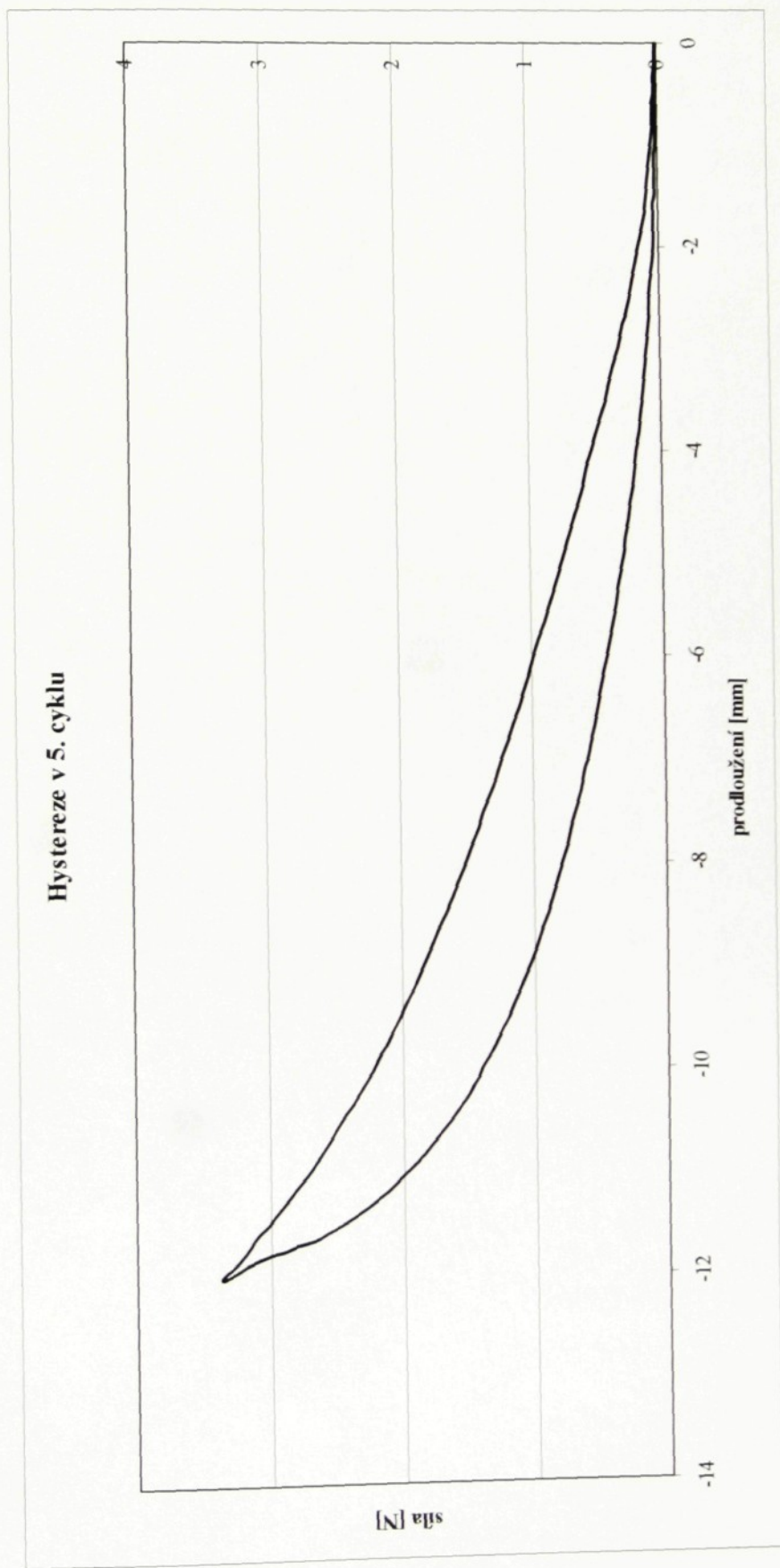


Graf 6: Hystereze v 5. cyklu (80 % Basofil/ 20 % Gymlene – 1. vzorek)

