

Analýza vlivu mrazových cyklů na mechanické vlastnosti termicky spojených vegetačně retenčních textilií

Diplomová práce

Studijní program:

N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor:

Netkané a nanovláknenné materiály

Autor práce:

Bc. Ekaterina Andrusiak

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Havlíček, CSc.

Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů





Zadání diplomové práce

Analýza vlivu mrazových cyklů na mechanické vlastnosti termicky pojených vegetačně retenčních textilií

Jméno a příjmení: **Bc. Ekaterina Andrusiak**
Osobní číslo: T18000029
Studijní program: N3106 Textilní inženýrství
Studijní obor: Netkané a nanovláknenné materiály
Zadávací katedra: Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte rešerši užívání vegetačně retenčních textilií při konstrukcích zelených střech, věnujte pozornost zejména vlivu mrazu na mechanické vlastnosti materiálu.
2. Navrhněte vhodnou metodu analýzy vlivu mrazových cyklů na mechanické vlastnosti vegetačně retenčních textilií.
3. V experimentální části připravte vzorky a proveďte měření vlivu mrazových cyklů na mechanické vlastnosti vegetačně retenčních textilií.
4. Výsledky práce zpracujte a okomentujte.

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

dle potřeby dokumentace
40-60 dle potřeby
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. O. Jirsák, K.Kalinová: Netkané textilie – skripta TUL
2. S.J. Russell: Handbook of nonwovens, Woodhead Publishing Ltd, 2007
3. Aktuální články k problematice periodik: Fiber Journal, Nonwovens Report International, internet, a.j..

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Havlíček, CSc.
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů

Datum zadání práce:

20. srpna 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

10. srpna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

Ing. Jiří Chvojka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 20. srpna 2019

Prohlášení

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

Jsem si vědoma toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

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

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

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

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

10. srpna 2020

Bc. Ekaterina Andrusiak

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Havlíčkovi CSc. za příkladné vedení, cenné rady, ochotu a trpělivost, které mi poskytl při vypracovávání této práce. Dále děkuji Ing. Ondřeji Novákovi, Ph.D. za rady a pomoc při vlastním měření.

Zároveň bych chtěla poděkovat své rodině za podporu.

Anotace

Cílem diplomové práce je zkoumání vlivu zmrazovacích cyklů na mechanické vlastnosti termicky pojených vegetačně retenčních textilií. Teoretická část se zabývá rešerší zelených střech, jejich funkcí, historií a použití v Rusku, kde teploty klesají hluboko pod bod mrazu. Součástí této diplomové práce je experiment, který spočívá v provedení určitého počtu cyklů zmrazení a rozmrazení vzorků netkaných termicky pojených textilií od firmy Retex, která současně rozvíjí své aktivity v Rusku a je výrobcem materiálu používaného při stavbě vegetačních střech. Dále vzorky prošly ohybovou zkouškou a zkouškou na stlačitelnost.

Závěr práce je věnován porovnání parametrů vzorků a analýze vlivu mrazu na zkoušený materiál.

Klíčová slova: zelená střecha, termické pojení, netkané textilie, zkouška ohybem, zkouška stlačitelnosti.

Annotation

The aim of the diploma thesis is a research of freezing cycles effect on the mechanical properties of thermally bonded vegetative retention fabrics. The theoretical part deals with the research of green roofs, its functions, history and utilization in Russia. A part of the diploma thesis is an experiment that consists in performing a certain number of freezing and defrosting cycles of samples of nonwoven thermally bonded fabrics from Retex company, which is a manufacturer of material used in the construction of vegetative roofs. Bending test and compressibility test were also applied on samples.

The conclusion deals with comparison of samples parameters and analysis of the effect of frost on the tested material.

Key words: green roof, thermal bonding, nonwoven textiles, bending test, compressibility test.

Obsah

Úvod	8
1. Teoretická část	9
1. 1. Historie	9
1. 2. Dělení zelených střech	11
1. 3. Funkce zelených střech	14
1. 3. 1. Produkce kyslíku a čištění vzduchu	14
1. 3. 2. Regulace teploty a vlhkosti	14
1. 3. 3. Ochrana střechy, životnost	15
1. 3. 4. Tepelně izolační účinky	15
1. 3. 5. Zvuková izolace	15
1. 3. 6. Schopnost zadržovat vodu	16
1. 4. Vybudování zelených střech v Rusku	16
1. 4. 1. Historie a zkušenosti	16
1. 4. 2. Současnost	18
1. 4. 3. Náročnost vybudování	20
1. 5. Základy pro plánování zelených střech v Rusku	22
1. 5. 1. Funkční vrstvy	22
1. 5. 2. Přehled firem v Rusku	28
2. Experimentální část	31
2. 1. Popis materiálu použitého k měření	31
2. 2. Příprava vzorků	32
2. 3. Experiment	34
2. 3. 1. Postup měření	34
2. 3. 2. Cykly mrazení	35
2. 3. 3. Zkouška tříbodovým ohybem	36
2. 3. 4. Zkouška stlačením	38
2. 4. Zhodnocení výsledků	40
2. 4. 1. Základní parametry vybraných vzorků	40
2. 4. 2. Výsledky ohybové zkoušky	42
2. 4. 3. Výsledky zkoušky stlačitelností	45
Závěr	50
Seznam použitých zdrojů.....	51
Seznam obrázků	54
Seznam tabulek	55
Seznam příloh	56

Seznam označení

Zkratka	Název
GOST	ruská státní norma
mm	milimetr
°C	stupeň Celsia
g	gram
mg	miligram
min	minuta
N	Newton
mm/min	milimetrů za minutu
ml	mililitr
%	procento
g/m^2	plošná hmotnost
kg/m^3	hustota
dB	decibel
cm	centimetr
m^2	plocha
EPS	expandovaný polystyrén
PES	polyester
PET	polyethylentereftalát
PP	polypropylen
F	síla

ÚVOD

Téma zelených střech nabízí prostor pro řešení ekologických problémů přehřátých center velkých měst, kde přírodní vegetace ubývá. Vedle zlepšení klimatu ve městě ozeleněné střechy převážně přinášejí dodatečnou tepelnou a zvukovou izolaci, redukuje teplotní výkyvy a zpomalují odtok vody v období přívalových dešťů, čímž snižují zatížení veřejné kanalizace.

První, tedy teoretická, část této práce se zabývá historií a vývojem výstavby vegetačních střech na celém světě. Dále jsou uvedeny a popsány druhy výstavby a jejich funkce. Jsou zde posuzovány nedostatky a výhody zelené střechy, některé faktory, které ovlivňují hranice použití, a hlavní typy konstrukčních řešení. Je analyzována významnost využití zelených střech. Následně se tato část zabývá popisem současného zakládání ozeleněných střech v Rusku podle normy GOST R 58875-2020, která definuje hlavní ustanovení a obecné požadavky na uspořádání a provoz zelených střech. Dále jsou uvedeny firmy, které se výstavbou vegetačních střech zabývají, a příklady realizovaných projektů v Rusku.

Praktická část se tedy věnuje především měření na přístroji Labtest 2.050. Je zde vypracována metodika provedení cyklů mrazení materiálu Aquadesk, který poskytla firma Retex. Materiál bude podroben dvěma testům, a to ohybu a stlačování. Dále jsou v této části diplomové práce uvedeny parametry zkoumaného materiálu, postup přípravy vzorků a následné vzájemné vyhodnocení a porovnání mechanických vlastností netkané textilie.

V závěru, a především pak v přílohách, jsou prezentovány zjištěné výsledky a provedena analýza vlivu mrazových cyklů na mechanické vlastnosti termicky spojených vegetačně retenčních textilií.

1. TEORETICKÁ ČÁST

Zelená střecha je vrstvený systém, kde vrchní vrstvu skladby střechy zcela nebo částečně tvoří vegetace. Vegetační střechy vrací zeleň do měst, a tím pádem plní hlavně funkci ekologickou. Ve městech je vysoká koncentrace oxidu uhličitého, oxidu siřičitého, prachu a mnoha dalších škodlivin, které znečišťují ovzduší a mohou vyvolat řadu zdravotních problémů a komplikací souvisejících především s dýcháním, činností oběhového systému a nervové soustavy. Zeleň na střechách pomáhá nezdravé klima výrazně změnit: redukovat znečištění vzduchu a víření prachu, vyrovnat kolísání teplot a vlhkosti. Kromě funkce ekologické mohou zelené střechy zásadně změnit mikroklima uvnitř budovy. Ozeleněné střechy fungují jako tepelná izolace: zmírňují tepelné výkyvy obytných prostor. Z toho vyplývá, že pomocí vegetačních střech je možné přispět k tepelné rovnováze prostoru, čímž se sníží množství spotřebovávané energie na zimní vytápění a letní chlazení. Důvodů pro zvětšování ozeleněných ploch je mnoho jako například redukování odtoku dešťové vody, tlumení hluku, zvýšená estetická hodnota atd. Zelené střechy se díky svým výhodám možná stanou téměř nedílnou součástí střech u novostaveb v městské zástavbě. [1]

1. 1. Historie

Zelené střechy mají dlouhou historii a vyskytují se jak v severských zemích ve studeném klimatu Kanady, Islandu tak i v odlišném horkém klimatu, např. Tanzanie. Vegetace díky svým tepelně izolačním vlastnostem vyrovnává klima pod střechou a tím chrání interiér před horkem nebo chladem zvenčí. [1]

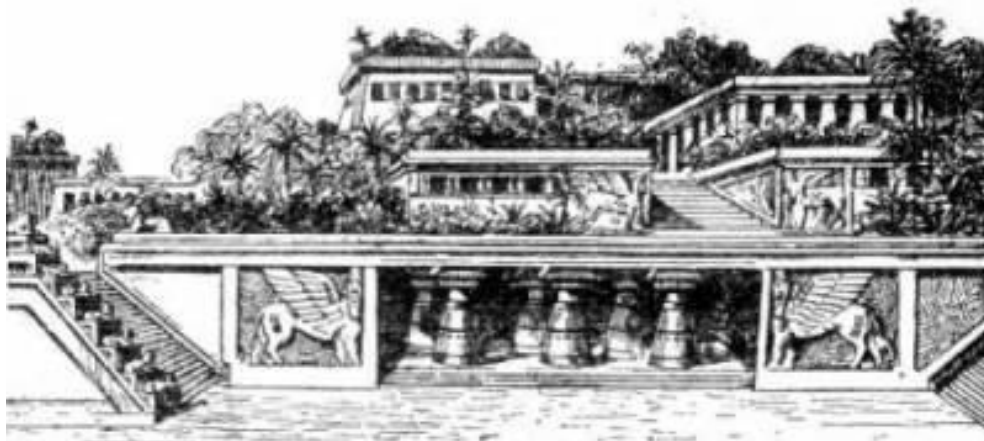


Obrázek 1 Tradiční domy z travních drnů, Island [2]

Nejznámějším příkladem je druhý div světa – visuté zahrady královny Semiramis v Babyloně, které byly zbudovány v 8. století před naším letopočtem (obr. 2). Při stavbě paláců byly pěstovány vzrostlé stromy a popínavé rostliny, bylo zajištěno umělé zavlažování, které pomocí systému kanálů dodávalo potřebné množství vláhy k vegetaci. [3]

Později v antickém Římě a Řecku byly zelené zahrady nezbytnou součástí většiny patricijských domů bohatších měšťanů. Od poloviny 11. století zelené střechy vznikaly hlavně ve Francii a v Itálii, v 16.–17. století v Německu a Anglii. [3]

Významným rokem pro celé stavebnictví se stal rok 1867, kdy byl vynalezen železobeton, jenž umožnil další vývoj a realizaci vegetačních střech. Tento materiál zajistil stabilitu a prodloužil životnost staveb. Po 2. světové válce s vynálezem a rozvojem plastických hmot, které řešily problematiku izolačních vrstev, stále častěji vznikají stavby s ozeleněnou střechou. [3]



Obrázek 2 Visuté zahrady Semiramidiny [4]

V současné době se vyvíjí nové materiály pro ozelenování střech. Vzniklé firmy nabízejí moderní systémy ochranných vrstev, vylepšují používané materiály a navrhují různá architektonická řešení vegetačních střech, která se stávají běžnou součástí městských zástaveb. [4]

1. 2. Dělení zelených střech

Literatura obvykle dělí zelené střechy na intenzivní, polointenzivní a extenzivní ozelenění. [1]

Intenzivní

Podstatou intenzivní střechy jsou vysoké nároky na její údržbu, která odpovídá péči o běžné zahrady na rostlém terénu. Intenzivní ozelenění znamená až 1000 kg/m^2 . Mocnost substrátu se pohybuje v rozmezí 25 až 100 cm. Taková tloušťka zeminy umožňuje vytvářet zahrady s použitím rostlin s větším kořenovým systémem jako například travníky, trsovité byliny, keře a nízké stromy (obr. 3). Intenzivní vegetace má uplatnění pouze na plochých střechách, aby mohlo docházet k odpovídající údržbě, a taková konstrukce vyžaduje pravidelnou a soustavnou péči o střešní vegetaci, systémy umělého zavlažování a přísun živin. Znamená to, že takové střechy jsou technicky a finančně náročné jak na realizaci, tak na údržbu. [3]



Obrázek 3 Ukázka intenzivní zelené střechy [5]

Polointenzivní

Polointenzivní zelené střechy tvoří přechodný typ mezi extenzivními a intenzivními střechami. Nároky na údržbu se příliš neliší od vegetačních střech s extenzivní ozelenění, je tedy potřeba přibližně dvakrát ročně střechu zkontrolovat a odstranit nežádoucí vegetaci. Větší intenzita spočívá v nutnosti závlahy v období sucha, kdy je nedostatek srážek. Vegetace má vyšší nároky na zakořenění, proto je tady nutné tloušťka substrátu v rozmezí 15 až 30 cm. Lze se na polointenzivních střechách provádět výsadbu trav, bylin a keřů (obr. 4). [3]



Obrázek 4 Ukázka polointenzivní zelené střechy [6]

Extenzivní

Extenzivní ozelenění se vyznačuje emenším souvrstvím substrátu, které se obvykle pohybuje v rozmezí 3 až 15 cm a se provádí na konstrukcích, které mají únosnost 60–300 kg/m², což vyžaduje použití rostlin s kořenovým systémem rozšiřujícím se do plochy. Údržba extenzivních střech je méně náročná, nevyžaduje umělé dodávky vody a živin, a proto se kontrola provádí jednou až dvakrát ročně. Důležitá je každoroční kontrola a odstranění náletů, které mohou narušit střešní skladbu. Vegetaci na střechách tvoří převážně divoké rostliny, které snesou extrémní podmínky kolísání teplot. Využití těchto střech je vhodné jak pro střechy ploché, tak pro střechy sklonité (obr. 5).



Obrázek 5 Ukázka extenzivní zelené střechy [7]

1. 3. Funkce zelených střech

1. 3. 1. Produkce kyslíku a čištění vzduchu

Rostliny obecně čistí ovzduší procesem filtrací částic prachu a nečistot ve vzduchu, které se zachycují na povrchu lístků a déšť je pak spláchne do země. Rostliny rovněž vážou oxid uhličitý ze vzduchu a při fotosyntéze probíhající v rostlinách dochází ke spotřebě oxidu uhličitého a produkování kyslíku. Jsou-li růst a zánik rostlinných částí v rovnováze, je oxid uhličitý ze vzduchu absorbován a ukládán v rostlině. [1]

Další funkce zelených střech je zabránění zvíření prachu ve vzduchu. Klasické ploché střechy dosahují v letních měsících vysokých povrchových teplot a nad jejich povrchem dochází k vertikálnímu pohybu vzduchu a víření nečistot. Zelené střechy díky nižším povrchovým teplotám v rostlinách tento jev podstatně omezují. [1]

1. 3. 2. Regulace teploty a vlhkosti

Klima v městské zástavbě vykazuje znatelně vyšší teploty než nezastavěné okolní prostředí. Klasické střechy, betonové a asfaltové povrchy vedou k přehřívání klimatu. Vegetace na střeše výrazně redukuje výkyvy teplot a snižují intenzitu vyzařování přes den obrovského absorbovaného množství slunečního tepla. Díky vypařování a kondenzaci vody rostliny snižují teplotu okolního prostředí a omezují kolísání teplot. Zatímco za horkých letních dní rostliny teplo spotřebovávají, a tedy své okolí ochlazují, v noci a v zimě jsou schopné akumulovat teplo a tím regulovat teploty. Rostliny snižují také kolísání vlhkosti tím, že v suchém vzduchu vypařují zvýšené množství vody, což zvyšuje

relativní vlhkost vzduchu. Na druhé straně ale mohou rostlin oovlhkost vzduchu zmenšovat. Mlha tak kondenzuje na lístcích a stéblech zelené střechy a ve formě vodních kapek se odvádí do země. [1]

1. 3. 3. Ochrana střechy, životnost

Kvůli působení vnějšího prostředí a chemickým nebo biologickým procesům rozpadu materiálů je životnost všech střech omezená. Značné kolísání teplot v létě a zimě, déšť, UV záření, vítr a chemické látky ve vzduchu způsobují mechanické poškození materiálů. Zelené střechy jsou pokládány za nehořlavé a nabízí ideální protipožární ochranu. Vrstva vegetace a zeminy plně chrání izolační vrstvy před vlivy přírody. Na rozdíl od klasických střech, kde je vyšší pravděpodobnost poruch, životnost zelené střechy je při správném provedení spojů a pravidelné údržbě prakticky neomezená. [1]

1. 3. 4. Tepelně izolační účinky

Vysoké tepelně izolační účinky jsou způsobeny několika faktory. Samotná vrstva vegetace a zeminy působí jako tepelně izolační vrstva a se zvětšením její tloušťky a hustoty se zvyšuje i účinek. Odrážením a absorbováním tepelného záření vyzářeného ze střechy se zmenšují tepelné ztráty budovy. Rostlinná vrstva snižuje povrchové teploty střechy a chrání konstrukci před větrem, což ve větrných oblastech může znamenat podstatný faktor ovlivňující tepelné ztráty. [1]

Systémy s tepelně izolačními drenážními deskami dosahují přijatelných tepelně izolačních hodnot v zimě. Pozitivní efekt snížení vnitřní teploty v letním období je způsoben i tím, že díky stínu vegetace sluneční paprsky zeminu neohřívají a sluneční energie je spotřebovávána vypařováním vody, odrazem a příjmem pro fotosyntézu. [1]

1. 3. 5. Zvuková izolace

Vegetační souvrství střechy dokáže redukovat zvuk z venkovního prostředí absorpcí, odrazem a rozptylem. Podle výsledků výzkumů měření na zelené ploché střeše jedné nemocnice v Karlsruhe se ukázalo, že na přivrácené straně budov stojících bezprostředně nad střešní zahradou poklesla hladina pouličního hluku v důsledku absorpce a snížené reflexe o 2–3 dB. Současně byly vysoké frekvence, které jsou pociťovány jako zvláště nepříjemné, potlačeny více. [1]

Zvuková izolace vrstvy zeminy činí při tloušťce 12 cm asi 40 dB a při tloušťce 20 cm asi 46 dB. Zelené střechy jednak pohlcují zvuk, který se šíří z venkovního prostředí

do interiéru, a jednak omezují hluk, jenž se šíří ven a ruší okolní zástavbu například u výrobních hal. [1]

1. 3. 6. Schopnost zadržovat vodu

Zbytečně odtékající dešťová voda nadměrně zatěžuje systém městské kanalizace a čistírny odpadních vod. Vegetační střecha dokáže zachytit 50 až 95 % ročních srážek podle kapacity retenční vrstvy. Taková schopnost zadržovat vodu způsobuje snížení nebezpečí záplav. Podstatná část srážkové vody se vypaří, aniž by zatížila kanalizační systémy. To znamená, že jen 30 % dešťové vody odeče a 70 % zůstane ve střеше, respektive se vypaří. Schopnost střechy redukovat odtok dešťové vody je závislá na její skladbě a velikosti sklonu. [1]

1. 4. Vybudování zelených střech v Rusku

1. 4. 1. Historie a zkušenosti

První informace o vybudování květinových a střešních zahrad v Rusku sahají do 17. století. Kreml v Rostově Velikém byl vybaven závěsnou zahradou, která byla umístěna ve druhém patře mezi budovami paláce a byla podporována klenbami. Takové zahrady byly rozmístěny v bojarských statcích a statcích nejvyššího duchovenstva. [8]

Závěsná zahrada Ermitáže v Petrohradě byla vytvořena v letech 1764 až 1769. Tato zahrada existuje dodnes. Nachází se ve druhém patře a zabírá prostor mezi galeriemi. Zahrada je ze všech stran obklopena zdmi paláce a představuje galerii pod širým nebem. [9]



Obrázek 6 Závěsná zahrada Ermitáže v Petrohradě [10]

Střešní zahrady zůstaly po dlouhou dobu výsadou bohatých lidí, teprve v 19. století byly díky vývoji nových stavebních materiálů a struktur v Rusku zakládány masivně. [10]

Ve 20. letech 20. století v Rusku začala výstavba budov s plochou střechou díky architektům G. Barkhinovi, I. Leonidovi, bratrům Vesninovým a dalším. Současně bylo postaveno několik budov se střechami, jež byly vybaveny speciálními vyhlídkovými zahradami a dětskými hřišti. Avšak střechy veřejných, průmyslových a mnoha obytných budov, a hlavně podzemních staveb zůstaly prázdné. [10]

V dnešní době se aktivně diskutuje o projektech ekologizace střech moskevských budov. V roce 2001 byla v Moskvě vydána velmi důležitá kniha: „Průvodce terénními úpravami a zlepšováním provozovaných střech bytových a veřejných budov, podzemních a polopodlažních garáží a dalších struktur“, která podrobně popisuje typy uspořádání zelené střechy, typy budov a materiálů, jež je možné použít, typy travnatých, stromových a keřových vegetací a další. V roce 2012 byly na vědecko-praktické konferenci představeny moderní střešní materiály, díky kterým se začal program ozelenění střech v Moskvě. [11]

1. 4. 2. Současnost

Éra zelených střech v Rusku teprve začíná. Objevují se ve velkých městech jako Moskva, Kaliningrad, Voroněž, Petrohrad (obr. 7). [12]



Obrázek 7 Střecha obchodního centra Crowne Plaza v Petrohradě o celkové rozloze více než 2000 m²[13]

Při navrhování vegetační střechy se uvažují určité technologické parametry, jakož i zamýšlený provoz zelené zóny, a proto je každé řešení unikátní. Příkladem je budova, která byla vytvořena v Taškentu po silném zemětřesení. Do ní se přestěhovali lidé, kteří dříve žili ve svých vlastních soukromých domech a museli si zvykat na zvláštnosti života v bytovém domě. Proto bylo rozhodnuto, že každá tři patra budou vybavena terasou s betonovými nádobami, do nichž byly zasazeny rostliny. Na ploché střeše domu byla vytvořena zahrada s bazény a lavičkami. [10]



Obrázek 8 Zelená střecha budovy v Taškentu [10]

Dalším zajímavým příkladem je Moskevský mezinárodní dům hudby, který zahrnuje malou zimní zahradu, nacházející se ve foyer a vedoucí do otevřeného prostoru. V otevřené a uzavřené části zimní zahrady se vysazují různé druhy rostlin. Venku ty, které mohou vydržet v moskevském klimatu, uvnitř pak exotické kultury. K vytvoření této zelené střechy byly použity moderní izolační materiály, zavlažovací a drenážní systémy, osvětlovací zařízení, díky čemuž ji lze označit za jeden z nejlepších příkladů ruských střešních zahrad 21. století. [10]



Obrázek 9 Střešní zahrada Moskevského mezinárodního domu hudby [10]

V roce 1993 byl v Petrohradě zahájen projekt. K tomu byla použita střecha obyčejné devítipodlažní budovy a budova institutu designu. Na střeše byly vysazeny květiny, zelenina a ovocné plodiny. Stejně rostliny byly zasazeny do přírodního půdního krytu sousedícího s budovami. Tento jednoduchý experiment stanovil, že rostliny pěstované na střeše obsahují mnohem menší množství těžkých kovů a dusičnanů než rostliny, které byly pěstované na prostoru před budovou. Důvod je zřejmý: automobilové výfuky a další škodlivé látky jednoduše nedosáhnou do výšky několika desítek metrů. Experiment je empirickým důkazem účinnosti koncepce zelené střechy a vedl k vývoji environmentálního modelu programu obytných budov, známého také jako Ecohome. Nyní se tento program postupně zavádí do komplexního programu na zlepšení ekologické situace ve městech. [10]

1. 4. 3. Náročnost vybudování

Klima

Kvůli velkému teplotnímu rozdílu v Rusku během roku existuje riziko zničení hydroizolační membrány ve střeše. Avšak zkušenosti ze skandinávských zemí ukazují, že se tento problém eliminuje použitím vyhřívaného drenážního systému, který zabraňuje zamrznutí vody v drenážním systému a prasknutí jeho jednotlivých částí. [14]

Konstrukce

Významným problémem při vybudování zelených střech je jejich konstrukční řešení. Před několika lety se moskevské prefektury pokusily sestavit seznam objektů, na jejichž střechách by bylo možné aplikovat ozelenění, zejména trávníky. Nebyl identifikován žádný objekt. To naznačuje, že terénní úpravy mohou být realizovány na domech, v jejichž konstrukci musí být střecha původně navržena pro vysoké zatížení. [14]

Zelené střechy mají docela náročné konstrukční řešení. Nastávají situace, kdy se setkává více činností a je největší pravděpodobnost k možnosti narušení ochranných vrstev, které se může odhalit až po předání stavby. Další potíž je právě složitost odhalení těchto chyb při realizaci. Problémy se většinou projeví až v průběhu doby užívání střechy, jelikož tlakové zkoušky v případě drobného poškození nic neobjeví. [14]

Nedostatek zkušeností

Dalším problémem týkajícím se vybudování ozeleněných střech je nedostatek zkušeností mezi architekty a designéry při realizaci podobných systémů. Největším rizikem ze stavebního hlediska je nízká kvalita stavebních a instalačních prací. Kvůli nekvalitnímu provedení střešního pláště, převážně hydroizolační vrstvy, roste riziko, že by mohlo dojít k zatékání vody nebo narušení vrstev kořenovým systémem. Těmto poruchám je nutné předcházet již v projekční fázi stavby. Údržba zelených střech a péče o rostliny vyžaduje specializované znalosti a další financování během provozu střechy. [14]

Finanční stránka

Nevýhodou jsou i vysoké finanční náklady na výstavbu ozeleněných střech. Především volba více intenzivní varianty vede k navýšení ceny za nosnou konstrukci, lepší materiály a kvalitní provedení všech instalačních prací. K tomuto bodu se vztahuje nedostatečná podpora státu, donedávna se neposkytovaly žádné finance na vybudování vegetačních střech. [14]

V Rusku se programy začínají teprve rozvíjet. Znepokojenost stavem životního prostředí, zvýšení podílu populace a aktivní zájem o ekologické projekty pomalu způsobují vyvolání pozitivních posunů v oblasti právních předpisů v této oblasti. [14]

1. 5. Základy pro plánování zelených střech v Rusku

Firma Retex, která poskytla materiál pro tuto diplomovou práci, se zaměřuje na dodání nového produktu hydroakumulačních desek Aquadesk do Ruska. Tato část je věnovaná zásadám vybudování zelených střech v Rusku, jsou popsány normy, podle kterých se v dnešní době začal program ozelenění budov ve městech.

Od 1. června 2020 v Rusku vstoupil v platnost standard vybudování zelených střech. Práce na vytvoření nové normy byly provedeny v posledních čtyřech letech. Tato norma poprvé stanoví požadavky na uspořádání a provoz zelené střechy, které musí projektanti a stavitelé dodržet. Norma definuje hlavní ustanovení a obecné požadavky na zelené střechy. Poprvé je představena typologie zelených střech. GOST R 58875-2020 podrobně stanoví požadavky na substráty, hmotnostní zatížení, na konstrukční řešení, požadavky na výrobu a dodávku prací, jakož i požadavky na provoz a údržbu zelených ploch. [15]

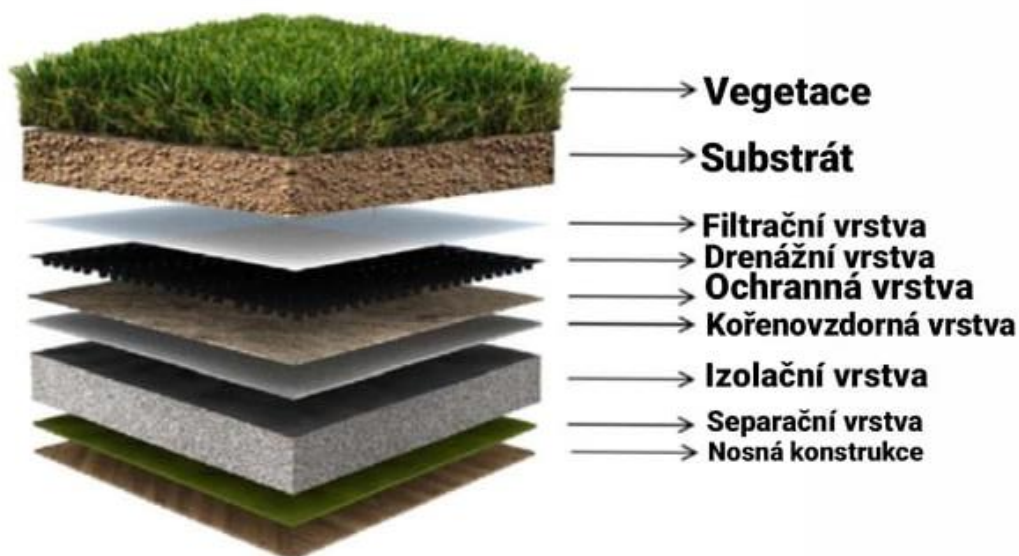
1. 5. 1. Funkční vrstvy

Tato část popisuje funkční vrstvy vegetačních střech a požadavky dle normy GOST R 58875-2020. Tato norma platí pro projektování, stavbu zelených střech, opravy, rekonstrukce a provozování zelených konstrukcí na střechách budov ve všech klimatických zónách Ruské federace. Při navrhování a instalaci zelených konstrukcí na střechách budov musí být kromě požadavků této normy dodržována pravidla současných norem pro navrhování budov a staveb. [15]

Skladba souvrství střechy vychází z předpokládaného využití, ze sklonu střešní roviny, z únosnosti spodní konstrukce. Obvyklá konstrukce střechy se skládá z: nosné konstrukce, hydroizolace a z vrstev tepelně izolační, ochranné, drenážní, filtrační a vegetační, například zahradnického substrátu z minerálního štěrku a organických živin (tloušťka více než 300 mm), parozábrany (obr. 10). Některé vrstvy mohou být v určitých případech vynechány, případně jedna vrstva může plnit najednou několik funkcí. Hlavní funkce funkčních vrstev vegetačního souvrství jsou popsány v tabulce 1. [12]

Tabulka 1 Funkční vrstvy vegetačního souvrství [16]

Funkční vrstva	Funkce
Vegetace	je souborem rostlin, který tvoří pokryv zelené střechy
Vegetační vrstva	je základním prostředím pro kořenění a růst rostlin a svým fyzikálním, chemickým a biologickým složením a vlastnostmi je k tomu uzpůsobena
Filtrační vrstva	zabraňuje vyplavování drobných částic z vegetační vrstvy do vrstvy drenážní a trvale chrání drenážní vrstvu před zanesením
Hydroakumulační vrstva	akumuluje srážkovou nebo závlahovou vodu pro potřeby rostlin
Drenážní vrstva	umožňuje dostatečně rychlý a efektivní odtok přebytečné vody k odvodňovacím zařízením
Ochranná vrstva	trvale chrání hydroizolaci střechy před mechanickým poškozením
Separáční vrstva	navzájem od sebe odděluje sousední materiály nebo prvky, které by se mohly vzájemně negativně ovlivňovat
Kořenovzdorná vrstva	ochranná vrstva proti prorůstání kořenů, chrání hydroizolaci střechy před poškozením kořeny rostlin



Obrázek 10 Obecná skladba souvrství střechy [17]

Nosná konstrukce

Nosné konstrukce střechy mohou být dřevěné, ocelové nebo železobetonové. Vegetační vrstva při plném nasycení substrátu vodou zatěžuje nosnou konstrukci pod zelenou střechou. Z toho vyplývá, že nosná konstrukce takto projektované střechy musí být staticky velmi únosná. Zároveň musíme uvažovat také o jiných účincích, jako například zatížení osob, zařízení, systémů ozelenění, dopravy, větru, sněhu atd. [15] [18]

Tepelně izolační vrstva

Tepelně izolační vrstva musí být izolována od podkladní konstrukce parotěsnou pojistnou hydroizolací. Nejběžněji používaným materiálem je klasický tepelně izolační expandovaný polystyrén, známý pod zkratkou EPS. Vrstva tepelné izolace může být různá dle typu budovy, ale obecně platí pravidlo minimální doporučené tloušťky izolace 220 mm vyrobené z materiálu EPS. [15] [18]

Hydroizolační vrstva

Hydroizolace je nejdůležitější vrstvou, která zajišťuje, aby voda nepronikala do konstrukcí střechy a do obytných prostor a musí být odolná proti prorůstání kořenů rostlin. Kvalita použitého materiálu a provedení je velmi důležité. Při porušení

hydroizolace a její opravě totiž dochází k odstranění celého vegetačního souvrství, což je velmi složité a finančně náročné. V takovém případě by se koberec měl skládat ze tří vrstev materiálů s flexibilitou při nižších teplotách do $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, například izoplast, Dneproflex atd., 4 mm se dvěma výztužnými základnami, například Derbigum, a další vrstvou s jednou výztužnou základnou. Používání studených tmelů (na rozpouštědla) ve střeších vyrobených z pěny, polystyrénu, desek z minerální vlny a kompozitní tepelné izolace s použitím pěny z polystyrénu není dovoleno. [15] [18]

Kontrola těsnosti hydroizolace se provádí opticky a také zátopovou zkouškou, a to před realizací dalších vrstev, aby bylo možné případné nedostatky odstranit. Používanými materiály pro hydroizolace vegetačních střešů jsou nejčastěji modifikované asfaltové pásy a hydroizolační fólie. Odolnost vůči prorůstání kořenů je v případě modifikovaných asfaltových pásů zajištěna přidáním aditiv nebo měděnou fólií. [15] [18]

Drenážní a hydroakumulační vrstva

Kořeny rostlin totiž potřebují přijímat kyslík pro výživu rostliny, a proto nesmí být ponořené ve vodě. Tato vrstva slouží k odvedení přebytečné vody, která na střešinu dopadne, a zbylá voda perforací proteče a odtéká po hydroizolaci ke vpusti. Taková vrstva však může sloužit i k akumulaci vody pro případ déletrvajících sucha, tehdy se nazývá jako drenážně-hydroakumulační vrstva. [15] [19]

Vrstva může být vytvořena ze sypkých nasákových materiálů (šterkopísek, pemza, keramzit, cihlová drť atd.) nebo z drenážní desky, netkané geotextilie či rohože (plastové nopové fólie, tvarované desky z pěnového materiálu, perforované kuličkové fólie atd.) Ukládá se pod vegetační substrát a slouží k udržení optimálního množství vody pro vegetaci. Použitý materiál musí být odolný proti korozi. [15] [19]

V dnešní době je nejčastěji používaným materiálem nopová fólie. Tato fólie spojuje drenážní a akumulační vrstvu dohromady. Odvodu vody napomáhá perforace nopové fólie a dostatečný zásyp ze sypkého materiálu, který též vyplňuje volný prostor v jednotlivých nopen. Jednotlivé nopy s výškou od 20 do 80 mm díky svému tvaru umožňují vodu akumulovat. Pro zachování plné funkčnosti je třeba tuto kombinaci chránit separační fólií proti zanesení. [15] [19]

Separáční vrstva

Hlavnm úkolem separační vrstvy je chránit hydroakumulační vrstvu před zanesenm zeminou a tm omezit její kapacitu. Za tmto úcelem lze využt běžně dostupné netkané geotextilie vyráběné z 100% PP. Separáční vrstva může být vtvořen z polyethylenu ve tvaru fólie. [15] [19]

Substrát

Substrát je základem pro růst rostlin, je zásobárnou vody a živin nezbytných pro vegetaci. Složen substrátu a tloušťka jeho vrstvy musí odpovídat požadavkm plánované vegetace. Částice o průměru 3 až 6 mm jsou považovány za optimln, jsou povoleny částice do 1 cm. Poměr cizorodých částic o průměru větším než 2 mm (například kousky netkaného materiálu, skla, keramiky, plastu, dřeva) by neměl překročit 0,5 % z celkové hmotnosti substrátu. [15] [20]

Substrát musí být dostatečně úrodn, tj. obsahovat ve 20 g půdy nejméně 4 % humusu, nejméně 6 mg snadno hydrolyzovatelného/dostupného/rostlinného dusíku a nejméně 10 mg hydroxidu fosforečného a oxidu draselného. Kontrola úrodnosti půdy se provádí v laboratoři. [15] [20]

Typy substrátu se od sebe liší objemovou hmotností, propustností (mm/min) a maximlnm obsahem vody (% objemu). Výchozí materiály pro vegetační substráty by neměly obsahovat žádn semena ani živ rostliny nebo regenerace schopn rostlinn části, zejména kořenov plevy. Jako složky půdního substrátu lze použít: expandovan jl, vermikulit, perlit, rašelinu. [15] [20]

Výška substrátu závisí na typu zelen střechy. Při zakládání extenzivních stěrech se výška vegetačního substrátu pohybuje v rozmezí 60 až 200 mm s převahou anorganick složky (minerální) nad organickou (humus). [15] [20]

Orientační objemov hmotnost substrátu je cca 630 kg/m³ v suchm stavu a cca 850 kg/m³ v pln nasycenm stavu. [15] [20]

Pro intenzivní ozelenn střechy se používá vegetační vrstva výšší než 200 mm. V substrátu převažuje organick složka (humus) nad anorganickou (minerální). Orientační objemov hmotnost substrátu je cca 510 kg/m³ v suchm stavu a cca 950 kg/m³ v pln nasycenm stavu. [15] [20]

Rostliny

Pro ozelenění se upřednostňují rostliny, které nadměrně netvoří biomasu, ale rostliny, které jsou schopny přežít v extrémních podmínkách. Vysázené rostliny nemají dosahovat vyššího vzrůstu než 2–3 m, zejména na místě, které je vystaveno větru. Preferovány jsou malé rostliny. Rostliny musí být pěstovány na substrátech převážně na bázi minerálů. Další vlastností používaných rostlin je schopnost odolávat vysokému slunečnímu úpalu, schopnost odolávat suchu a být mrazuvzdorné i na tenké vrstvě substrátu. Samozřejmě záleží na místních podmínkách a specifiku místního klimatu. Velikost vytvořeného kořenového systému by měla odpovídat hloubce vrstvy substrátu. Na střeších není povoleno vysazování rostlin z volné přírody. Tabulka 1 popisuje minimální rozměry hlavních konstrukčních prvků zelené střechy při použití různých skupin rostlin. [15] [21]

Tabulka 2 Rozměry substrátu, drenážní a separační vrstev při použití různých skupin rostlin [21]

Typ rostlin	Substrát [cm]	Drenážní vrstva [cm]	Separační vrstva [cm]
Nízké rostliny, tráva	10	5	3-4
Dekoratивní byliny	15 - 20	5 - 5 10	3-4
Trávník	5 - 6	10 - 15	3-4
Jednoleté květiny	20	10	3-4
Víceleté květiny	20 - 25	10	3-4
Malé keře	25 - 30	10	3-4
Velké keře	40 - 60	10	3-4
Stromy	40 - 120	15	3-4

1. 5. 2. Přehled firem v Rusku

Zelené střechy v Rusku ještě nejsou tak široce používány jako v Evropě, což je zapříčiněno hlavně mentalitou a neopodstatněnými předsudky, že takové střechy nejsou v ruském klimatu životaschopné. Přes všechny obavy zákazníků, vývojářů a architektů v Moskvě a Petrohradě byly postaveny objekty se zelenými střechami. Některé firmy začaly poskytovat své služby v oblasti budování vegetačních střech.