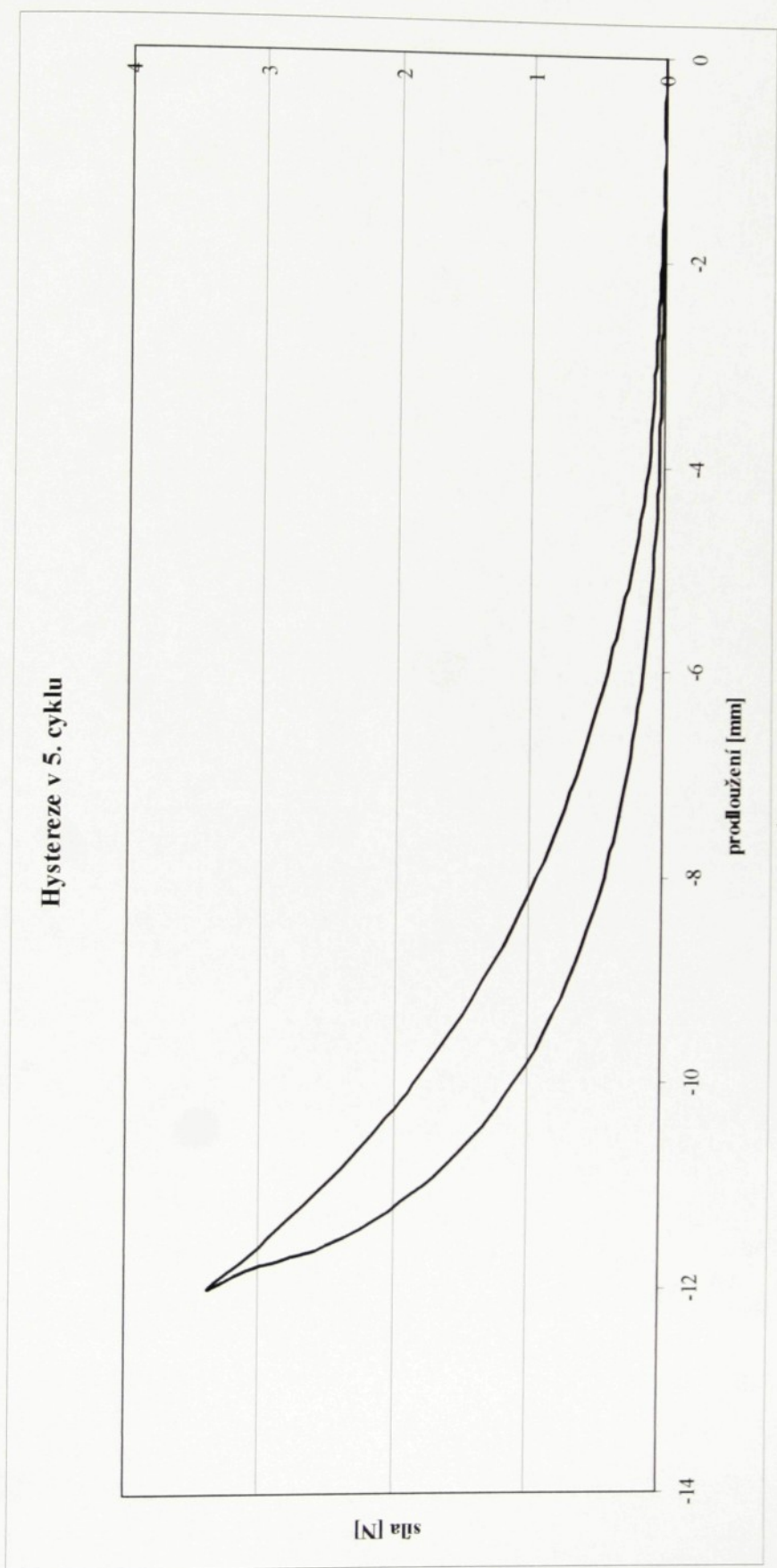
Hystereze v 5. cyklu



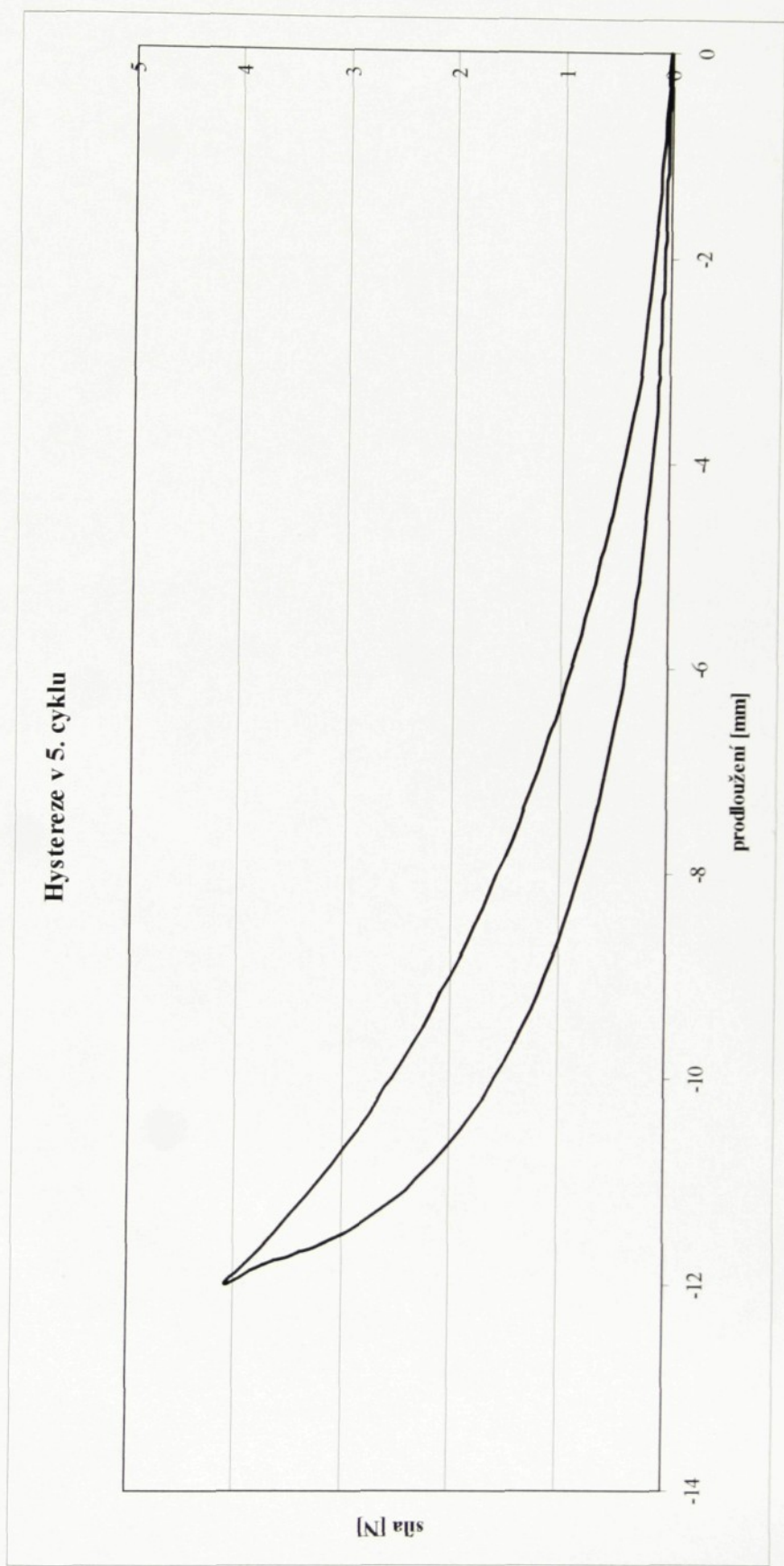
Graf 7: Hystereze v 5. cyklu (80 % Basofil/ 20 % Gymlene – 2. vzorek)



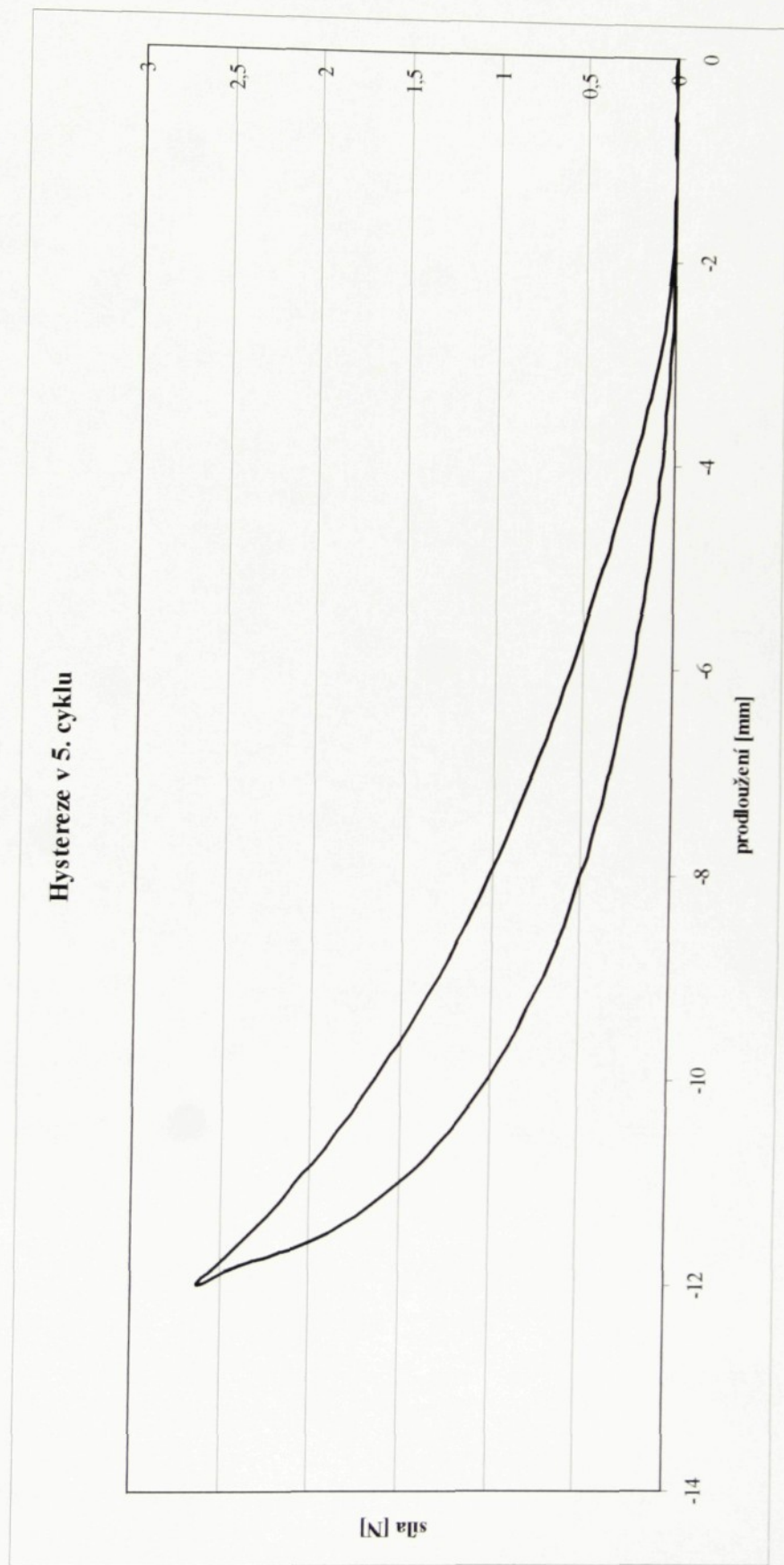
Graf 8: Hystereze v 5. cyklu (80 % Basofil/ 20 % Gymlene – 3. vzorek)