Sayan Group

Společnost Sayan poskytuje služby v oblasti výstavby a navrhování zahradní architektury přizpůsobené ruským podmínkám. Firma se zabývá provozem střešních teras, teras kolem bazénů, letních teras kaváren a restaurací, soukromých pozemkových teras, jako je například patio a zahrady. Firma se neustále modernizuje a vyrábí nové zboží nezbytné pro výstavbu zelených střech. [22]



Obrázek 11 Příklad z portfolia společnosti Sayan [23]

ZinCo

ZinCo RUS je jedinou oficiální pobočkou společnosti ZinCo GmbH (Německo) v Rusku. Společnost provádí celou řadu stavebních a instalačních prací na stavbě střech samostatně, včetně navrhování designu střech, opravy a údržby zelených střech. Stavební materiály jsou dodávány z Německa. Firma se zabývá výstavbou intenzivních a

extenzivních střech, ozeleněním teras, navrhují různá architektonická řešení trávníků na střeších atd. [24]



Obrázek 12 Příklad z portfolia společnosti ZinCO [25]

Green Roofs

Společnost Green Roofs se zabývá technickým poradenstvím pro vývojáře, architekty, designéry a soukromé klienty. Navrhují zelené střechy od nuly a odstraňují nedostatky v hotových projektech jiných firem. Provádějí údržbu zelených střech a celou škálu stavebních a instalačních prací. Stavební materiály a produkty pro ozelenění střech firma objednává od jiných společností, které jsou výrobci v tomto odvětví. [26]



Obrázek 13 Příklad z portfolia společnosti Green Roofs [27]

Je patrné, že konstrukce, materiály, montáž a údržba zelených střech v Rusku provádí hlavně evropské firmy, které mají evidentně větší zkušenosti s výstavbou ozeleněných střech.

Společnost Retex se zaměřuje na vývoj a výrobu netkaných textilií. Netkaná textilie Aquadesk je vegetačně retenční deska, která umožňuje kořenům porostu střechy prorůstat do své struktury, díky čemuž dojde ke zpevnění vrstev. Aquadesk splňuje funkce hlukové a tepelné izolací a může být dále použit pro retenční vrstvy střech, pro ochrannou vrstvu základových konstrukcí a vytváření různých hydroizolačních vrstev odolných proti mechanickému poškození. Testování vlastností materiálu stále probíhá. [28]

Do budoucna firma chystá dodávat Aquadesk do Ruska, a proto byla provedena rešerše, kde jsou popsány požadavky ruských programů a norem na vybudování zelených střech. Zásadním problémem je velký teplotní rozdíl během roku v Rusku, v zimním období teploty klesají pod bod mrazu, a proto desky byly testovány na odolnost vůči mrazu.

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experiment byl zaměřen na sledování změn mechanických vlastností materiálu. Cílem bylo zjistit, jaký vliv má opakované působení mrazu na materiálovou stabilitu desek Aquadesk vyrobených firmou Retex. Tato část diplomové práce popisuje parametry zkoumaného materiálu, postup přípravy vzorků, mechanické namáhání vzorků ohybem a stlačováním, provedení cyklů mrazení a následné vyhodnocení a vzájemné porovnání vlastností jednotlivých vzorků. Testování materiálu bylo realizováno v laboratořích netkaných textilií.

2. 1. Popis materiálu použitého k měření

Netkaná textilie Aquadesk byla dodána společností Retex, která je přímým výrobcem. Materiál Aquadesk je deska vyrobená z recyklovaných vláken vzájemně spojených tavitelnými vlákny. Jedná se o desky s rozměrem 1200 × 600 mm, tloušťce 30 mm a materiálového složení až 90 % recyklovaného materiálu bez chemických úprav (obr.14).



Obrázek 14 Materiál Aquadesk

Recyklát se skládá především z PES vláken z PET lahví. Zdrojem jsou technologické odpady firmy Retex z výroby autokoberců bez latexových pojiv. Pojivem

samotným je pouze 10 % bikomponentních vláken. Po obdržení desek Aquadesk bylo provedeno měření a veškeré hodnoty testovaných parametrů jsou uvedeny dále.

2. 2. Příprava vzorků

Příprava vzorků z desek Aquadesk od firmy Retex se prováděla v poloprovozu KNT, Technické univerzity v Liberci. Pro experiment byly připraveny vzorky o rozměrech 200×50 mm (obr.15).



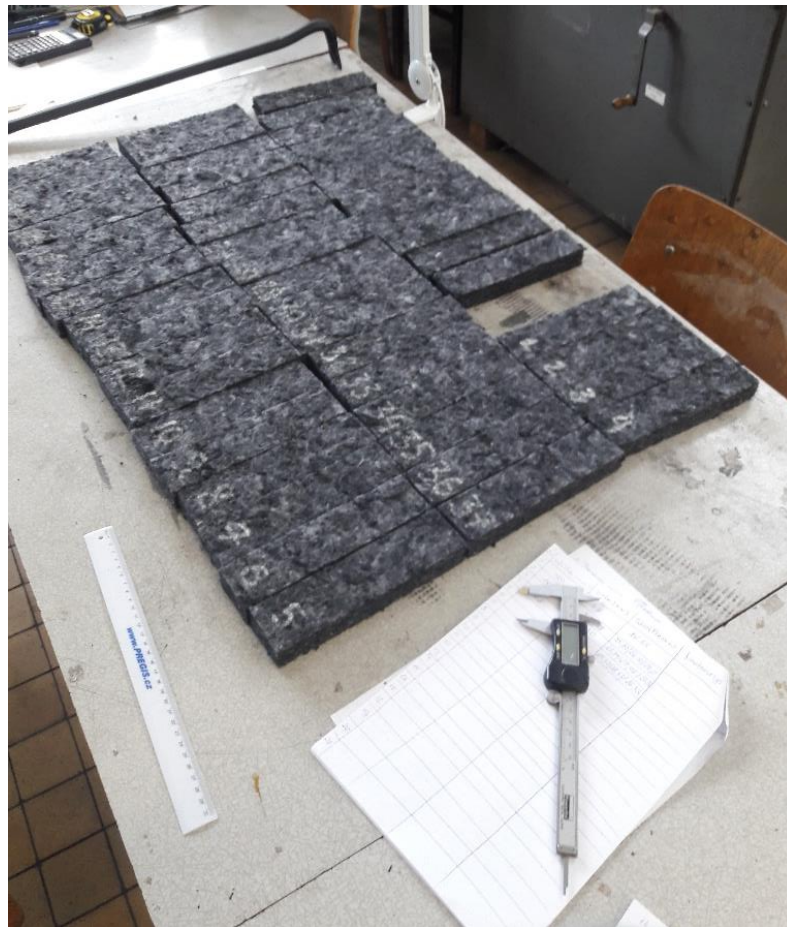
Obrázek 15 Nařezávání vzorků v poloprovozu TUL

Celkem bylo připraveno sto vzorků z desek Aquadesk. U zkušebních vzorků byla stanovena tloušťka, zjištěna hmotnost a následně byla vypočtena plošná hmotnost (obr. 16). Cílem bylo zjistit, které vzorky mají přibližně stejnou plošnou hmotnost za účelem porovnatelnosti prováděných zkoušek a zmrazovacích cyklů.

Z celkového množství vzorků bylo odebráno sedmnáct zkušebních vzorků, které byly následně rozděleny na dvě sady. Základní sada se skládala ze dvanácti vzorků materiálů, které byly podrobeny vybraným mechanickým zkouškám a zmrazovacím

cyklům. Srovnávací sada z pěti vzorků byla odebrána pro opakované mechanické namáhání bez přídavku vody.

V rámci tohoto rozdělení vzorků do dvou sad byly znovu odebrány vzorky a byly provedeny srovnávací testy nových vzorků s dříve odebranými vzorky za účelem zjištění změny materiálových vlastností bez působení mrazu na netkané textilie. Cílem provedení srovnávacích testů je zjistit případný úbytek odolnosti v ohybu či stlačení v důsledku provedení opakovaných mechanických zkoušek, aby bylo možné sledovat pouze vliv mrazových cyklů.



Obrázek 16 Číselné oznčení vzorků a zjištění parametrů pomocí digitálního posuvného měřítka

2. 3. Experiment

V této části je popsán způsob provedení vybraných mechanických zkoušek. Dále je popsán postup provedení cyklů mrazení materiálu.

2. 3. 1. Postup měření

První měření se provádělo za sucha bez podrobení základní sady vzorků zmrazovacím cyklům. Sedmnáct zkušebních vzorků byly vystaveny mechanickému namáhání vždy nejprve ohybem a následně stlačováním s cílem zjistit základní materiálové vlastnosti.

Pro provedení následujících testů na ohyb a stlačitelnost materiálu se muselo základní sadu vzorků podrobit zmrazovacím cyklům. Srovnací sada byla ponechána a testována bez provedení cyklů mrazení, jak již bylo řečeno v předchozí kapitole. Jednotlivý cyklus zmrazení spočíval v tom, že mokré vzorky byly umístěny do mrazícího boxu a po vyjmutí došlo k rozmrazení.

První část celého experimentu tkvěla v tom, že do jednotlivých vzorků ze základní sady bylo aplikováno určité množství pitné vody. Po pohlčení celého objemu vody materiálem byl vzorek umístěn do hermiticky uzavíratelného sáčku. Pro tuto část experimentu bylo potřeba provést pět cyklů mrazení a usušené vzorky podrobit vybraným mechanickým zkouškám. Srovnací sada vzorků byla taktéž testovaná na ohyb a stlačení.

Druhá část experimentu spočívala ve stejném postupu jako je v první části. Do jednotlivých vzorků ze základní sady byla aplikována voda a vzorky byly podrobeny dalším deseti cyklům mrazení materiálu. Po ukončení provedení zmrazovacích cyklů byl materiál usušen. Následně proběhlo testování mechanických vlastností pro základní a srovnací sady vzorků.

Poslední třetí část experimentu se provedla identicky s druhou částí. Pro tuto část bylo potřeba provést zbývající deset cyklů zmrazení. Vzorky byly vystaveny mechanickému namáhání ohybem a stlačením. Hodnoty, které byly získány tímto měřením, byly následně zpracovány do grafů.

Testy se prováděly vždy drsným povrchem dolů pro zajištění porovnatelnosti měření. Na jedné straně je vzorek pro přehlednost měření číselně označen (obr 17). Na základě požadavku firmy Retex bylo provedeno celkem 25 cyklů mrazení. Měření na

odolnost v ohybu a stlačení základní sady vzorků se prováděla po pěti, deseti a dále po zbývajících deseti cyklech mrazení. Celkem byla provedena čtyři měření.



Obrázek 17 Ukazka číselně označeného vzorku v pytle

2. 3. 2. Cykly mrazení

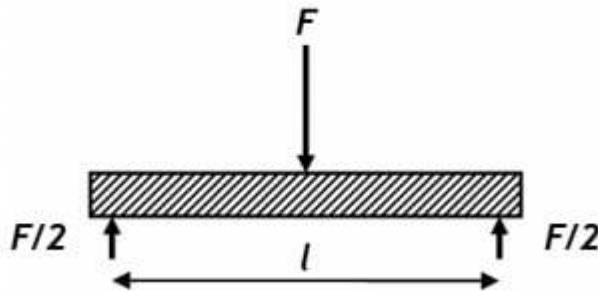
Experiment spočíval v provedení sady cyklů zmrazení a rozmrazování dvanácti vzorků materiálu Aquadesk. Po 100% smočení materiálu u zkušebních vzorků byla zjištěna hmotnost, která byla 33 ± 1 g a následně bylo odměřeno 33 ml vody pro každý vzorek.

Na zvážený vzorek byla do středu položena nálevka, do které byla pomocí odměrky aplikována voda. Po ukončení sorpce celého objemu vody materiálem, byl mokrý vzorek umístěn do sáčku, aby voda zůstala po celou dobu experimentu uvnitř vzorku. Po každém použití byla nálevka očištěna a následoval stejný postup měření. Poté byly zkušební vzorky ponechány po dobu 24 hodin ve mrazícím boxu. Všechny vzorky byly umístěny do boxu současně. Mezi vzorky byla ponechána mezera alespoň 10 mm a zároveň se vzorky nedotýkaly stěn boxu, což je nezbytné pro rovnoměrné rozmístění vody ve vzorku. Vzorky byly pokládány vždy drsným povrchem dolů. Teplota mrazení byla -18 °C.

Po uplynutí 24 hodin byly vzorky vyjmuty z mrazícího boxu a ponechány na dvě hodiny pro rozmrazení. Když bylo provedeno určité množství cyklů mrazení a rozmrazování materiálu, odebráné vzorky byly umístěny do sušárny, která umožnila rychlé odpařování vody z každého zkušební vzorku. Nastavená teplota pro usušení materiálu vždy činila 50 °C.

2. 3. 3. Zkouška tříbodovým ohybem

Ohybová zkouška byla vybrána jako vhodná metoda k porovnání změny mechanických vlastností mezi vzorky. Tato zkouška představuje jednu z nejdůležitějších zkoušek, pomocí které se zjišťují materiálové vlastnosti při ohybu. Cílem ohybové zkoušky je stanovit maximální průhyb zkoumaného materiálu. Principem je, že je zkušební vzorek umístěn na podporách v předepsané vzdálenosti od sebe a z horní strany uprostřed mezi podpěrami působí ohybová síla, která je kolmá na těleso (obr. 18).



Obrázek 18 Tříbodový ohyb[29]

Zkouška ohybem byla realizována na přístroji Labtest 2.050 v laboratořích netkaných textilií. Tento přístroj je určen k zjišťování mechanických vlastností délkových a plošných textilií. Lze jím provádět namáhání tlakem, tahem a ohybem. Přístroj byl propojen s počítačem, ve kterém je nainstalován software pro ovládání a zpracování výsledků.

Před zahájením měření se nejprve připravilo sedmnáct vzorků materiálu Aquadesk pro experiment.

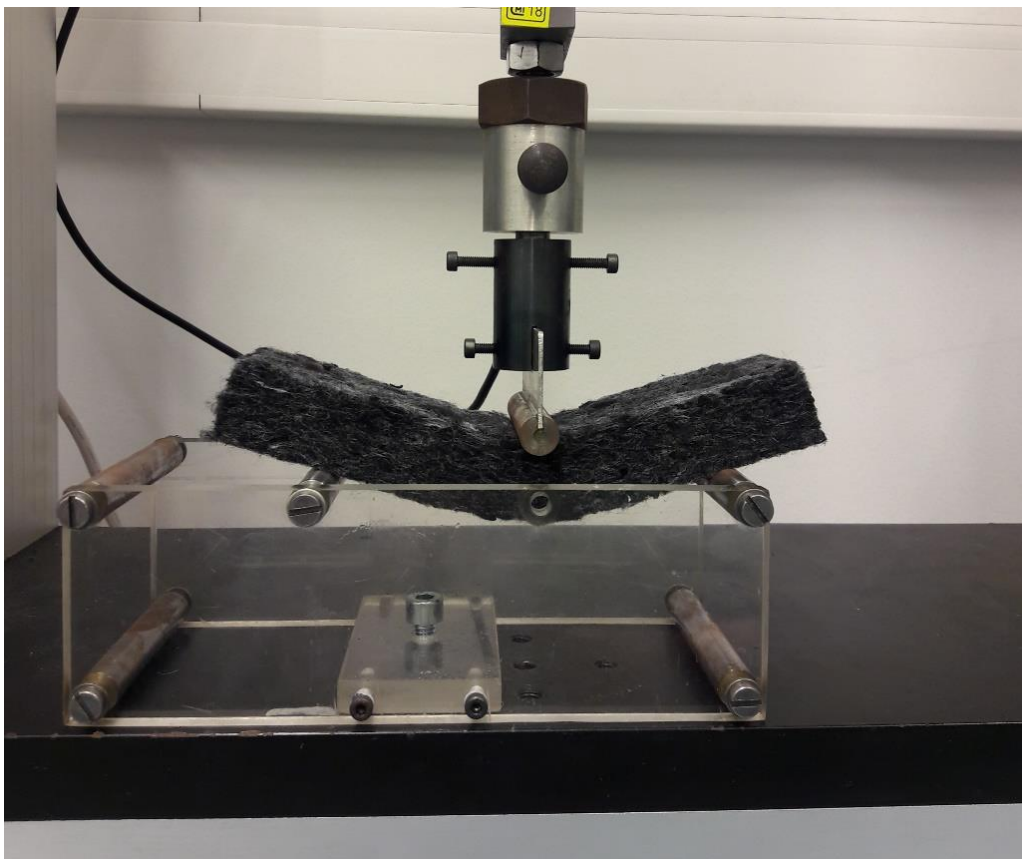
Před položením vzorku na podpory bylo třeba zadat v řídicím programu parametry vzorku pro daný materiál a další údaje pro správné vyhodnocení ohybové zkoušky. Mezi

tyto parametry patřila vzdálenost podpěr, která byla 30 mm, předpětí $F_0 = 0,5 \text{ N}$ a podmínka ukončení testu při dosažení průhybu 15 mm. Pro přesné umístění materiálu byly před zkouškou označeny středy každého vzorku.

Postup měření ohybem

V programu byly nastaveny parametry jednotlivých zkušebních vzorků, tedy výchozí poloha zatěžovacího pohyblivého válečku a vynulováno měřicí zařízení.

Po umístění zkušebního vzorku na podpěry a sondy měřící průhyb vzorku byla zahájena zkouška (obr. 19). Při probíhající zkoušce se výsledky zobrazovaly v pracovním prostředí programu. Po překročení nastavené deformace se zatěžující pohyblivý váleček vrátil zpět na nulovou polohu a po výměně vzorku mohlo dojít k dalšímu měření.



Obrázek 19 Ukázka měření ohybem

Po dokončení zkoušky třibodovým ohybem byla naměřená data uložena do připraveného souboru. Výsledky byly zaznamenány do tabulky a data zpracována do grafické podoby.

Takto měření probíhalo pro všech sedmnáct vybraných vzorků a byla sledovaná změna mechanických vlastností daného materiálu, ke které docházelo vlivem mechanického namáhání.

První zkoušky pro sedmnáct vzorků byly provedeny za sucha a které ukázaly základní hodnoty mechanických vlastností materiálu. Dále bylo potřeba provést cykly zmrazování a rozmrazování dvanácti vzorků za základní sady materiálu. Dalších pět vzorků srovnací sady nebylo podrobena zmrazovacím cyklům a byly testovány bez vlivu vody, jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole.

2. 3. 4. Zkouška stlačením

Toto měření bylo zvoleno proto, aby bylo možné zjistit odpor vzorků vůči stlačení, který se vyjadřuje jako závislost tloušťky vzorku na působícím tlaku.

Princip zkoušky spočívá v tom, že se vzorek stlačuje mezi dvěma plochými ocelovými deskami, dokud vzdálenost mezi nimi nedosáhne hodnoty nastavené pro daný materiál. Zařízení je ovládáno přímo z PC, kde se nastaví program zkoušky.

Experiment byl prováděn na univerzálním přístroji Labtest 2.050 v laboratořích netkaných textilií. Podpěry a pohyblivý zatěžovací váleček po zkoušce ohybem byly vyměněny za dvě ocelové desky, potřebné pro zkoušku stlačením (obr.20).



Obrázek 190 Ukázka testu stlačení

Zkoušce stlačováním bylo podrobena celkem sedmnáct vzorků materiálu Aquadesk. Zkušební vzorky netkané textilie měly rozměry $200 \pm 1 \text{ mm} \times 50 \pm 1 \text{ mm}$ a tloušťku $27 \pm 1 \text{ mm}$. Jeden zkušební vzorek byl umístěn mezi dvě rovnoběžně ocelové desky a stroj byl nastaven na 50% deformaci tloušťky vzorků, tedy 14 mm. Společným parametrem pro všechny zkušební vzorky byla vzdálenost ocelových desek, která byla 30 mm, rychlost zatěžování byla zvolena 5 mm/min a způsob ukončení zkoušky bylo zvoleno stlačení o 50 % tloušťky materiálu.

Stejně jako u zkoušky ohybem byly první zkoušky sedmnácti testovaných vzorků provedeny za sucha. Poté byly provedeny cykly zmrazování a rozmrazování dvanácti vzorků materiálu, přičemž zbývajících pět vzorků bylo testováno bez vody a zmrazování.

Postup měření stlačitelnosti

Před zahájením experimentu musely být v programu nastaveny parametry jednotlivých zkušebních vzorků, tedy tloušťka vzorku, výchozí poloha ocelových desek a vynulováno měřicí zařízení. Dále bylo nastaveno zatěžování na určitou hodnotu. Následně byl spuštěn test stlačitelnosti.

V průběhu měření přístroj zaznamenával odpor vůči stlačení v N a byly definovány výchozí parametry pro program LabTest. Po dokončení zkoušky namáhání stlačováním byl stroj vypnut a vzorky vyjmuty ze stroje.

Postupně byly stejným způsobem podrobeny zkoušce stlačováním vždy další vzorky stejného poměru a stejné plošné hmotnosti. Testovány byly vzorky, které byly před tímto testem podrobeny zkoušce mechanickému namáhání ohybem. Naměřená data byla uložena do připraveného souboru. Výsledky byly zaznamenány do tabulky a data zpracována do grafické podoby.

2. 4. Zhodnocení výsledků

V této práci bylo snahou nechat podrobit desky Aquadesk od firmy Retex všem popsaným mechanickým zkouškám v experimentální části. Cílem je sledování změny síly potřebné pro ohyb a stlačení materiálu, který byl podroben zmrazovacím cyklům. Následně byla provedena analýza vlivu mrazu na materiálové vlastnosti desek.

Na materiálech byl experimentálně proveden třibodový ohyb, z něhož se získala maximální dosažená ohybová síla. Dále byla na všech materiálech provedena zkouška stlačení, z níž byla naměřená síla potřebná ke stlačení o 50 % tloušťky materiálu. Následně byly vzorky podrobeny 25 zmrazovacím cyklům. Byly provedeny čtyři testy pro dvě sady vzorků na ohyb a stlačení. První testy proběhly na vzorcích bez vlivu vody, z čehož se zjistily základní vlastnosti materiálu. Zbývající testy mechanických vlastností se provedly pro základní sadu vzorků (12 zkušebních vzorků) po 5, 15 a 25 zmrazovacích cyklech, a pro srovnací sadu vzorků (5 zkušebních vzorků), která nebyla podrobena zmrazovacím cyklům.

Vyhodnocení testů spočívá především v převedení naměřených hodnot do podoby srozumitelných grafů a tabulek. Většina grafů je uvedena v přílohách, ale jejich význam a vyhodnocení je prezentováno v této kapitole.

2. 4. 1. Základní parametry vybraných vzorků

Tabulky 3 a 4 popisují naměřené parametry vybraných vzorků. Je vidět, že všechny vzorky mají přibližně stejnou délku (200 ± 1 mm), šířku (50 ± 1 mm), tloušťku (26 ± 1 mm), hmotnost (33 ± 1 g) a plošnou hmotnost (maximální odchylka jsou 2 %). Z toho vyplývá, že měření by nemělo být ovlivněno výběrem vzorků.

Tabulka 3 Parametry základní sady vzorků

Číslo vzorku	Délka [mm]	Šířka [mm]	Tloušťka [mm]	Hmotnost [g]	Plošná hmotnost [g/m ²]
4	201	49,5	26,5	33,19	3335,85
22	202	49,7	27,3	33,16	3302,99
27	200	50,3	27,6	33,6	3339,96
34	201	50,4	27,6	33,14	3271,34
35	200	50,1	27,5	32,86	3279,44
41	200	50,3	28,5	33,43	3323,06
57	201	50,6	26,8	33,47	3290,86
66	200	50,6	27,3	33,76	3335,97
68	200	50,7	26,9	33,07	3261,34
77	201	50,5	28,1	33,73	3322,99
80	200	50,2	27,6	33,52	3338,65
95	200	50,5	27,3	33,54	3320,79
Průměr	200,5	50,2	27,41	33,37	3310,27
Směrodatná odchylka	0,67	0,36	0,54	0,28	28,16
Variační koeficient	0,003	0,007	0,019	0,008	0,008

Tabulka 4 Základní parametry srovnací sady vzorků

Číslo vzorku	Délka [mm]	Šířka [mm]	Tloušťka [mm]	Hmotnost [g]	Plošná hmotnost [g/m ²]
9	200	50,3	27	32,16	3196,82
42	201	50,3	27,9	32,44	3208,61
44	200	50,6	27	32,42	3203,56
76	200	50,5	27,6	32,4	3207,92
91	201	50,7	27	32,47	3186,24
Průměr	200,4	50,4	27,3	32,37	3200,63
Směrodatná odchylka	0,54	0,17	0,42	0,12	9,31
Variační koeficient	0,002	0,003	0,015	0,003	0,002

2. 4. 2. Výsledky ohybové zkoušky

Tabulka 5 popisuje sledování síly potřebné k ohybu materiálu Aquadesk. Hodnoty jednotlivých měření v ohybu prokazují, že síla lineárně klesá se zvyšujícím se počtem provedených cyklů mrazení. Nejvyšší hodnoty síly potřebné pro ohyb byly naměřeny před zahájením mrazení. Tudíž nejnižší hodnoty materiál dosáhl po ukončení všech zmrazovacích cyklů. U vzorků ze základní sady nastal očekávaný výsledek, a to výrazné snížení pevnosti v ohybu, ta byla o 20,2% (0,97 N) nižší. Dá se říci, že zmrazování mělo na ohybovou pevnost negativní vliv.

Tabulka 5 Výsledné hodnoty měření ohybem pro základní sadu vzorků

Ohyb, základní sada	Síla [N]			
Číslo vzorku	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření
4	6,17	5,47	5,11	4,8
22	5,47	4,94	4,59	4,59
27	5,29	4,76	4,41	4,06
34	4,94	4,41	3,7	3,88
35	4,06	3,7	3	3
41	6,53	6,17	5,82	5,47
57	5,47	4,94	4,59	4,23
66	4,23	3,88	3,53	3,53
68	4,41	4,06	3,53	3,53
77	4,59	3,88	3,53	3,35
80	5,11	4,59	3,7	3,88
95	6,17	6,17	5,47	5,47
Průměr	5,20	4,75	4,25	4,15
Směrodatná odchylka	0,8	0,84	0,88	0,79
Variační koeficient	0,15	0,18	0,21	0,19

Tabulka 6 ukazuje, že výsledné hodnoty síly potřebné k ohybu materiálu Aquadesk, klesají se zvyšujícím se počtem mechanických zkoušek. Můžeme pozorovat postupné ustalování hodnoty.

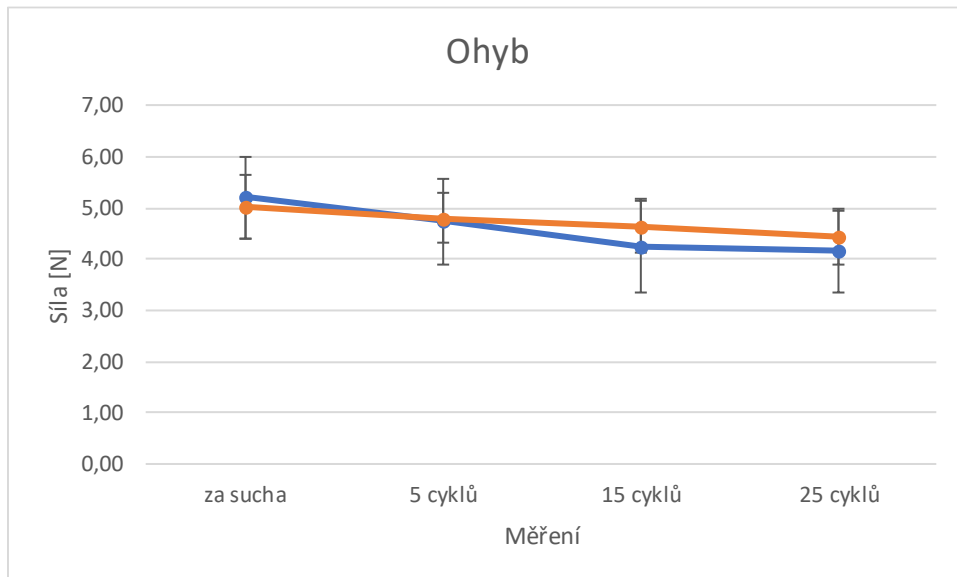
Tabulka 6 Výsledné hodnoty měření ohybem pro srovnací sadu vzorků

Ohyb, srovnací sada	Síla [N]			
Číslo vzorku	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření
9	4,59	4,41	4,23	4,06
42	5,47	5,29	5,11	4,94
44	4,3	4,23	4,06	3,88
76	5,82	5,29	5,29	5,11
91	4,94	4,76	4,59	4,23
Průměr	5,02	4,79	4,65	4,44
Směrodatná odchylka	0,62	0,48	0,53	0,54
Variační koeficient	0,12	0,10	0,12	0,12

Porovnání výsledků měření ohybu základní a srovnací sady vzorků

Při pozorování experimentálních výsledků jednotlivých měření první sady vzorků nejvyšší pevností v ohybu dosáhly vzorky při prvním měření. U vzorků, které nebyly vystaveny žádným zmrazovacím cyklům, se v prvním testu projevila taktéž nejvyšší hodnota síly. Hodnoty síly pro obě sady vzorků lineárně klesají. Maximální dosažené hodnoty síly byly více než dvojnásobné u srovnacích vzorků oproti vzorkům ze základní sady.

U vzorků ze základní sady došlo k poklesu pevnosti v ohybu o 20,2 % (0,97 N) oproti referenčním vzorkům. Odolnost materiálu základní sady vůči ohybu při provedení měření postupně poklesla o 8/18/20 % při 5/15/25 cyklech.



Obrázek 21 Graf závislosti síly potřebné pro ohyb vzorků na číslu měření pro základní (modrá) a srovnací (červená) sady vzorků

Z grafu je zřejmé, že se jednotlivé hodnoty pro první sadu vzorků, která byla podrobena cyklům mrazení, výrazně liší od srovnací sady z pěti vzorků testované jenom nasucho. Výrazné rozdíly jsou patrné zejména při porovnávání prvních a posledních měření pro obě sady vzorků. Je možné potvrdit, že zmrazování má zásadní vliv na mechanické vlastnosti materiálu a došlo ke zhoršení výsledků.

2. 4. 3. Výsledky zkoušky odporu ve stlačení

U zkoušek stlačitelnosti byl efekt u zmrazovaných prvků téměř stejný. Tabulka 7 znázorňuje sledování síly potřebné ke stlačování materiálu Aquadesk. Hodnoty síly porovnávají před zahájením zmrazování a po ukončení všech cyklů zmrazování také prokázaly závislost na jejich počtu. U vzorků z první sady došlo k poklesu pevnosti ve stlačení o 21,9 % (230,92 N). Vzorky po 25 mrazovacích cyklech vykazovaly významné snížení pevnosti oproti prvnímu měření bez vlivu vody. Opět můžeme hovořit o závislosti, kde s přibývajícím počtem zmrazování a rozmrazování materiálu bude hodnota síly klesat.

Tabulka 7 Výsledné hodnoty stlačování pro první sadu vzorků

Stlačování, první sada	Síla [N]			
Číslo vzorku	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření
4	1088,32	844,95	843,94	776,16
22	984,27	992,91	974,57	823,78
27	1119,72	1013,02	1012,66	906,5
34	997,85	932,6	906,85	755
35	1066,81	1026,95	992,74	774,22
41	1141,58	891,15	841,77	767,35
57	1089,56	1023,95	990,8	845,65
66	1051,34	971,4	965,34	922,37
68	975,98	927,31	1002,85	787,1
77	976,69	861,88	857,33	772,28
80	1025,72	964,7	952,96	826,25
95	1154,11	1058,7	1019,01	944,24
Průměr	1056,00	959,13	946,74	825,08
Směrodatná odchylka	64,28	68,61	66,81	66,18
Variační koeficient	0,06	0,07	0,07	0,08

Při pozorování výsledných hodnot stlačování pro srovnací sadu vzorků je patrné, že se jednotlivé hodnoty síly od sebe výrazně liší. Nejnížší hodnoty projevil materiál při druhém měření. Tudíž nejvyšších hodnot síly potřebné pro stlačení bylo naměřeno při třetím měření. U vzorků po prvním měření poklesla síla o 6 % (50,81 N), ale u vzorků po třetím měření síla naopak vzrostla, a to o 14,1 % (135,2 N) oproti prvnímu měření. Uvedené hodnoty jsou znázorněny v tabulce 8. U srovnací sady vzorků však došlo k zajímavému efektu. Při porovnání hodnot prvního a posledního měření vykazuje materiál vyšší odolnost vůči stlačení se zvyšujícím se počtem provedených mechanických zkoušek. U vzorků ze srovnací sady došlo ke zvýšení pevnosti o 12,8 % (123,38 N).

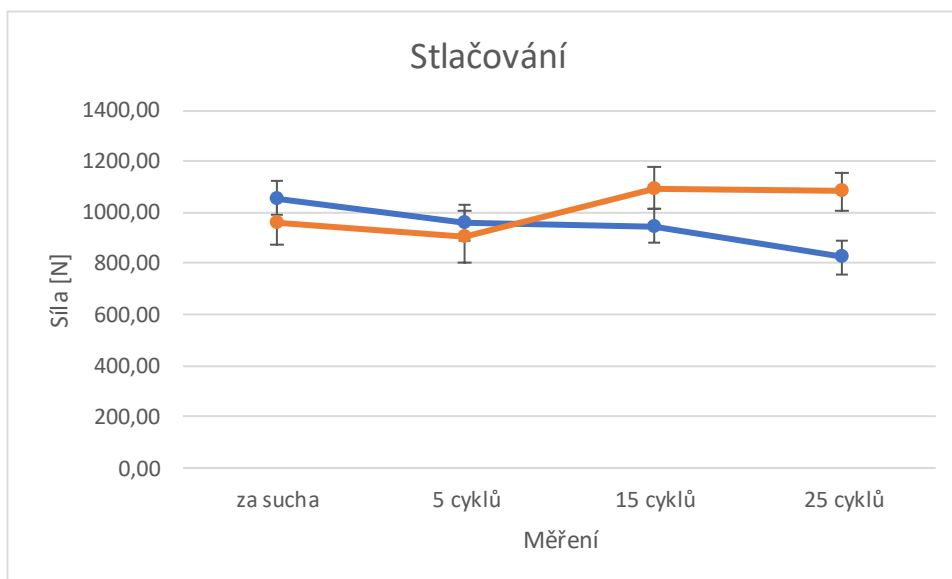
Tabulka 8 Výsledné hodnoty stlačování pro srovnací sadu vzorků

Stlačování, srovnací sada	Síla [N]			
	1 měření	2 měření	3 měření	4 měření
Číslo vzorku				
9	893,62	888,68	1048,29	1055,52
42	911,79	840,18	1029,24	999,26
44	902,44	792,95	1063,81	1041,24
76	987,45	937,71	1241,05	1161,34
91	1107,55	1054,29	1096,44	1162,4
Průměr	960,57	902,76	1095,77	1083,95
Směrodatná odchylka	90,23	100,44	84,86	74,07
Variační koeficient	0,09	0,11	0,08	0,07

Porovnání výsledků měření stlačování základní a srovnací sady vzorků

Na vzorcích po zkoušce ohybem byla následně provedena zkouška stlačitelnosti. U zkoušek v tlaku byl efekt u zmrazovaných prvků téměř stejný v porovnání s ohybovou zkouškou. Dále je uveden graf závislosti síly potřebné pro stlačování vzorků na číslu měření pro základní (12 zkušebních vzorků) a srovnací (5 zkušebních vzorků) sady vzorků. Hodnoty pro prvních dvanáct vzorků jsou zjištěny v každé sadě zmrazovacích cyklů (5/10/10). Můžeme pozorovat postupné ustalování hodnoty síly. U první sady vzorků tyto hodnoty při zatěžování klesají do určité doby rychleji a křivka je strmější, než u zkoušky ohybem.

Vzorky po 25 cyklech zmrazení vykazovaly významné snížení pevnosti oproti srovnacím vzorkům, a to o 34,7 %. U vzorků první sady je pozorován klesající trend po pěti cyklech, kde došlo k poklesu odolosti ve stlačení o 9 %, u 15 cyklů už však bylo zhoršení o 10 %, po 25 dokonce o 21,9 %. U vzorků nastal očekávaný výsledek podle předpokladu, a to výrazné snížení pevnosti.