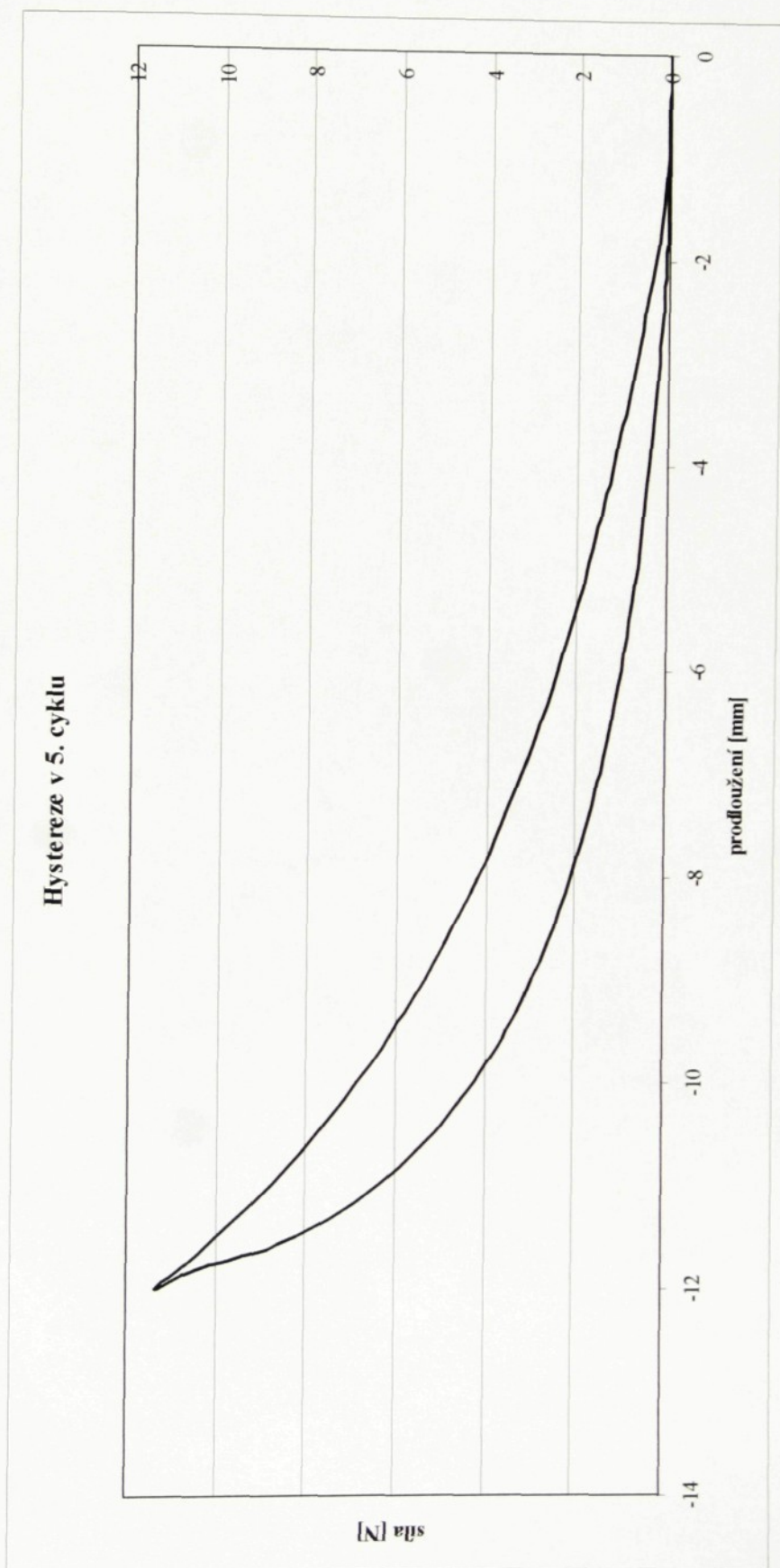
Graf 9: Hystereze v 5. cyklu (80 % Basofil/ 20 % Gymlene – 4. vzorek)



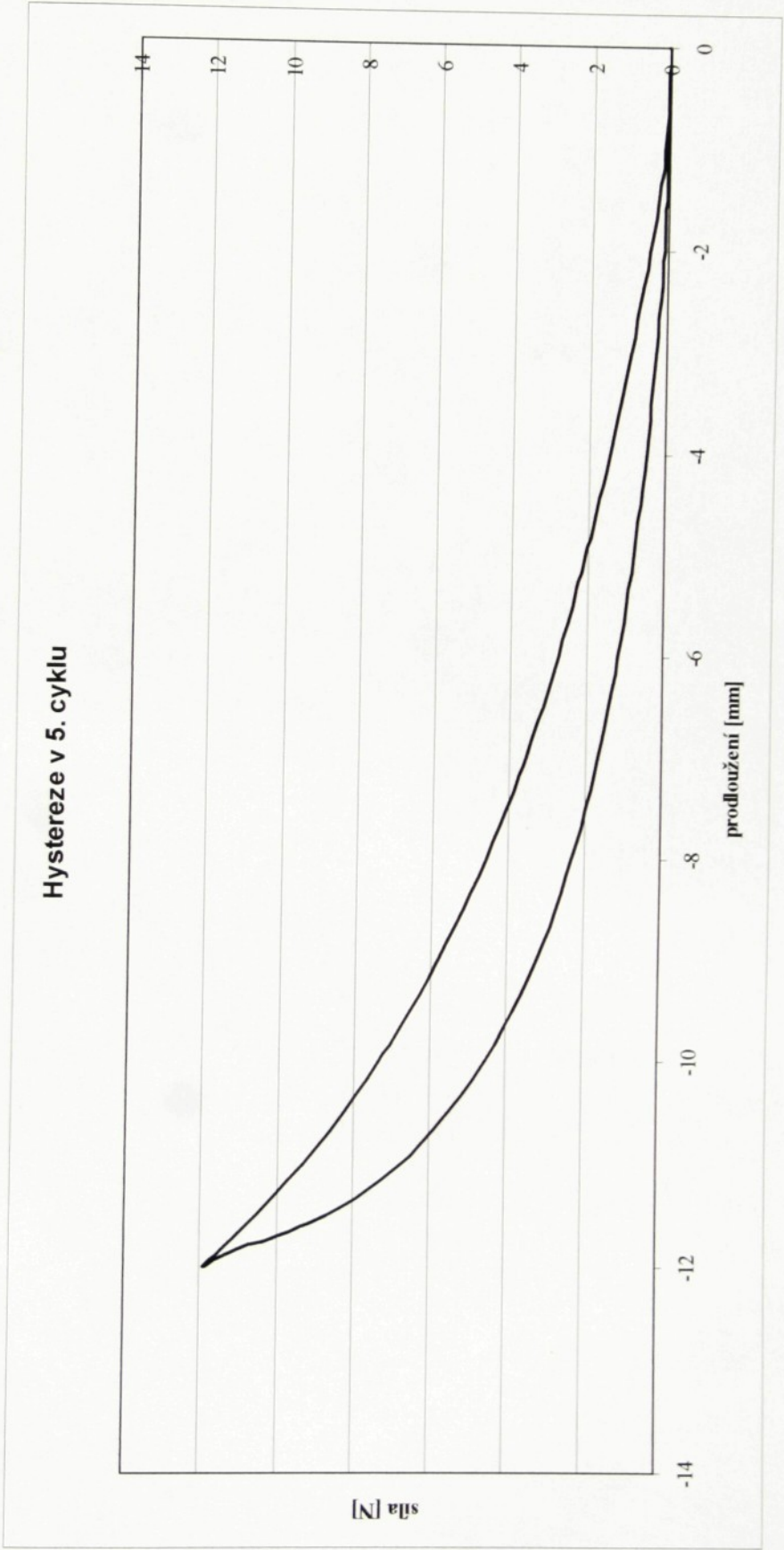
Graf 10: Hystereze v 5. cyklu (80 % Basofil/ 20 % Gymlene – 5. vzorek)



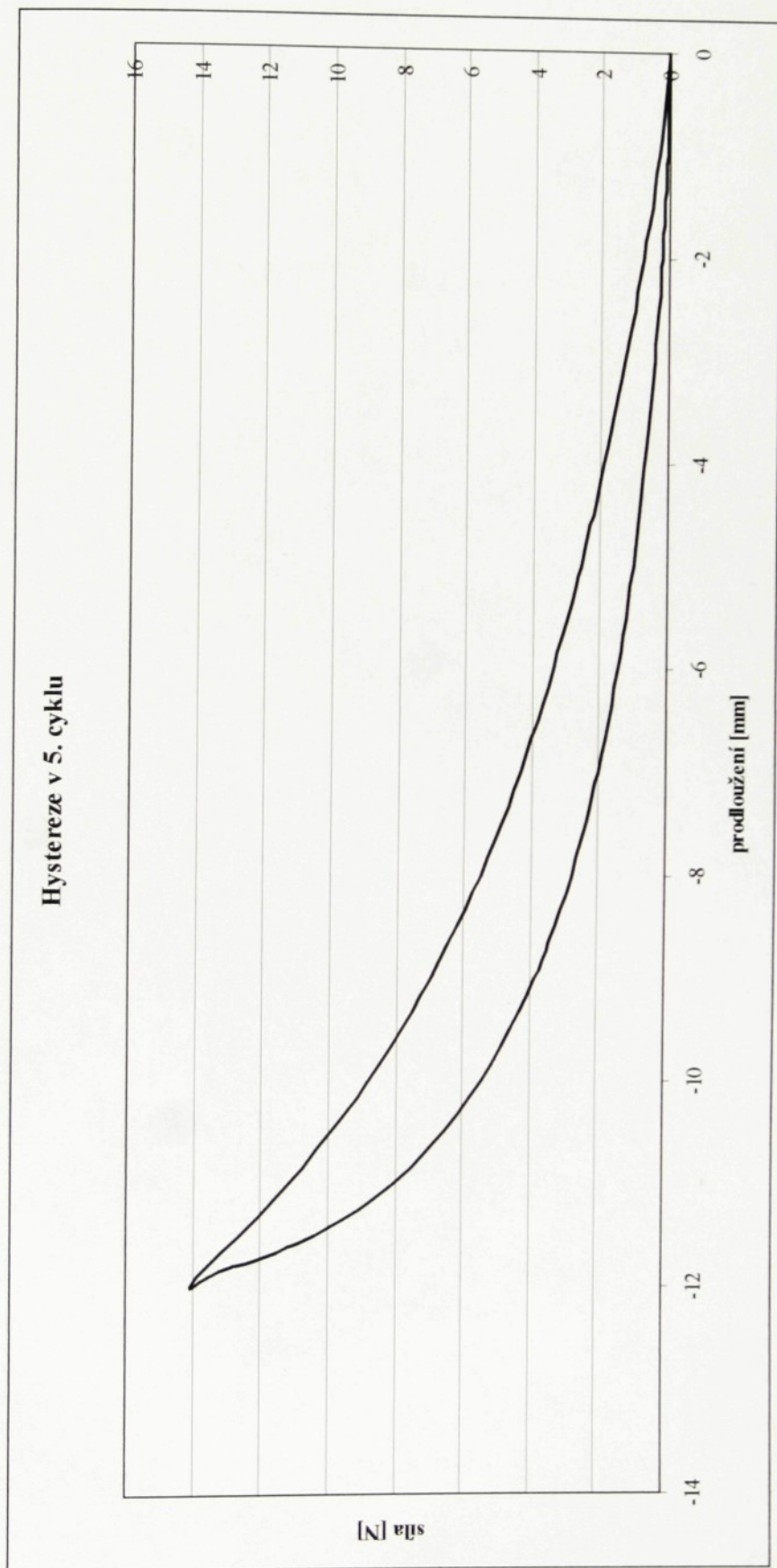
Graf 11: Hystereze v 5. cyklu (80 % Basofil/ 20 % Vision – 1. vzorek)



Graf 12: Hystereze v 5. cyklu (80 % Basofil/ 20 % Vision – 2. vzorek)

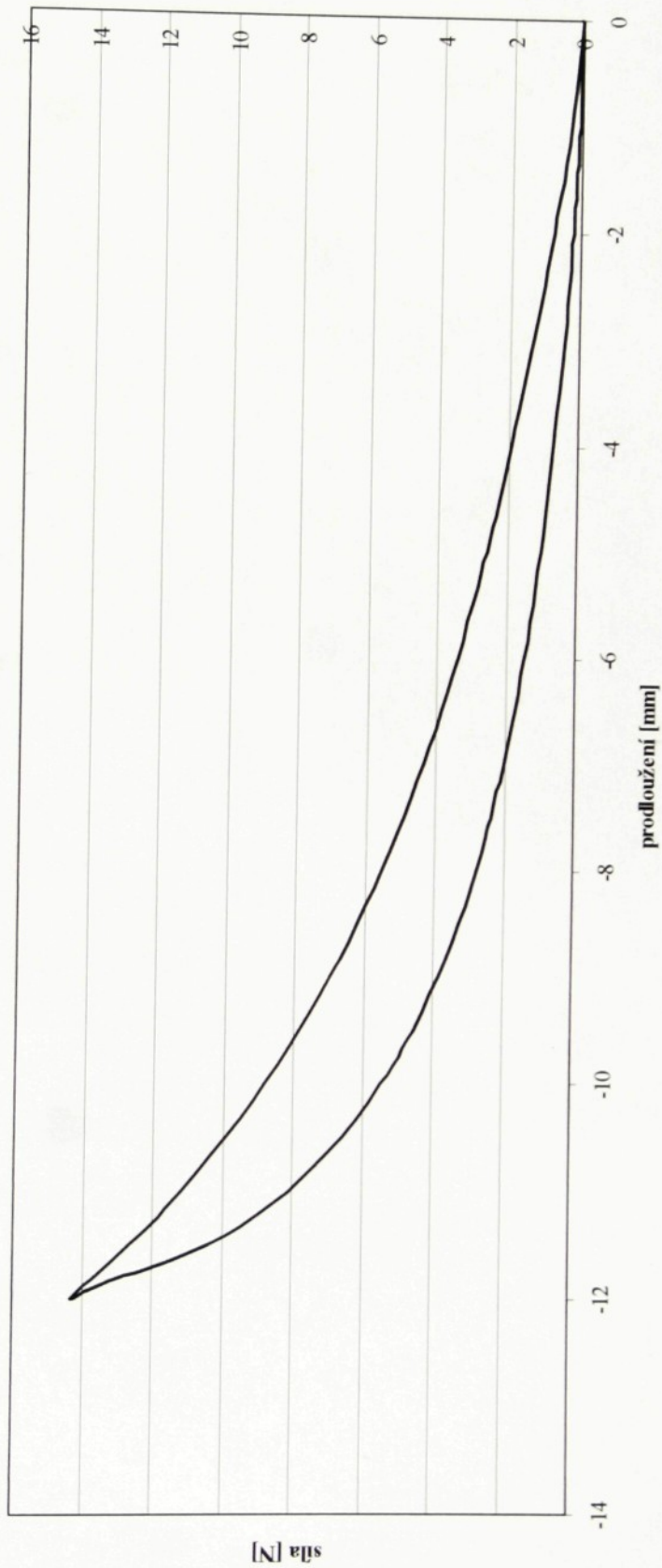


Graf 13: Hystereze v 5. cyklu (80 % Basofil/ 20 % Vision – 3. vzorek)

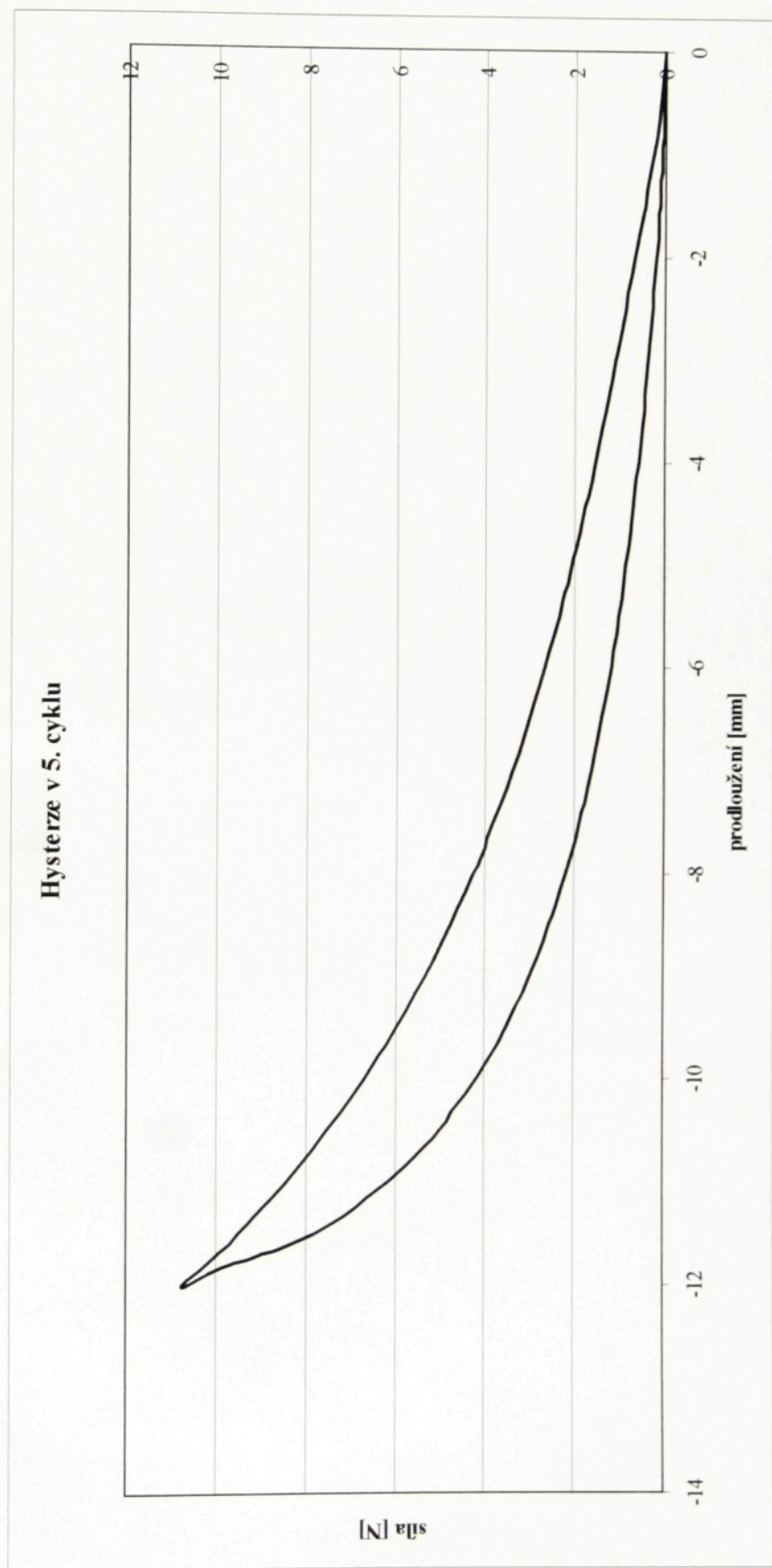


Graf 14: Hystereze v 5. cyklu (80 % Basofil/ 20 % Vision – 4. vzorek)