Obrázek 22 Graf závislosti síly potřebné pro stlačování vzorků na číslu měření pro základní (modrá) a srovnací (červená) sady vzorků

U srovnací sady vzorků došlo ke zlepšení výsledků, což mohlo být zapříčiněno tím, že se jednotlivá vlákna po každém měření nevrátila do původní polohy a výsledkem je větší odolnost vůči stlačení. Toto podněcuje k dalšímu detailnímu studiu dané problematiky. Avšak lepší odolnost vůči mechanickému namáhání srovnací sady vzorků neovlivňuje výsledky z měření vzorků, které byly podrobeny zmrazovacím cyklům. Je opět možné tvrdit, že zmrazování má zásadní vliv na mechanické vlastnosti materiálu.

Z výše vyhodnocených grafů a tabulek je patrné, že působení mrazu ovlivnilo průběhy mechanických zkoušek ohybem a stlačováním a došlo ke zhoršení vlastností. Výsledkem je, že je možné potvrdit teoretické předpoklady škodlivého vlivu mrazu na materiál.

Opakované zmrazování a rozmrazování (zmrazovací cykly) vede k postupnému rozrušování struktury netkané textilie. Jelikož PES je sám o sobě hydrofobním materiálem, lze očekávat, že voda byla absorbována vlákny zejména díky kapilárním silám. Tato voda mrznoucí v kapilárních pórech, které se objevují v náhodném uspořádání uvnitř struktury materiálu, zvětšuje svůj objem, což vede ke vzniku a zvětšování mikrotrhlin polyesterových vláken.

Důsledkem tohoto poškození může být kromě estetických změn zejména snížená životnost materiálu. Posuzování životnosti je v případech působení mrazu obtížné, může

se snad opírat o počet zmrazovacích cyklů, limitujícím přijatelný rozsah poškození. Porušení vnitřní struktury je způsobováno zmrznutím vody uvnitř netkané textilie v těch jeho částech, kde nasycení vodou dosáhlo jistého stupně. Dochází ke snižování pevnosti netkané textilie a dalších mechanických vlastností, což je významné z hlediska trvanlivosti a mezních stavů únosnosti či použitelnosti.

Závěr

Tato diplomová práce pojednává o vlivu mrazu na mechanické vlastnosti materiálu Aquadesk vyráběného společností Retex. Do budoucna firma chystá rozšířit své aktivity v Rusku, a proto byla provedena rešerše, kde jsou popsány požadavky ruských programů a norem na vybudování zelených střech. Zásadním problémem je výrazné střídání teplot během roku a v zimním období se vyskytují teploty klesající pod bod mrazu, a proto desky byly testovány na odolnost vůči mrazu.

Z materiálu Aquadesk byly připraveny a odebrány vzorky stejných parametrů, které bylo v rámci experimentu potřeba rozdělit na dvě sady. Základní sada byla podrobena vybraným mechanickým zkouškám (vždy odolnost v ohybu a následně stlačení) a zmrazovacím cyklům. Dále byly odebrány vzorky pro srovnací sadu, které byly testovány bez vlivu vody, t.j. bez provedení cyklů zmrazování. Poté byly provedeny srovnávací testy nových vzorků s dříve odebranými vzorky za účelem zjištění změny materiálových vlastností. Rozdělení zkušebních vzorků do dvou sad umožnilo vyloučit případný úbytek mechanických vlastností materiálu v důsledku provedení opakovaných mechanických zkoušek, aby bylo možné tvrdit, že příčinou úbytku materiálových vlastností je vliv zmrazovacích cyklů.

Podle naměřených hodnot se potvrdil předpoklad destruktivního vlivu mrazu na netkané textilie. To z toho důvodu, že při zmrazování je ovlivněn celý objem materiálu. Zmrznutí vody se projeví jak na povrchu vzorku, tak i uvnitř, čímž nastává porušení v mnohem větším rozsahu. Úbytek mechanických vlastností způsobený mrazem podle naměřených hodnot je téměř přímo úměrný počtu zmrazovacích cyklů za teoretického předpokladu stejné rychlosti změny teploty, minimální teploty a jejího trvání. Ale již malý počet cyklů způsobuje nárůst poškození. Bylo shledáno, že ke zhoršení mechanických vlastností došlo poklesem pevnosti materiálu celkem přibližně o 21 %.

Seznam použitých zdrojů

- [1] MINKE, Gernot. Zelené střechy: plánování, realizace, příklady z praxe. Ostrava: HEL, 2001. ISBN 80-86167-17-8.
- [2] Z travových trsov vytvorily vzor rybej kosti. In: *Pravda* [online]. PEREX, a.s., © 2019. [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: https://ipravda.sk/res/2017/07/14/thumbs/island-dom-skanzen-v-skogare_01-galeria.jpg
- [3] ČERMÁKOVÁ, Barbora a Radka MUŽÍKOVÁ. Ozeleněné střechy. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-1802-6.
- [4] СОКОЛОВА, М. В. К вопросу об истории садов и парков: Современные проблемы сервиса и туризма. *КИБЕРЛЕНИНКА* [online]. 2013, , 5 [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ob-istorii-sadov-i-parkov/viewer>
- [5] Roof garden. In: *ZinCO* [online]. [cit. 2020-03-1]. Dostupné z: <https://zinco-greenroof.com/systems/roof-garden>
- [6] Polointezivní zelená střecha na terase bytového domu. In: *Greenville* [online]. 2019 [cit. 2020-03-1]. Dostupné z: <http://www.greenville.cz/polointenzivni-zelena-strecha-na-terase.html>
- [7] Extezivní zelená střecha na rodinném domě. In: *Greenville* [online]. 2015 [cit. 2020-03-8]. Dostupné z: http://www.greenville.cz/uploads/1/1/6/6/11668741/20170516-093303-fotogalerie_orig.jpg
- [8] МАЛИНИНА, Т. А. Зеленые крыши городского ландшафта. *Молодой ученый* [online]. 2019(48), 74 - 76 [cit. 2020-03-8]. Dostupné z: <https://moluch.ru/archive/286/64522/>
- [9] Студенческий научный журнал. *Молодой ученый* [online]. Новосибирск, 2017(5) [cit. 2020-03-8]. ISBN 978-5-4379-0530-2. Dostupné z: https://sibac.info/archive/journal/student/5%285_1%29.pdf#page=31
- [10] Сады на крышах: через века, до наших времен и с прицелом на будущее. *ZinCO* [online]. 2018, 6 ноября [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.zinco.ru/istoriya-sadov-na-kryshe/>
- [11] ОДОЕВА, К. В. Озеленение крыш. *Студенческий* [online]. 2017(5), 30 - 33 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: https://sibac.info/archive/journal/student/5%285_1%29.pdf#page=31
- [12] Устройство «зеленых зон» в условиях плотной застройки. *Инженерный вестник Дона* [online]. Ростов-на-Дону, 2019, (9), 1 - 6 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: http://wvav.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_79__7y2019_petrov_lebed_.pdf_90d65c89e5.pdf

- [13] Отель Crowne Plaza St. Petersburg Airport. In: *Airportcity* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: https://airportcity.spb.ru/images/cms/data/project/Infrastruktura/DSC_1959.jpg
- [14] Условия создания "зеленых" крыш и их особенности. Актуальные направления современной науки, образования и технологий [online]. ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, , 1 - 5 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://emc21.ru/wp-content/uploads/2020/05/Petrov-K.S.-Popov-E.P.-SНochiev-T.S.-Al-Hassaki-D.H.H.pdf>
- [15] "Зеленые" стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования. Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации, 2020.
- [16] DOSTAL, Pavel. Způsoby systémové podpory výstavby zelených střech [online]. Brno: Svaz zakládání a údržby zeleně, 2017. [cit. 2020-06-31]. Dostupné z: http://www.zelenestrechy.info/UserFiles/File/Publikace_Zpusoby%20systemove%20podpory%201_BARVA%20WEB.pdf
- [17] Components of green roof. In: *Researchgate* [online]. 2018 [cit. 2020-07-04]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Mahnour_Khawaja/publication/328875883/figure/fig2/AS:691877875548165@1541967948971/Components-of-green-roof-25.jpg
- [18] ИОФФЕ, А. О. Технология создания зеленых крыш в условиях севера России. *Universum* [online]. 2016, , 1 - 5 [cit. 2020-07-04]. Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-sozdaniya-zelenyh-krysh-v-usloviyah-severa-rossii/viewer>
- [19] ФЕДОРОВА, Т. А. Технологические принципы подбора растений и инженерные особенности озеленения кровель европейской части России. *Вестник РУДН* [online]. 2013, (5), 1 - 8 [cit. 2020-07-04]. Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-printsipy-podbora-rasteniy-i-inzhenernye-osobennosti-ozeleneniya-krovel-evropeyskoy-chasti-rossii/viewer>
- [20] САИД, А. Н. Зеленая кровля. Особенности проектирования и преимущества эксплуатации. *Бюллетень науки и практики* [online]. 2019, , 1 - 7 [cit. 2020-07-05]. Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/zelenaya-krovlya-osobennosti-proektirovaniya-i-preimuschestva-ekspluatatsii/viewer>
- [21] ТУРКИНА, Е. А. Архитектурный потенциал пространства крыш многоэтажных жилых зданий. *Жилищное строительство* [online]. 2013, (10), 28 - 31 [cit. 2020-07-05]. Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturnyy-potentsial-prostranstva-krysh-mnogoetazhnyh-zhilyh-zdaniy/viewer>
- [22] Строительство террас под ключ. *Sayangroup* [online]. 2019 [cit. 2020-07-05]. Dostupné z: <https://install.sayangroup.ru/>

- [23] Озеленение эксплуатируемой кровли ул. Остоженка, г. Москва. In: *Sayan Group* [online]. 2019 [cit. 2020-07-05]. Dostupné z: <https://sayangroup.ru/images/cache/b9/9c/b99c4613bebdb39e2128ce53d1c9b0c2.jpg>
- [24] Услуги. *ZinCO* [online]. 2009 - 2020 [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <https://www.zinco.ru/usligi/>
- [25] Портфолио. пер. Гранатный, д. 6 г. Москва. In: *ZinCO* [online]. 2017 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: https://www.zinco.ru/wp-content/uploads/2017/03/IMG_9634-1-1.jpg
- [26] О компании. *Зеленые крыши* [online]. Москва [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.grrus.ru/>
- [27] Коттеджный поселок «Evergreen». In: *Зеленые крыши* [online]. Москва [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.grrus.ru/wp-content/uploads/2017/04/%D0%9B%D1%8E%D0%B1%D1%83%D1%88%D0%BA%D0%B8%D0%BD-%D0%A5%D1%83%D1%82%D0%BE%D1%80-%D0%9C%D0%9E-2.jpg>
- [28] Aquadesk: Použití. *Retex* [online]. [cit. 2020-07-04]. Dostupné z: <https://aquadesk.cz/pouziti/>
- [29] Třibodový systém ohybové zkoušky. In: *Ústav fyziky a materiálového inženýrství* [online]. Zlín [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_09.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 20 Tradiční domy z travních drnů, Island

Obrázek 21 Visuté zahrady Semiramidiny

Obrázek 22 Ukázka intenzivní zelené střechy

Obrázek 23 Ukázka polointenzivní zelené střechy

Obrázek 24 Ukázka extenzivní zelené střechy

Obrázek 25 Závěsná zahrada Ermitáže v Petrohradě

Obrázek 26 Střecha obchodního centra Crowne Plaza v Petrohradě o celkové rozloze více než 2000 m²

Obrázek 27 Zelená střecha budovy v Taškentu

Obrázek 28 Střešní zahrada Moskevského mezinárodního domu hudby

Obrázek 29 Obecná skladba souvrství střechy

Obrázek 30 Příklad z portfolia společnosti Sayan

Obrázek 31 Příklad z portfolia společnosti ZinCO

Obrázek 32 Příklad z portfolia společnosti Green Roofs

Obrázek 33 Materiál Aquadesk

Obrázek 34 Nařezávání vzorků v poloprovozu TUL

Obrázek 35 Číselné označení vzorků a zjištění parametrů pomocí digitalního posuvného měřítka

Obrázek 36 Ukázka číselně označeného vzorku v pytle

Obrázek 37 Tříbodový ohyb

PoOObrázek 19 Ukázka měření ohybem

Obrázek 20 Ukázka testu stlačení

Obrázek 2138 Graf závislosti síly potřebné pro ohyb vzorků na číslu měření pro základní (modrá) a srovnací (červená) sady vzorků

Obrázek 22 Graf závislosti síly potřebné pro stlačování vzorků na číslu měření pro základní (modrá) a srovnací (červená) sady vzorků

Seznam tabulek

Tabulka 1 Funkční vrstvy vegetačního souvrství

Tabulka 2 Rozměry substrátu, drenážní a separační vrstev při použití různých skupin rostlin

Tabulka 3 Parametry základní sady vzorků

Tabulka 4 Základní parametry srovnací sady vzorků

Tabulka 5 Výsledné hodnoty měření ohybem pro základní sadu vzorků

Tabulka 6 Výsledné hodnoty měření ohybem pro srovnací sadu vzorků

Tabulka 7 Výsledné hodnoty stlačování pro základní sadu vzorků

Tabulka 8 Výsledné hodnoty stlačování pro srovnací sadu vzorků

Seznam příloh

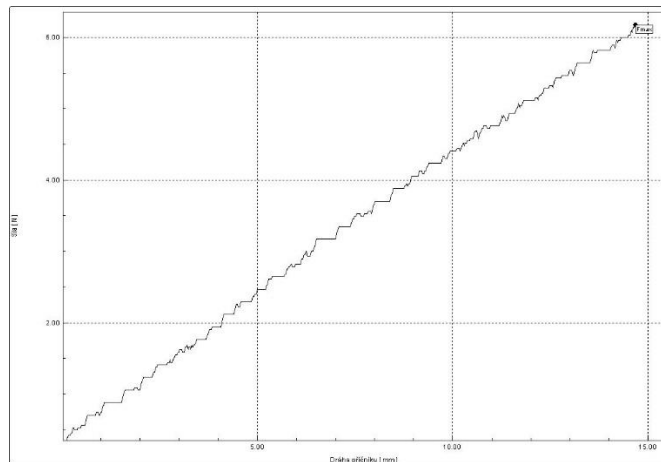
Příloha 1 Grafy měření ohybu jednotlivých vzorků (základní sada vzorků) a naměřené hodnoty

Příloha 2 Grafy měření ohybu jednotlivých vzorků (srovnací sada vzorků) a naměřené hodnoty

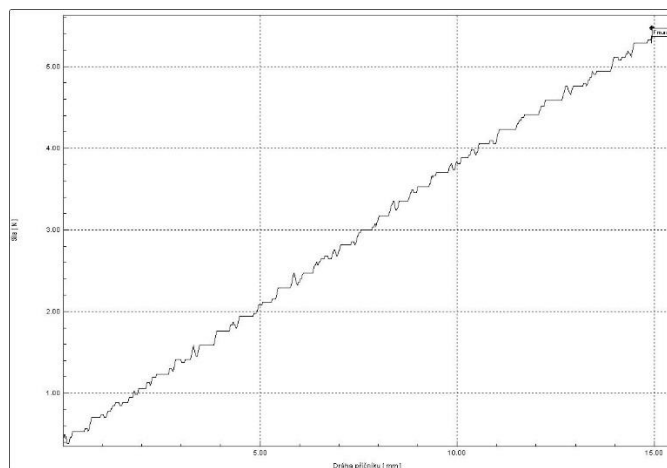
Příloha 3 Grafy měření stlačování jednotlivých vzorků (základní sada vzorků) a naměřené hodnoty

Příloha 4 Grafy měření stlačování jednotlivých vzorků (srovnací sada vzorků) a naměřené hodnoty

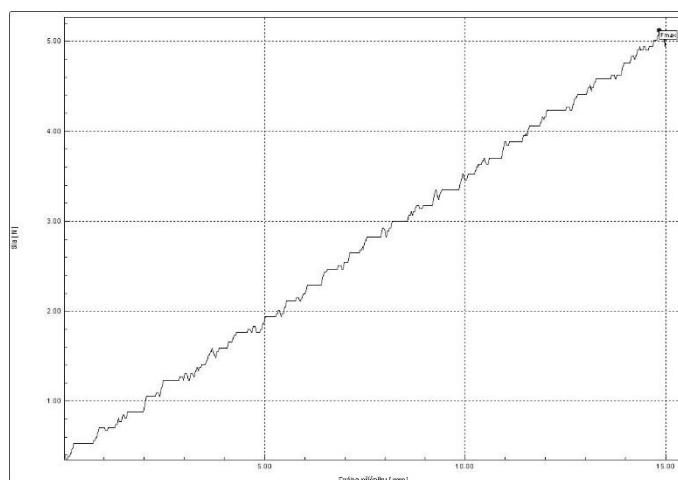
Příloha 1



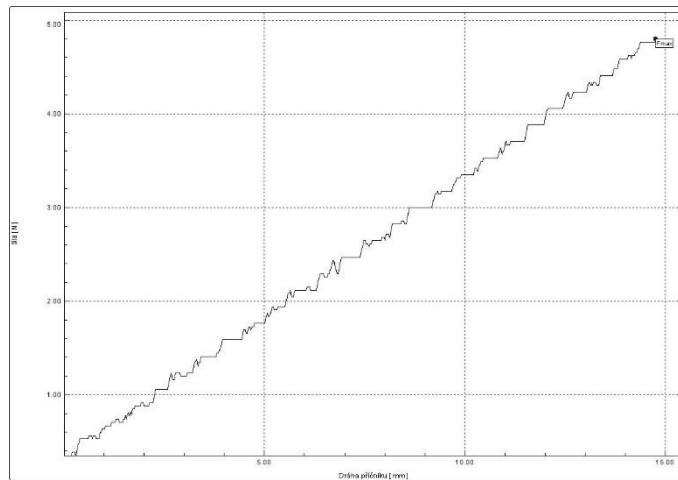
Obrázek 39 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 4 (1 měření)



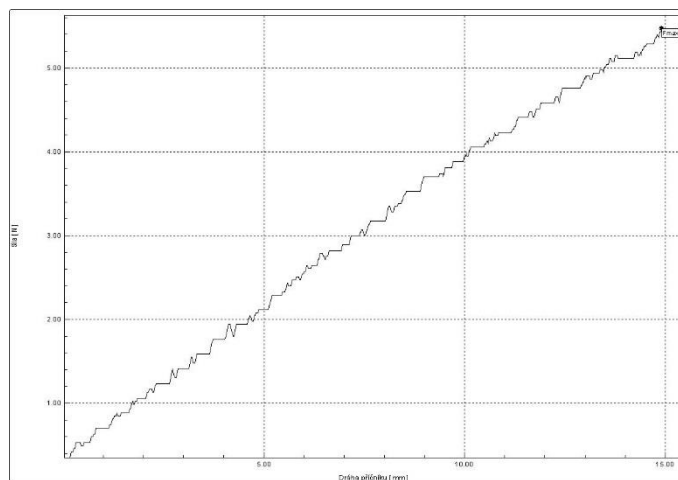
Obrázek 40 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 4 (2 měření)