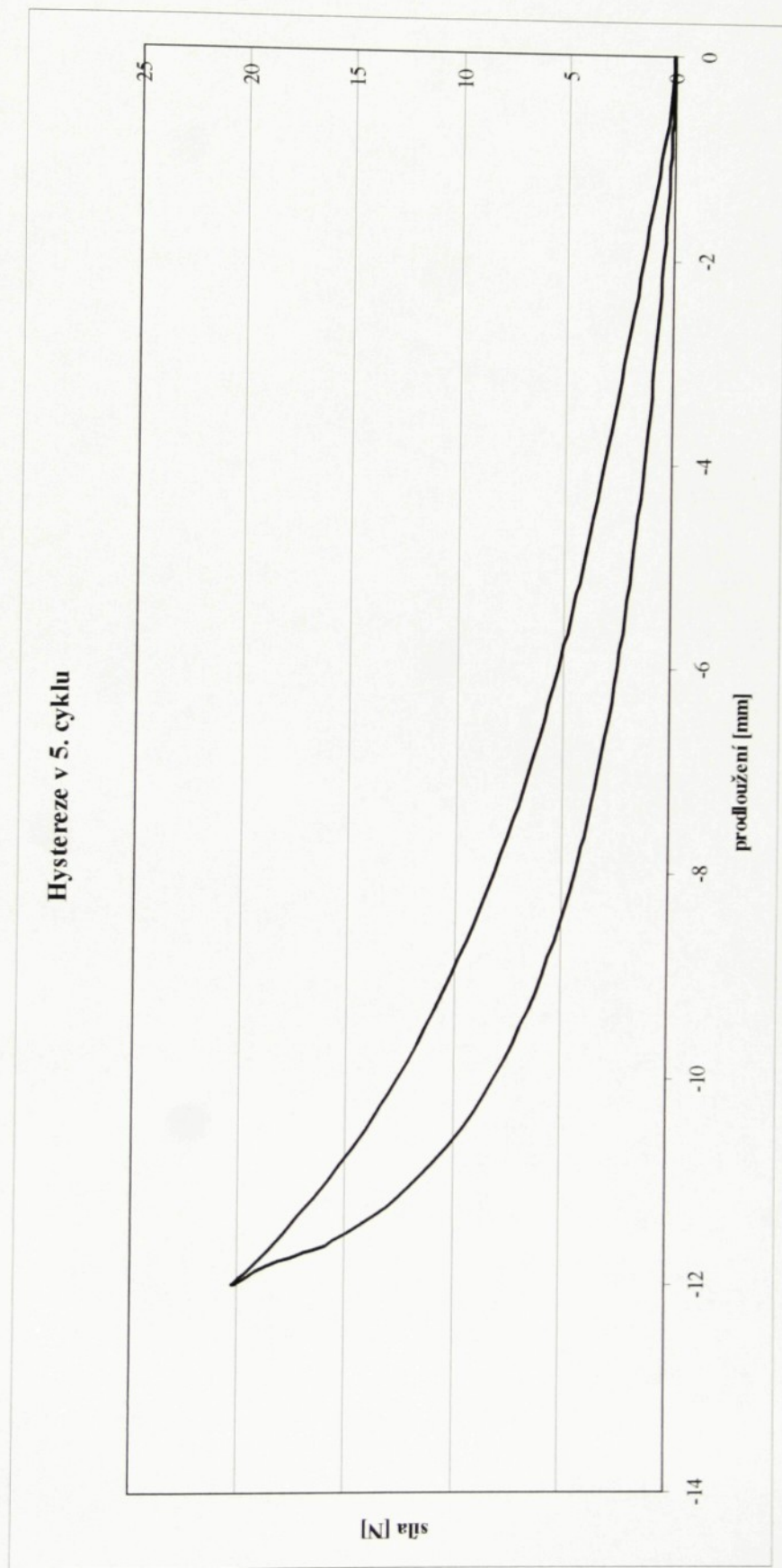
Hystereze v 5. cyklu



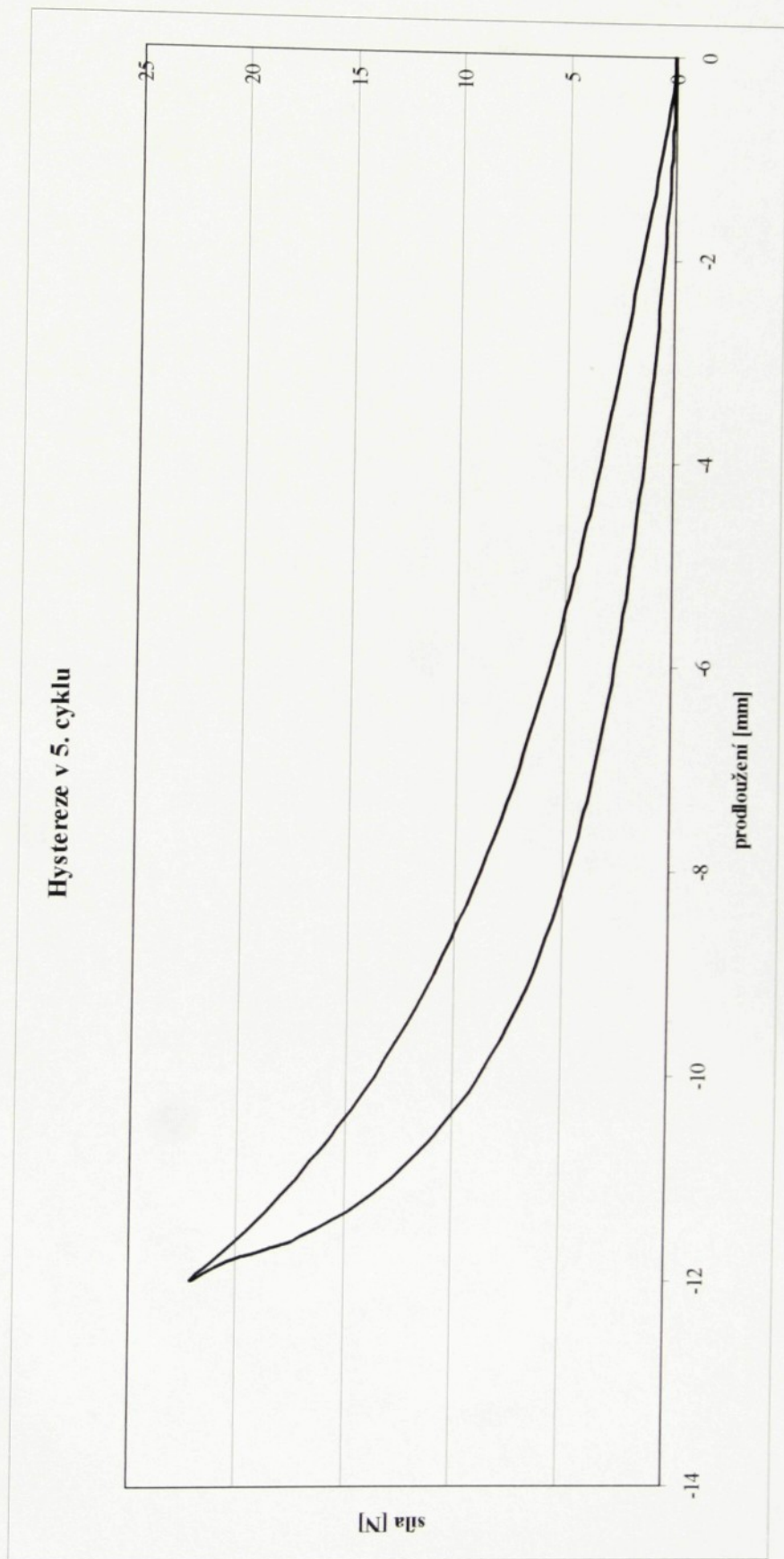
Graf 15: Hystereze v 5. cyklu (80 % Basofil/ 20 % Vision – 5. vzorek)



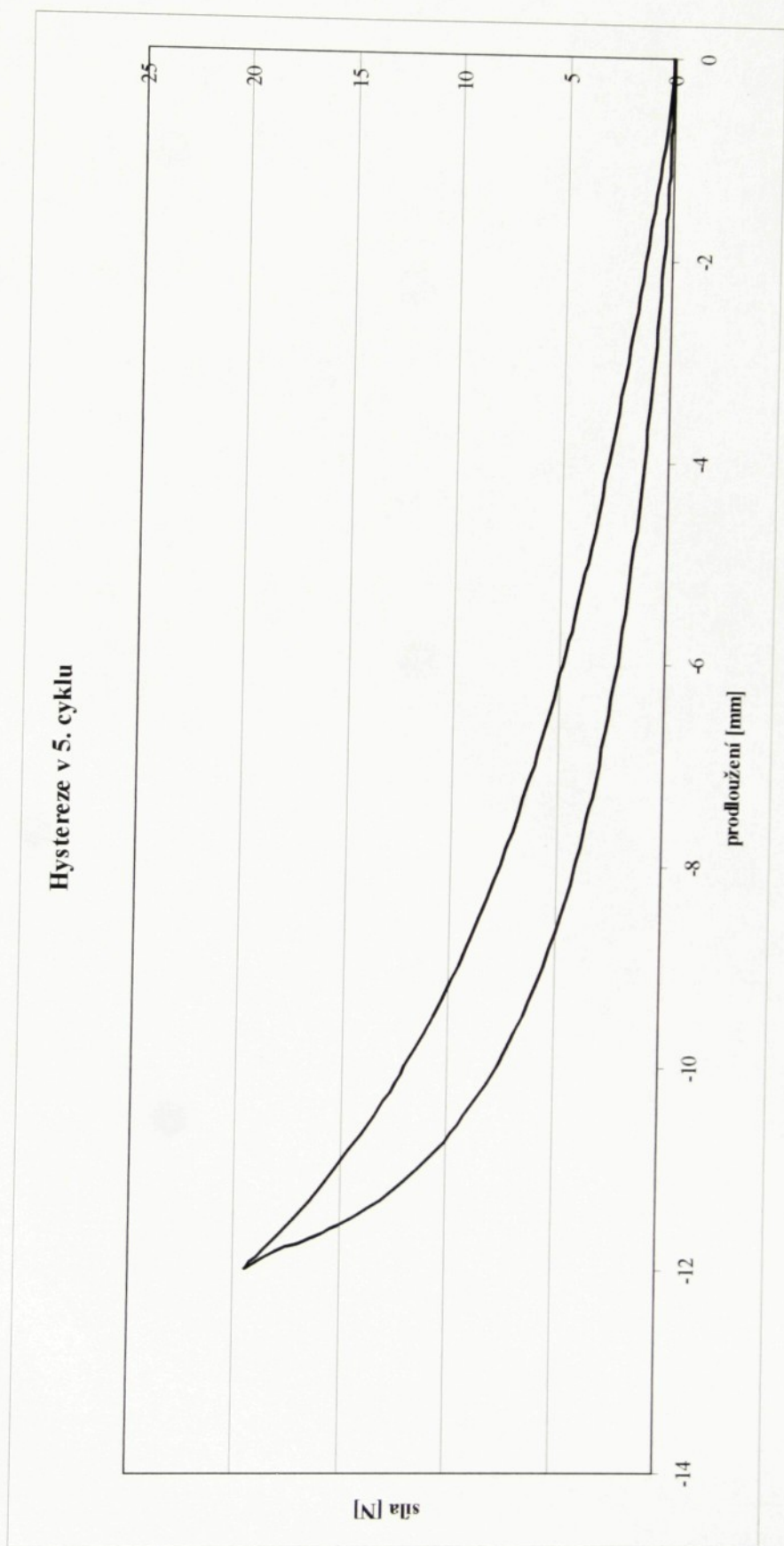
Graf 16: Hystereze v 5. cyklu (70 % Basofil/ 30 % Vision – 1. vzorek)



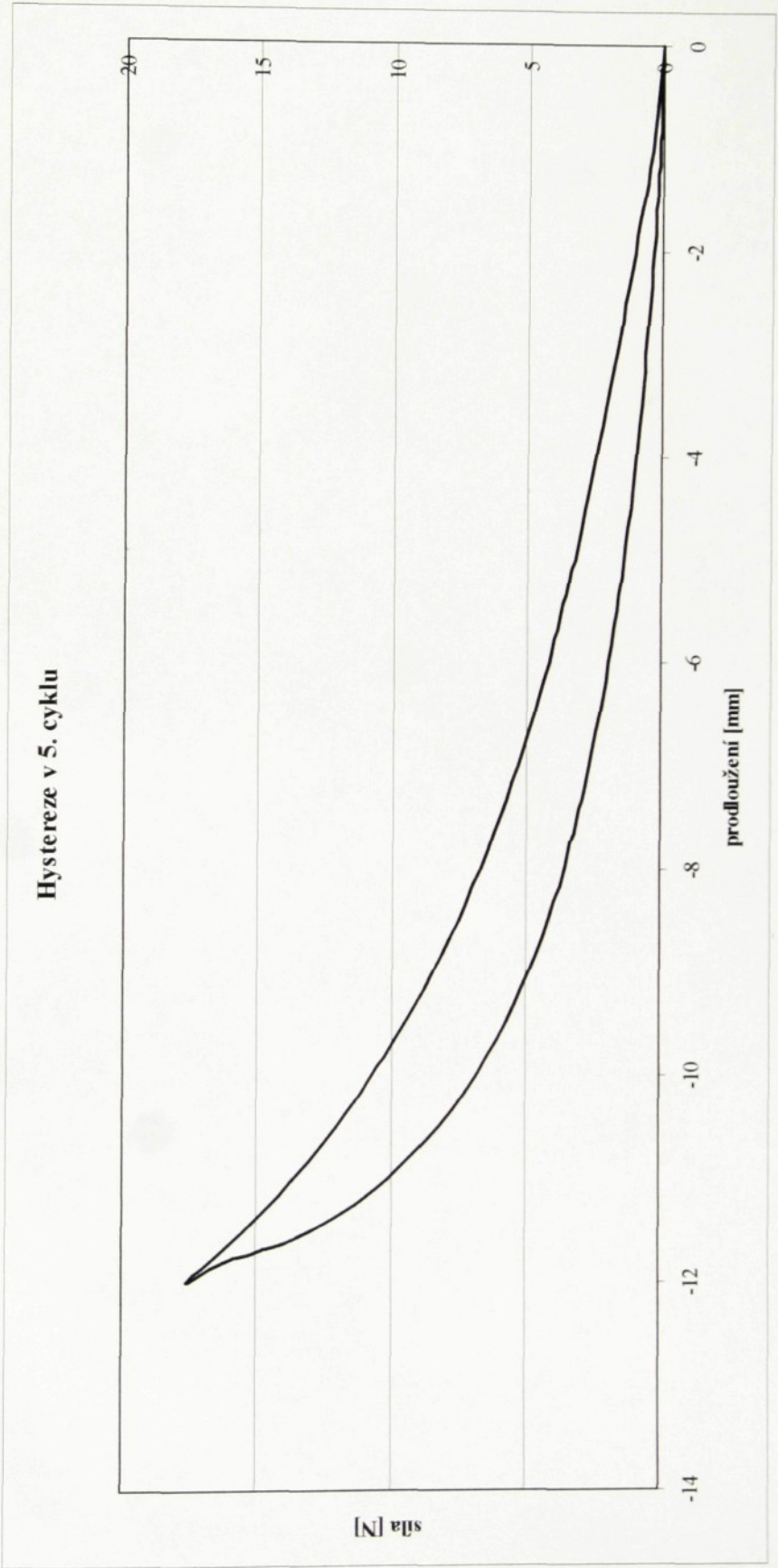
Graf 17: Hystereze v 5. cyklu (70 % Basofil/ 30 % Vision – 2. vzorek)



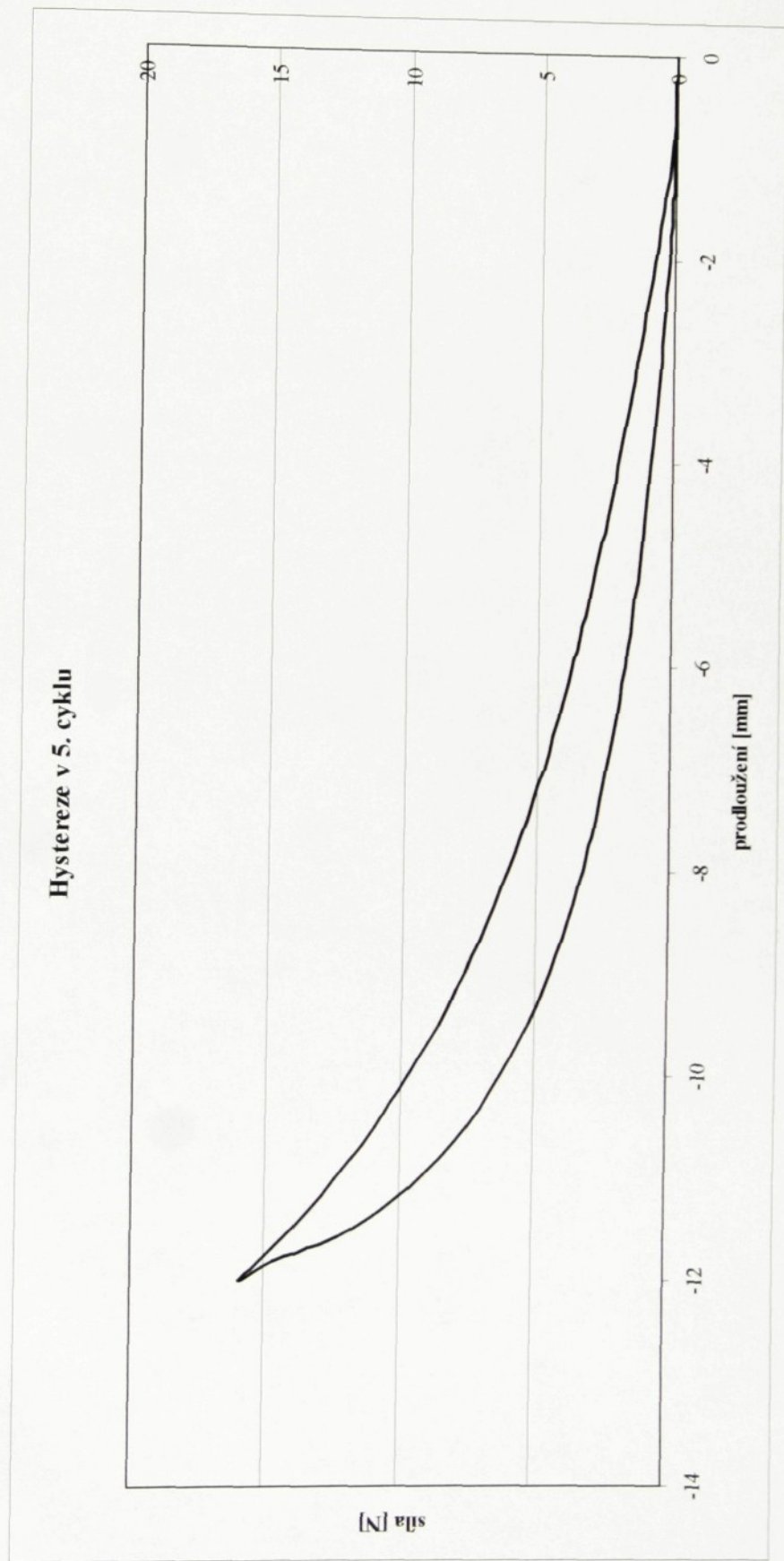
Graf 18: Hystereze v 5. cyklu (70 % Basofil/ 30 % Vision – 3. vzorek)