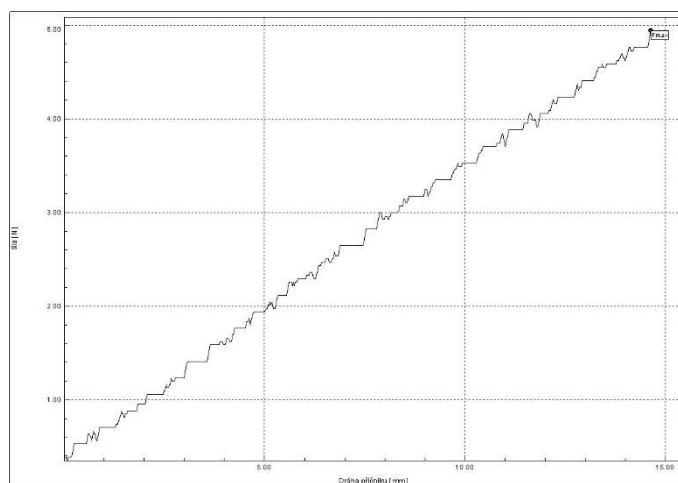
Obrázek 41 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 4 (3 měření)



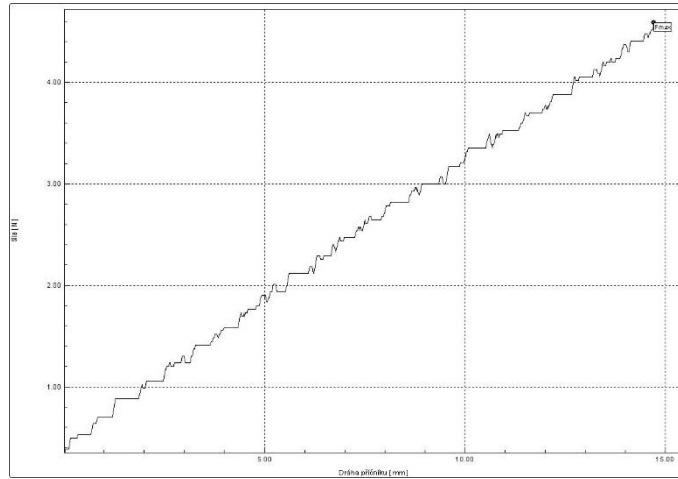
Obrázek 42 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 4 (4 měření)



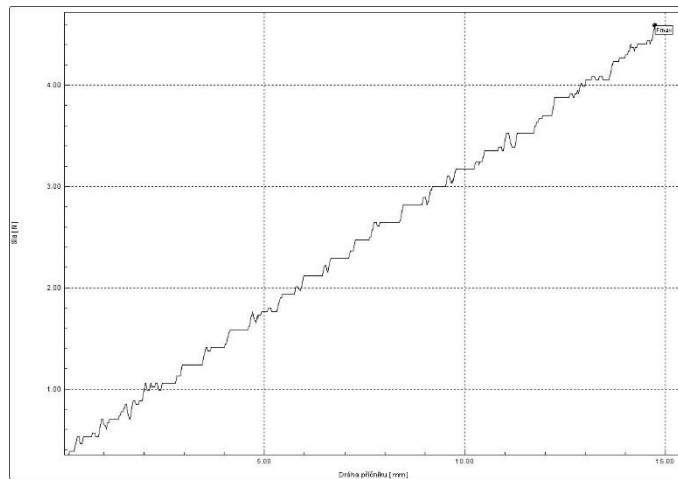
Obrázek 43 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 22 (1 měření)



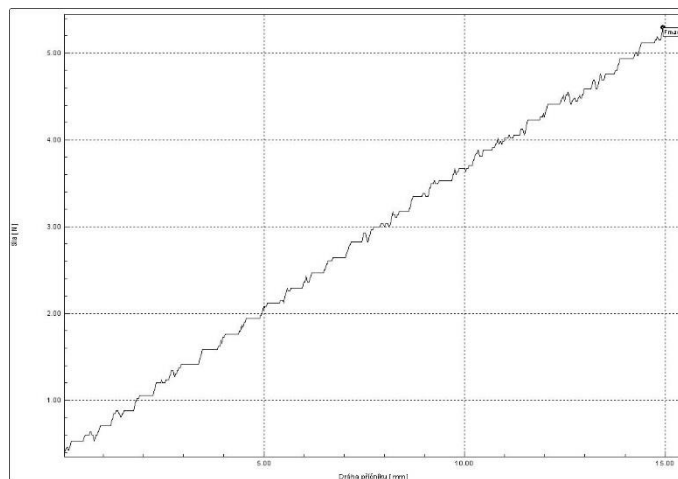
Obrázek 44 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 22 (2 měření)



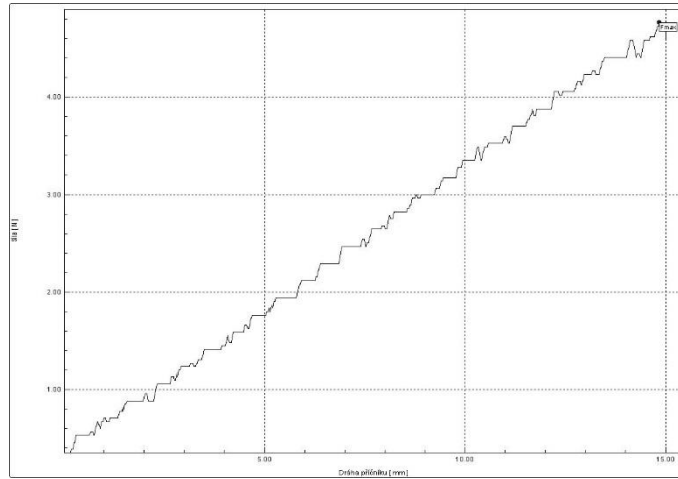
Obrázek 45 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 22 (3 měření)



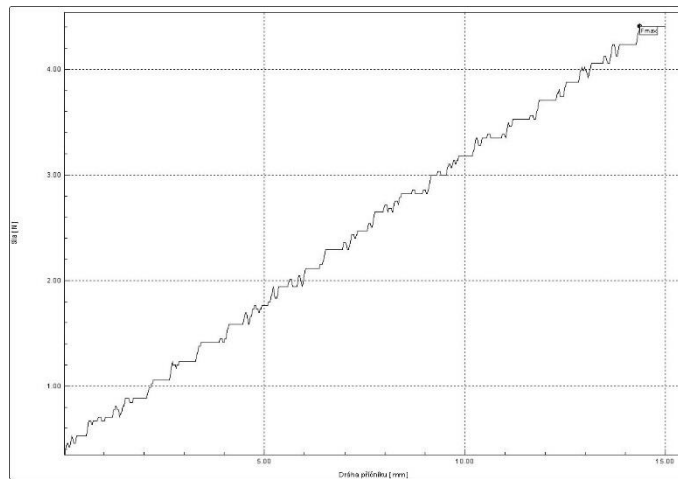
Obrázek 46 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 22 (4 měření)



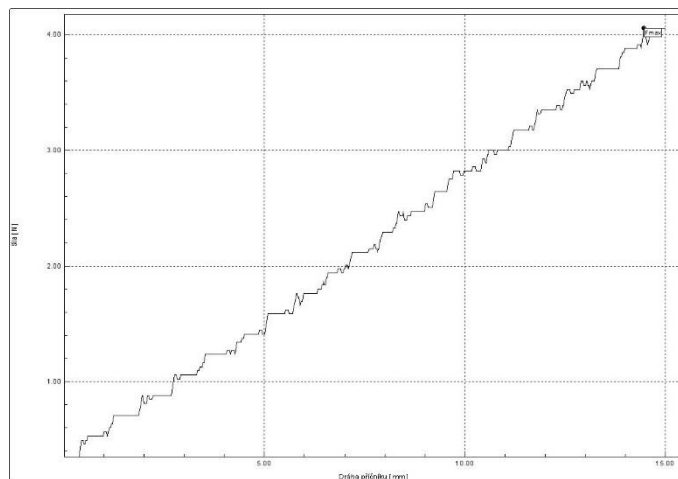
Obrázek 47 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 27 (1 měření)



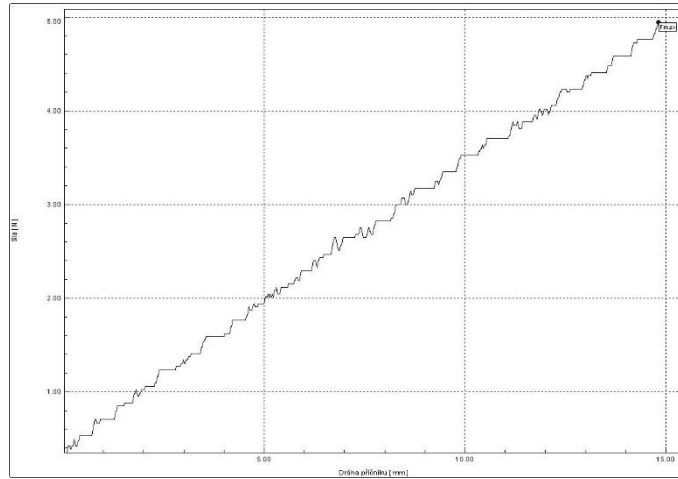
Obrázek 48 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 27 (2 měření)



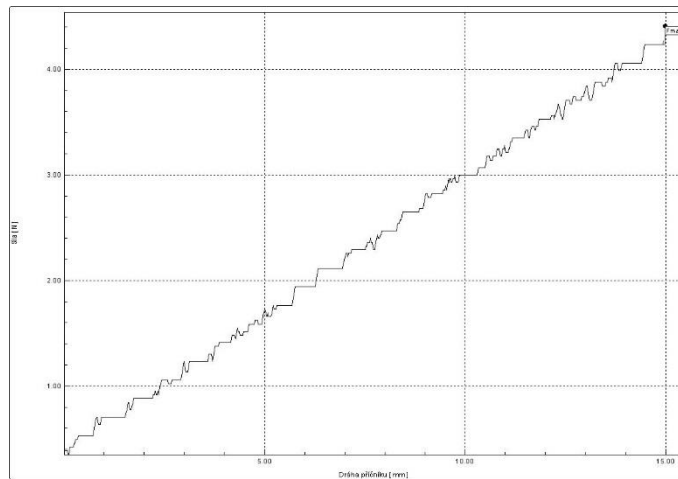
Obrázek 49 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 27 (3 měření)



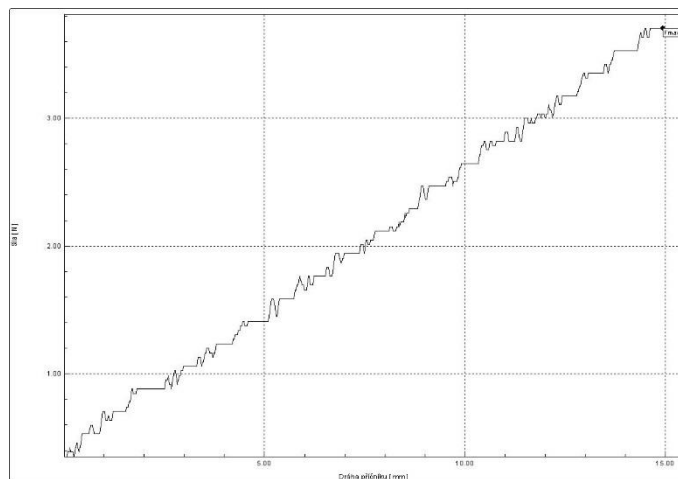
Obrázek 50 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 27 (4 měření)



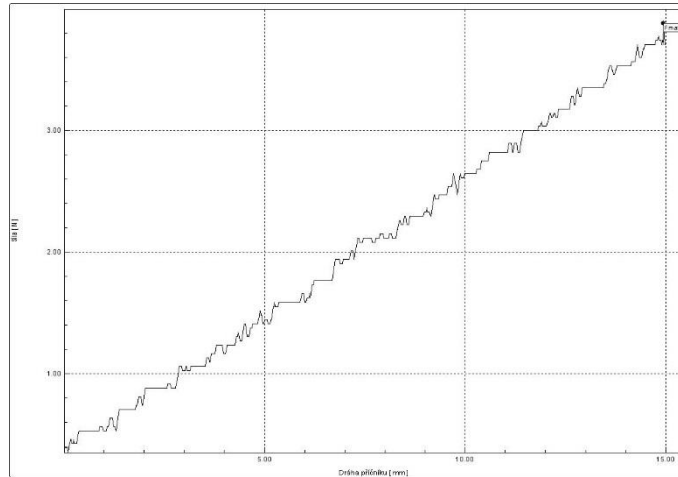
Obrázek 51 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 34 (1 měření)



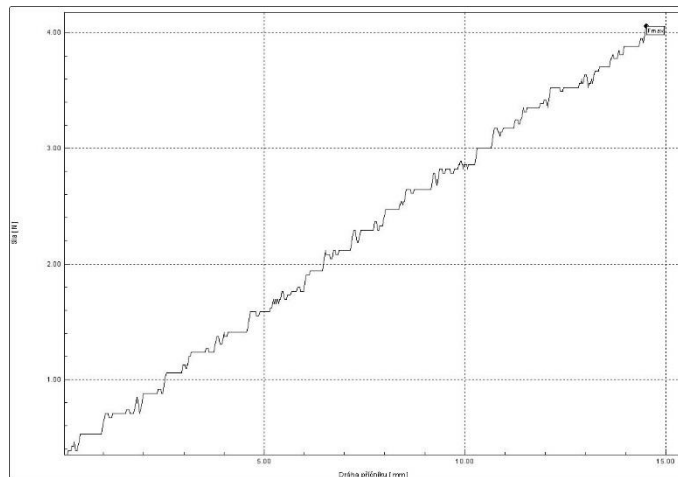
Obrázek 52 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 34 (2 měření)



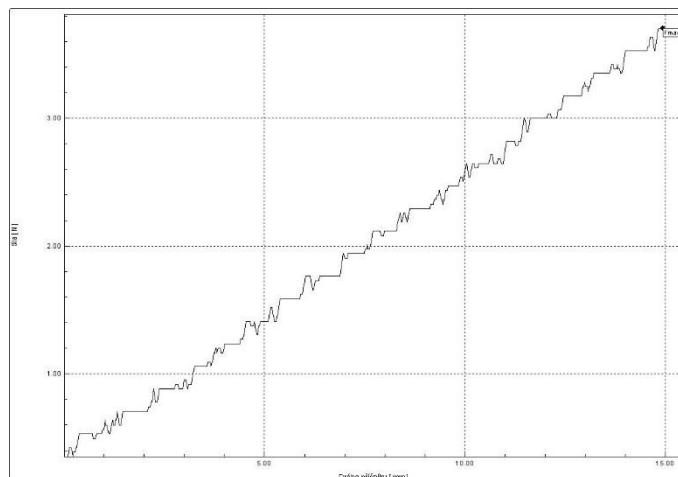
Obrázek 53 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 34 (3 měření)



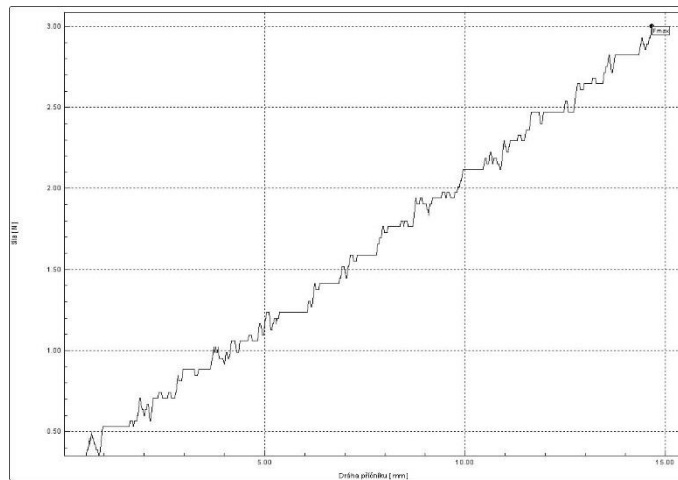
Obrázek 54 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 34 (4 měření)



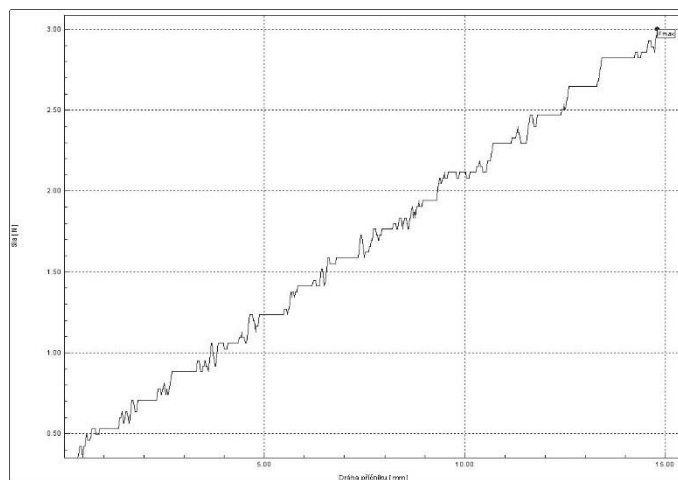
Obrázek 55 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 35 (1 měření)



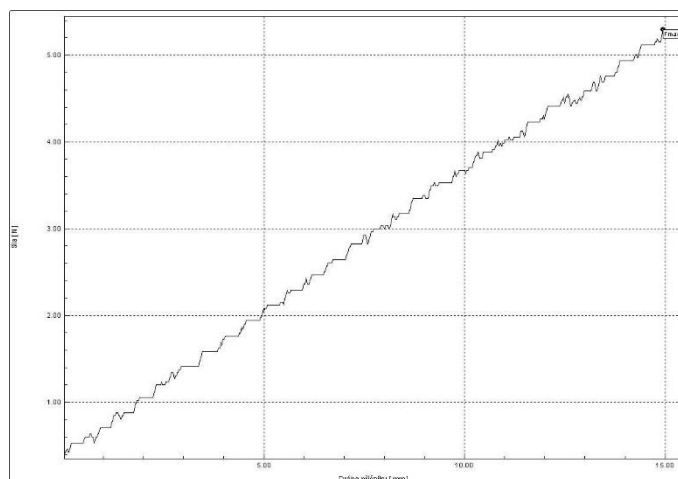
Obrázek 56 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 35 (2 měření)



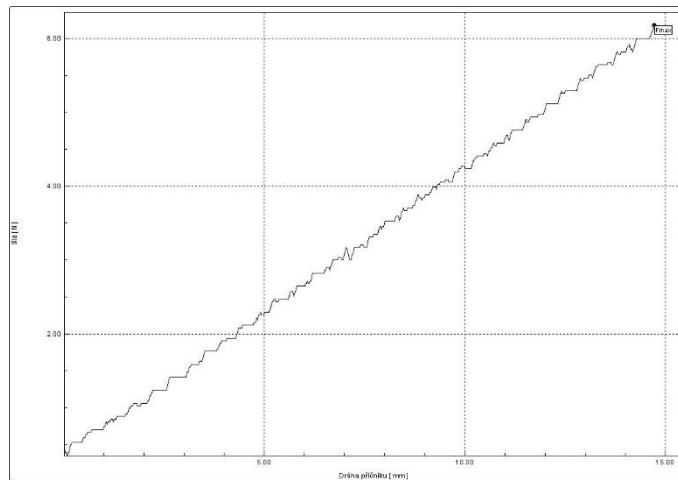
Obrázek 57 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 35 (3 měření)



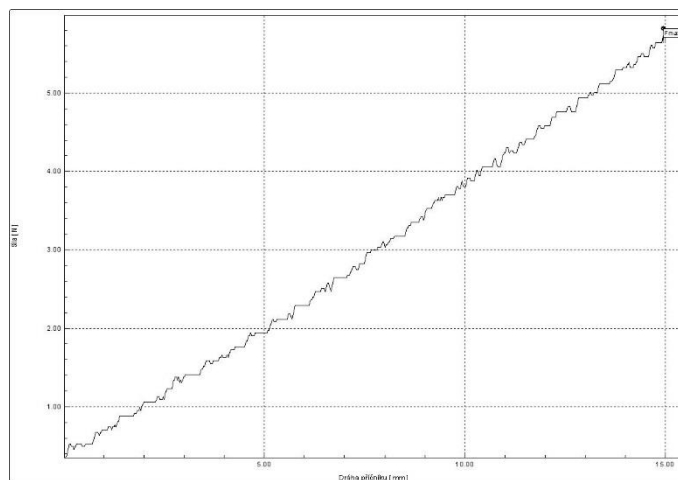
Obrázek 58 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 35 (4 měření)



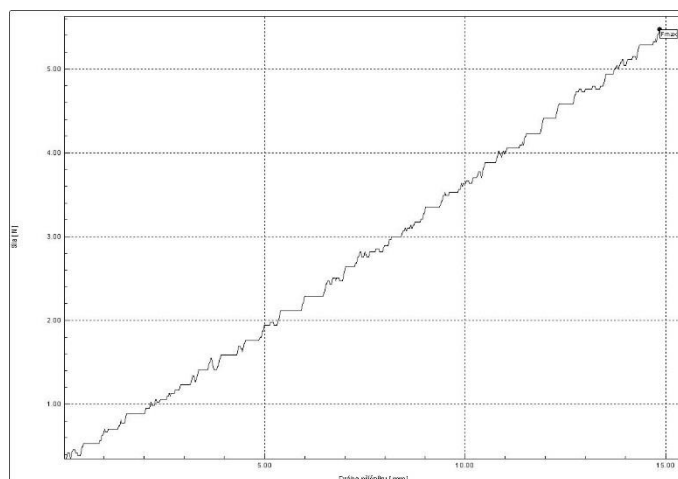
Obrázek 59 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 41 (1 měření)



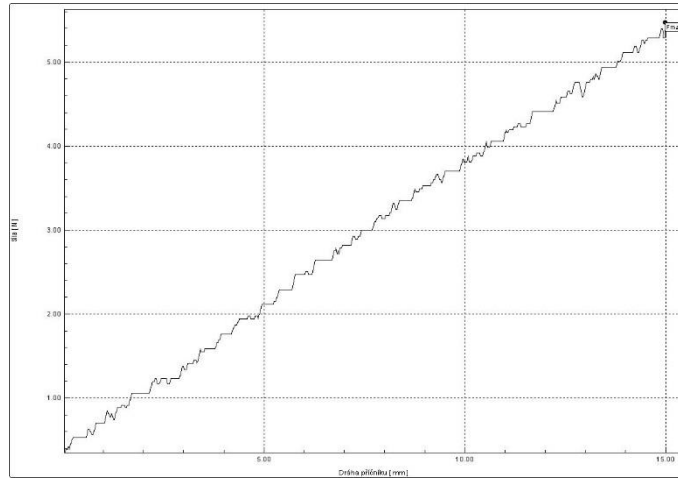
Obrázek 60 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 41 (2 měření)



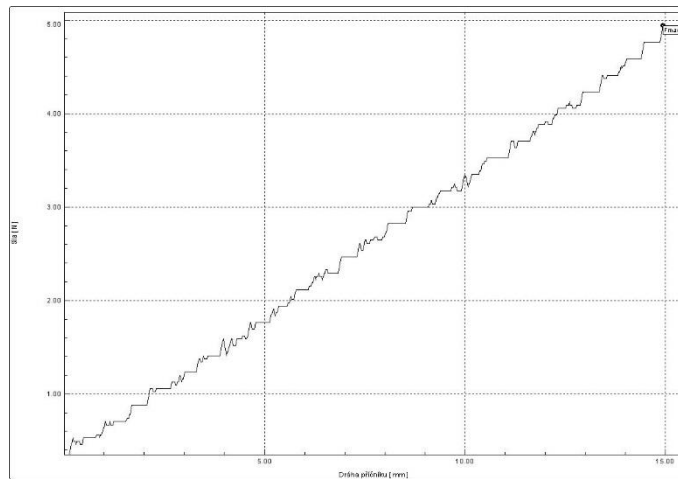
Obrázek 61 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 41 (3 měření)



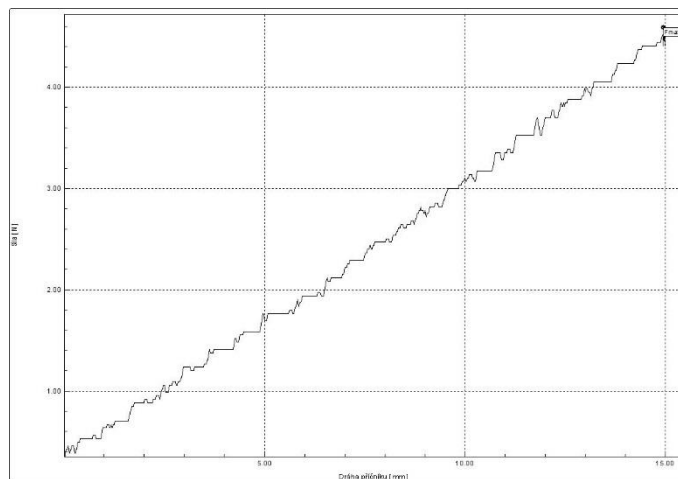
Obrázek 62 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 41 (4 měření)



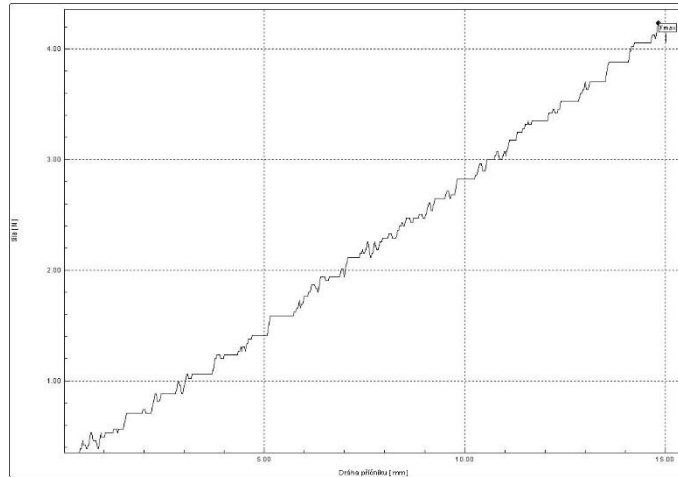
Obrázek 63 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 57 (1 měření)



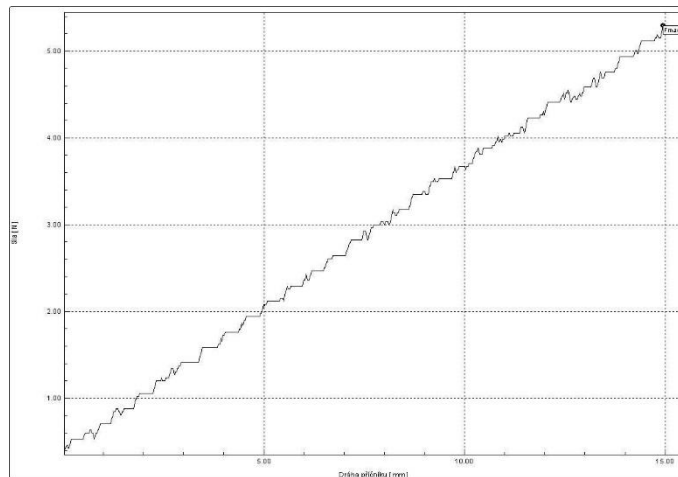
Obrázek 64 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 57 (2 měření)



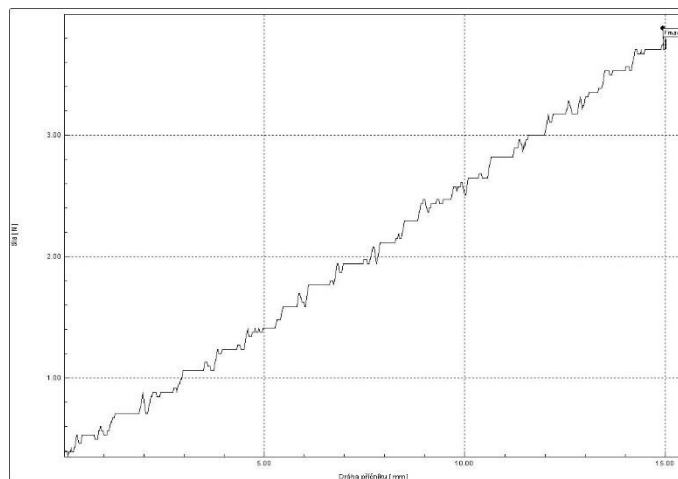
Obrázek 65 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 57 (3 měření)



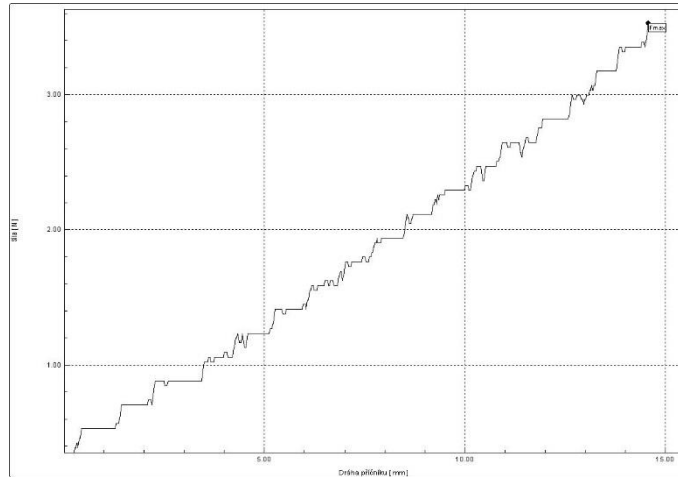
Obrázek 66 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 57 (4 měření)



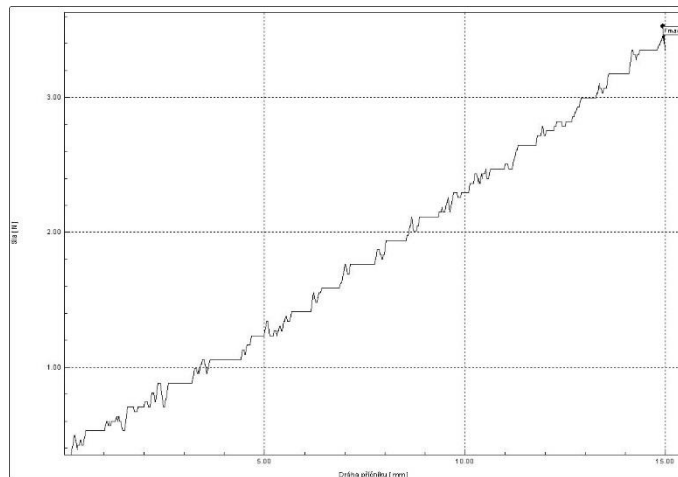
Obrázek 67 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 66 (1 měření)



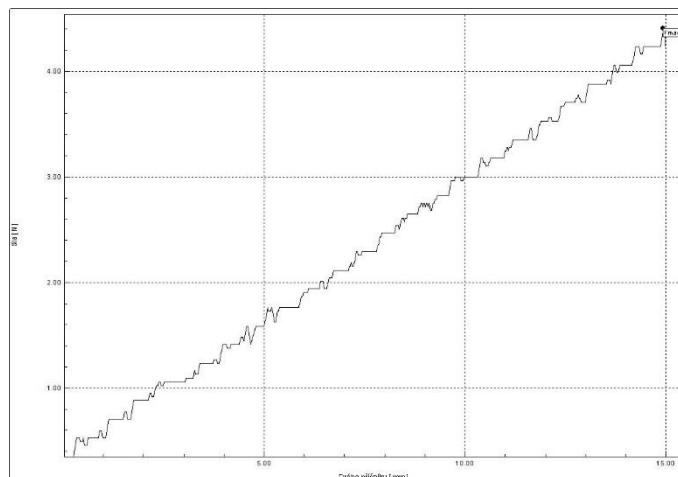
Obrázek 68 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 66 (2 měření)



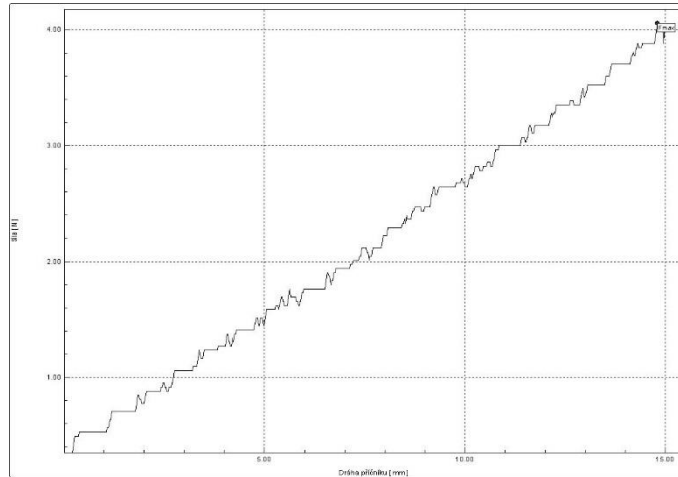
Obrázek 69 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 66 (3 měření)



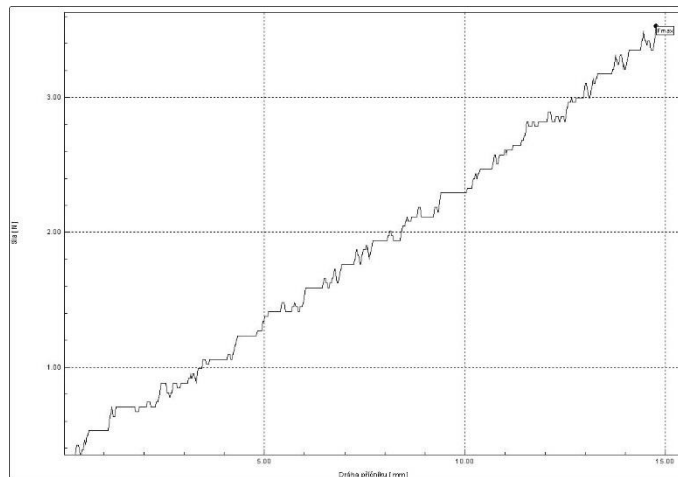
Obrázek 70 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 66 (4 měření)



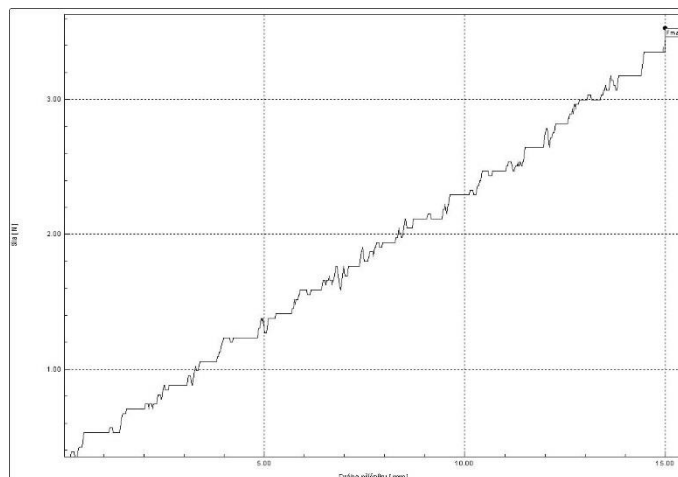
Obrázek 71 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 68 (1 měření)



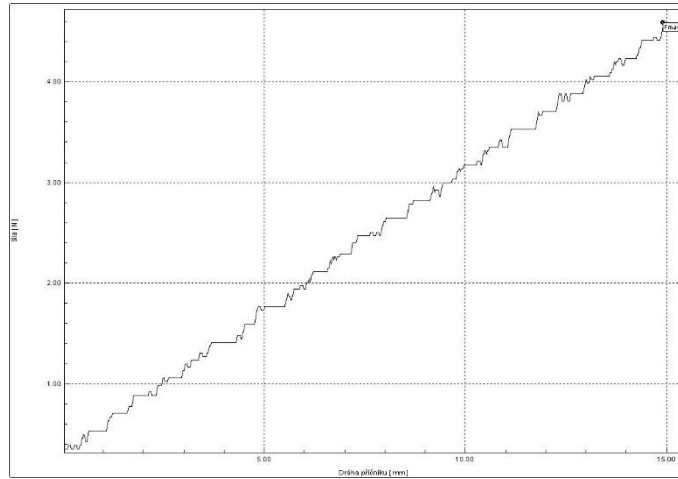
Obrázek 72 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 68 (2 měření)



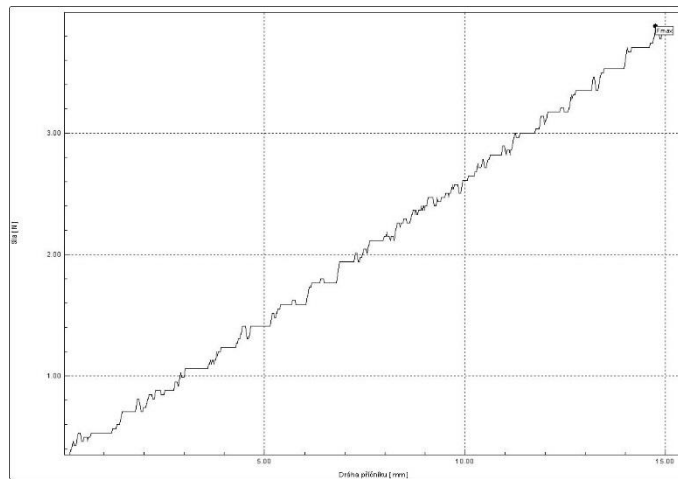
Obrázek 73 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 68 (3 měření)



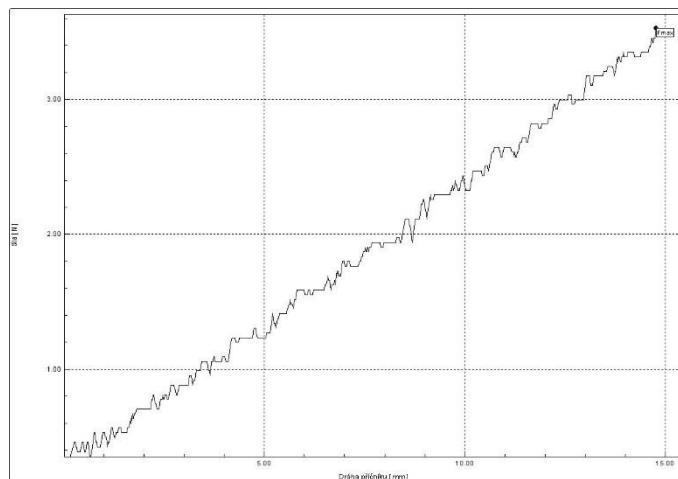
Obrázek 74 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 68 (4 měření)