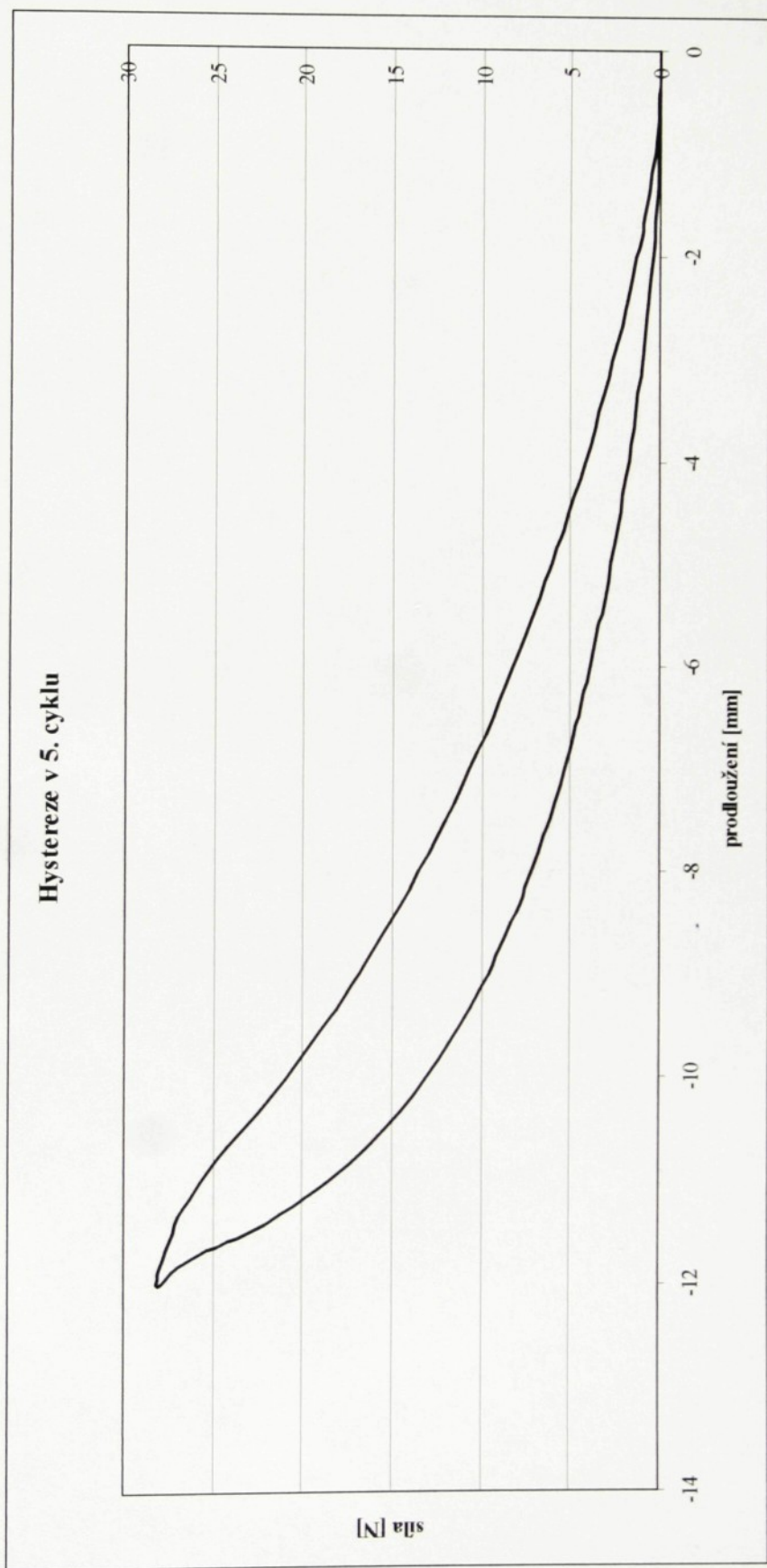
Graf 19: Hystereze v 5. cyklu (70 % Basofil/ 30 % Vision – 4. vzorek)



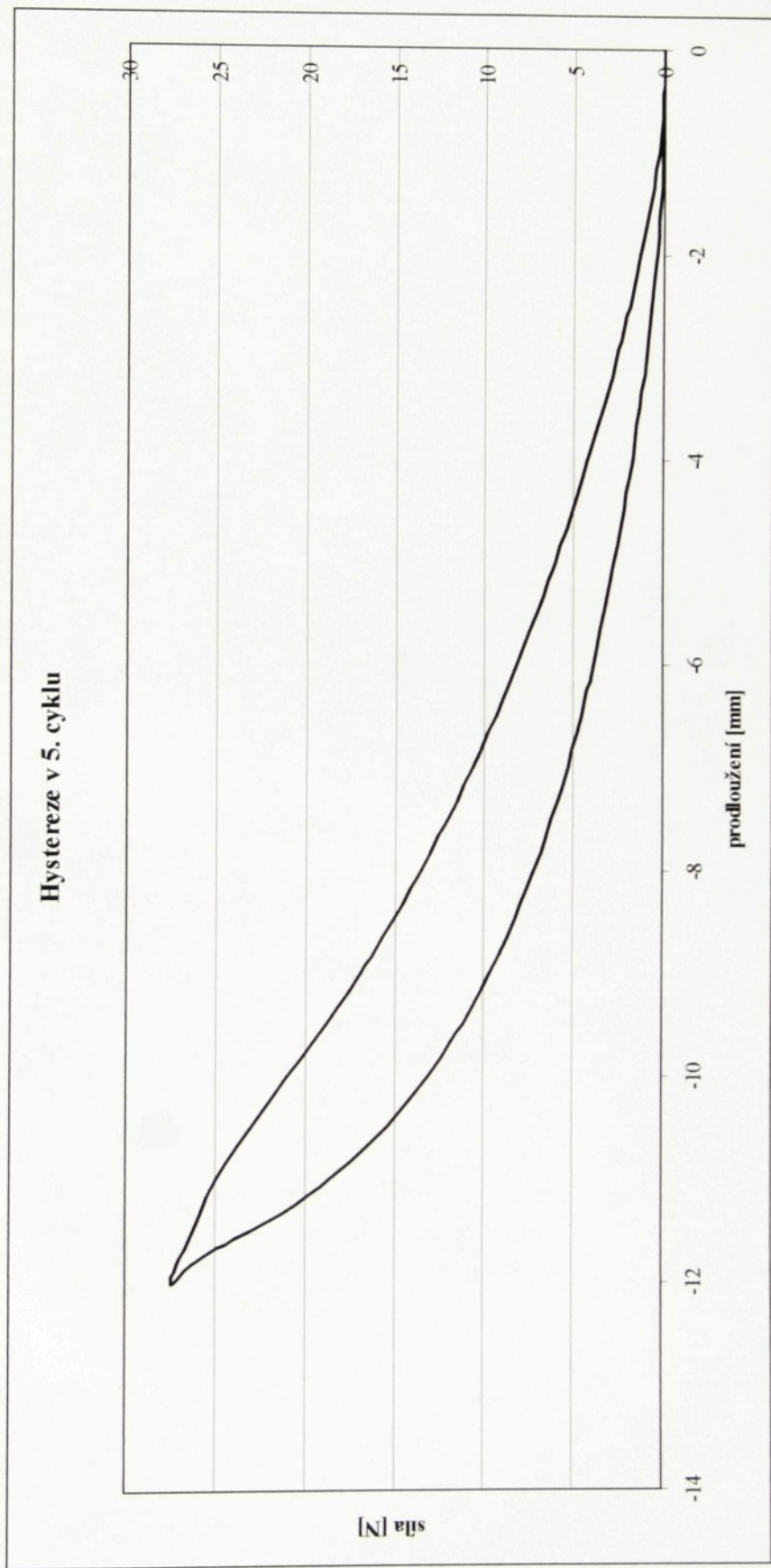
Graf 20: Hystereze v 5. cyklu (70 % Basofil/ 30 % Vision – 5. vzorek)



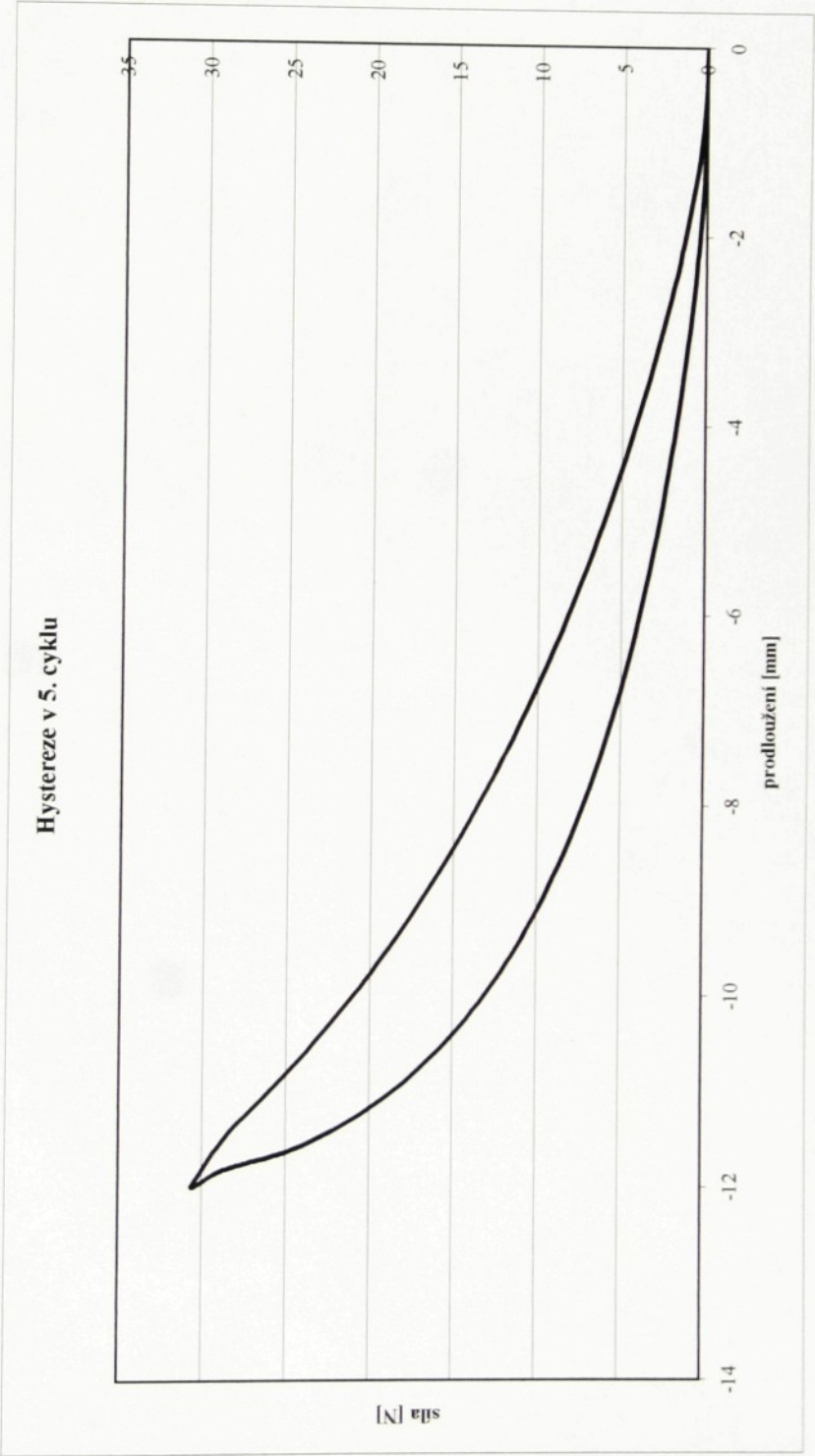
Graf 21: Hystereze v 5. cyklu (60 % Basofil/ 40 % Vision – 1. vzorek)



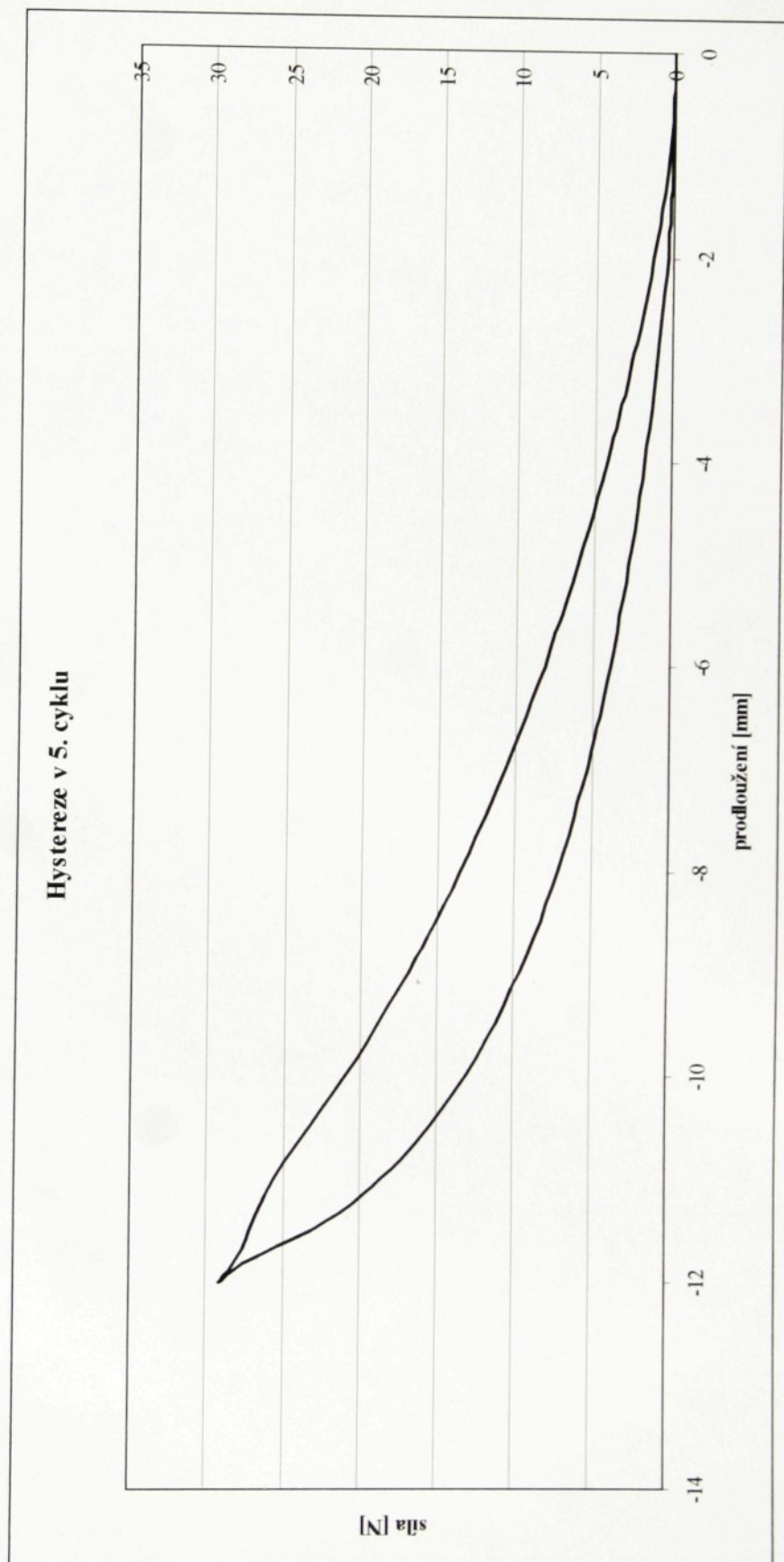
Graf 22: Hystereze v 5. cyklu (60 % Basofil/ 40 % Vision – 2. vzorek)



Graf 23: Hystereze v 5. cyklu (60 % Basofil/ 40 % Vision – 3. vzorek)



Graf 24: Hystereze v 5. cyklu (60 % Basofil/ 40 % Vision – 4. vzorek)



Graf 25: Hystereze v 5. cyklu (60 % Basofil/ 40 % Vision – 5. vzorek)