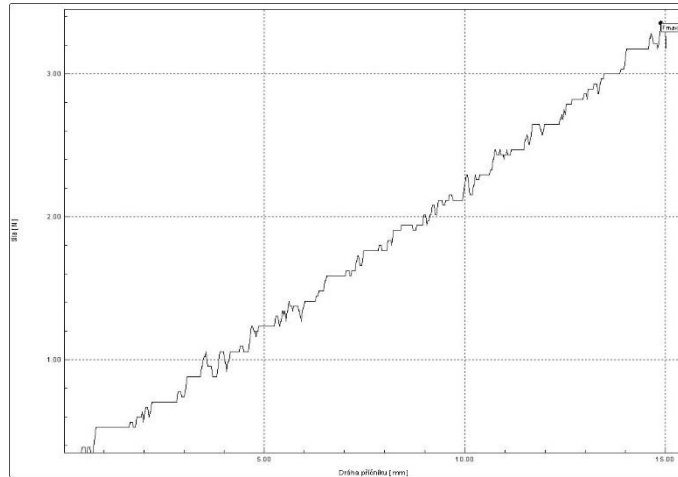
Obrázek 75 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 77 (1 měření)



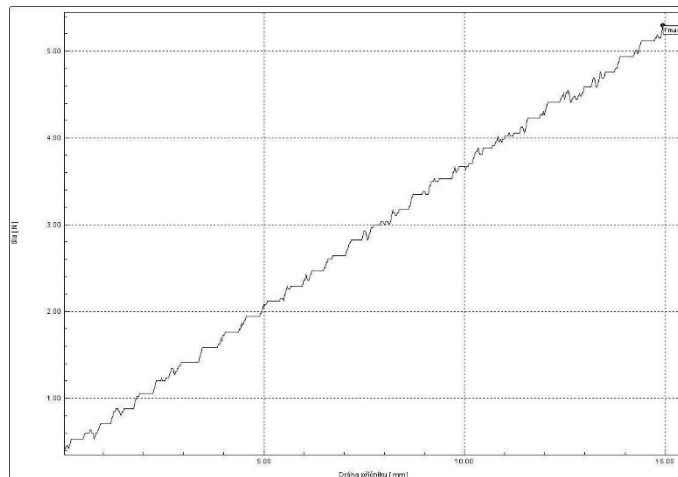
Obrázek 76 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 77 (2 měření)



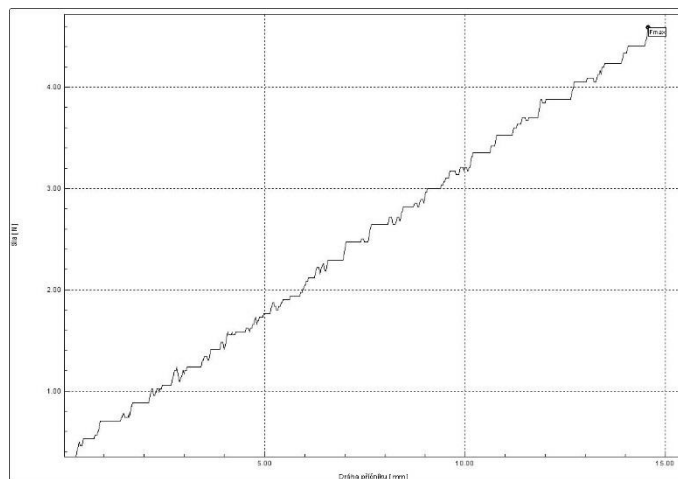
Obrázek 77 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 77 (3 měření)



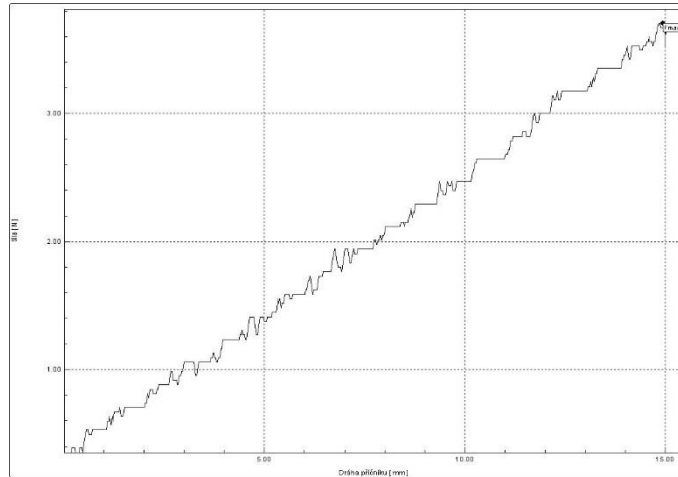
Obrázek 78 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 77 (4 měření)



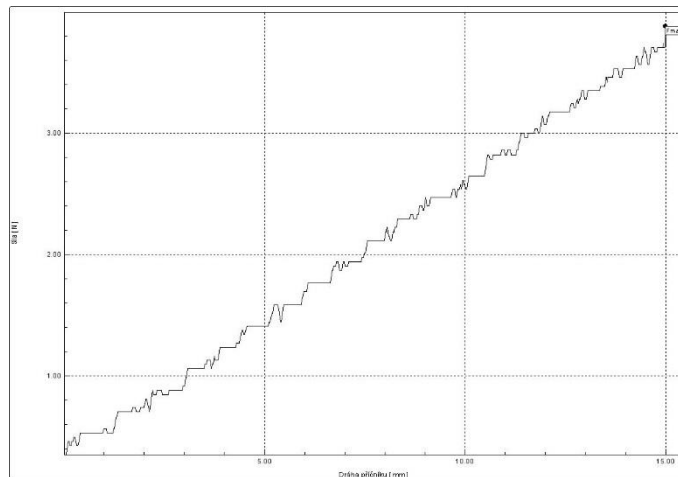
Obrázek 79 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 80 (1 měření)



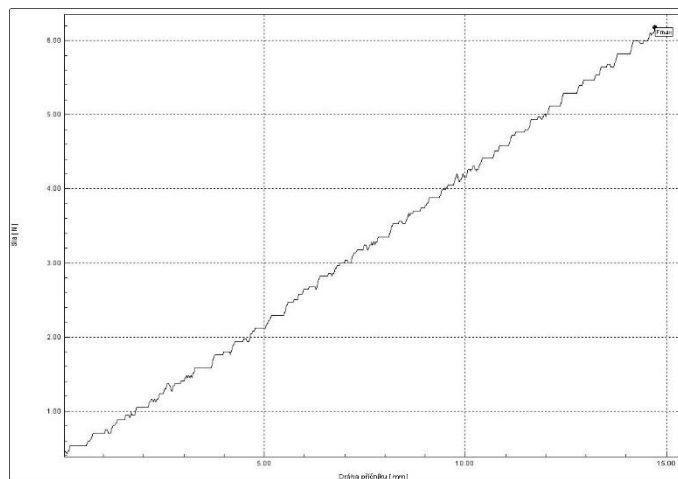
Obrázek 80 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 80 (2 měření)



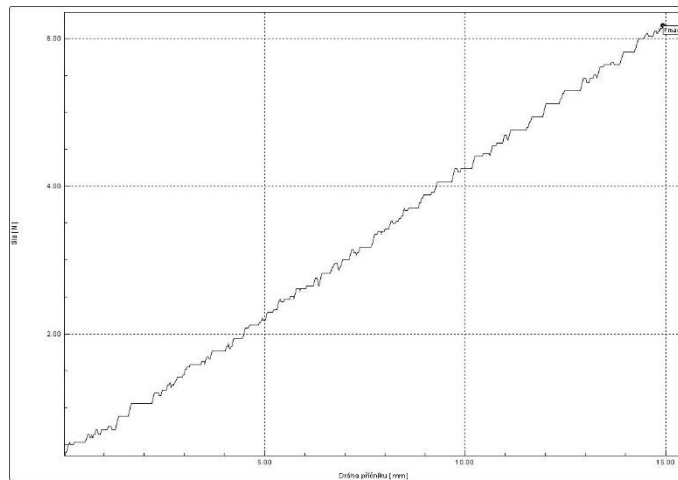
Obrázek 81 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 80 (3 měření)



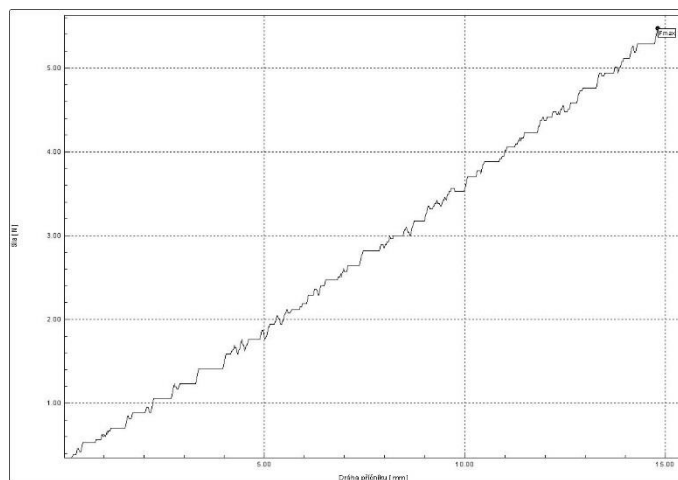
Obrázek 82 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 80 (4 měření)



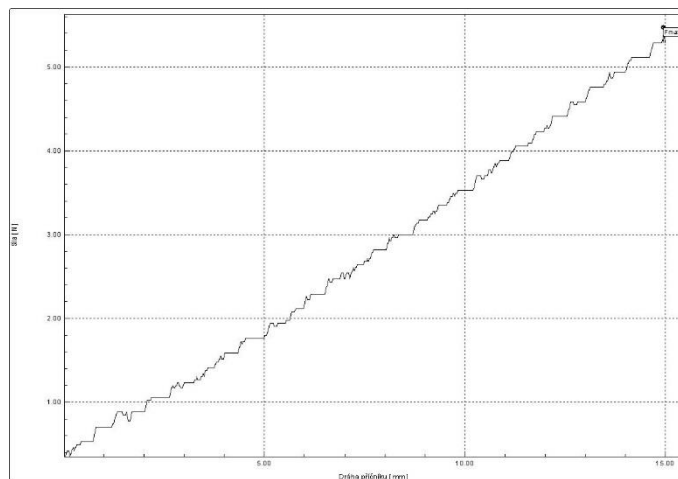
Obrázek 83 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 95 (1 měření)



Obrázek 84 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 95 (2 měření)

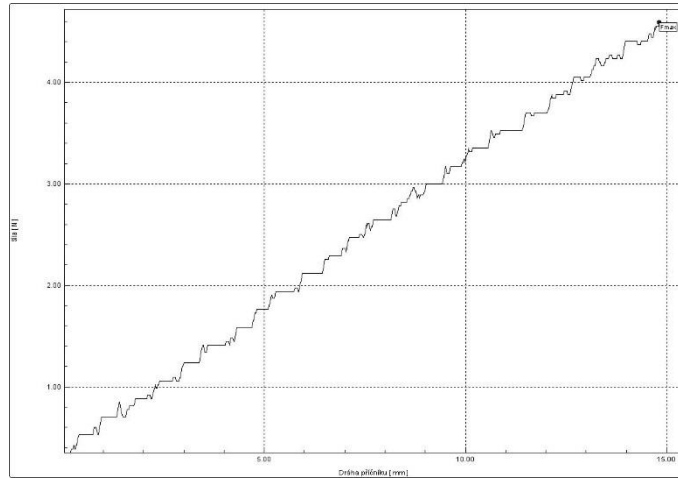


Obrázek 85 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 95 (3 měření)

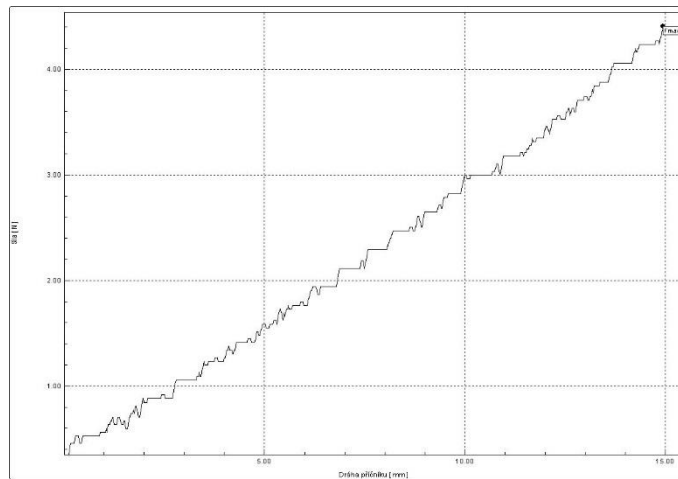


Obrázek 86 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 95 (4 měření)

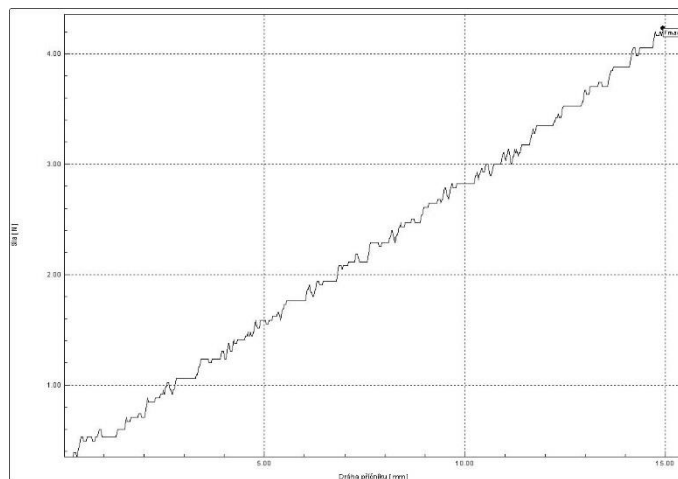
Příloha 2



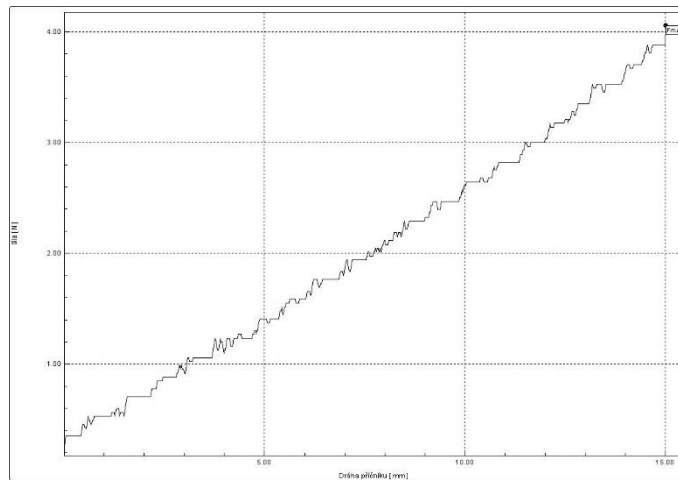
Obrázek 87 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 9 (1 měření)



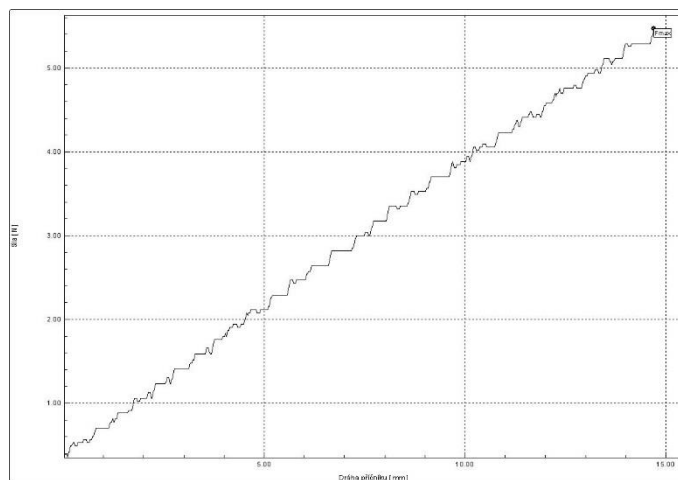
Obrázek 88 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 9 (2 měření)



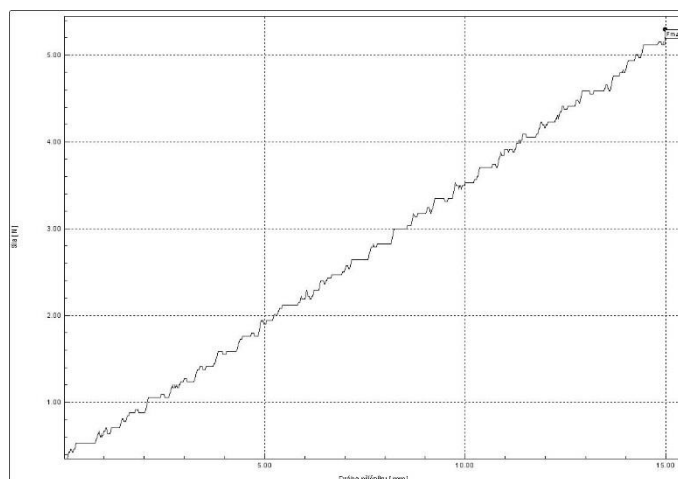
Obrázek 89 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 9 (3 měření)



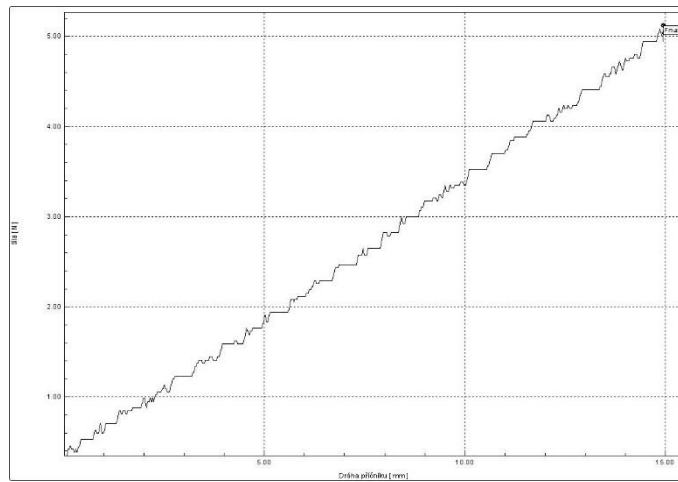
Obrázek 90 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 9 (4 měření)



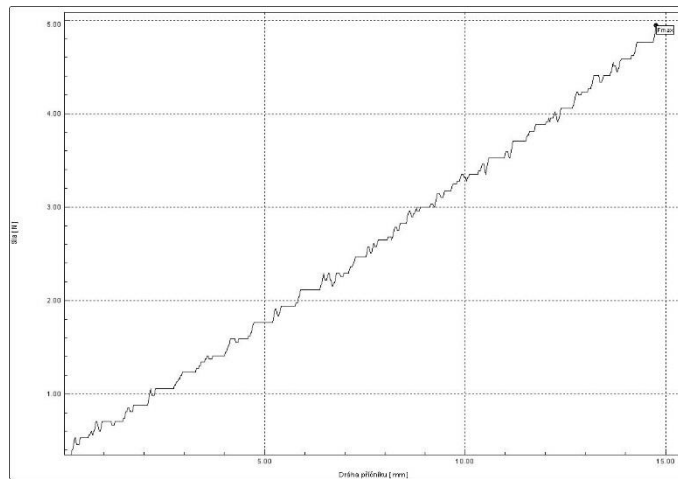
Obrázek 91 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 42 (1 měření)



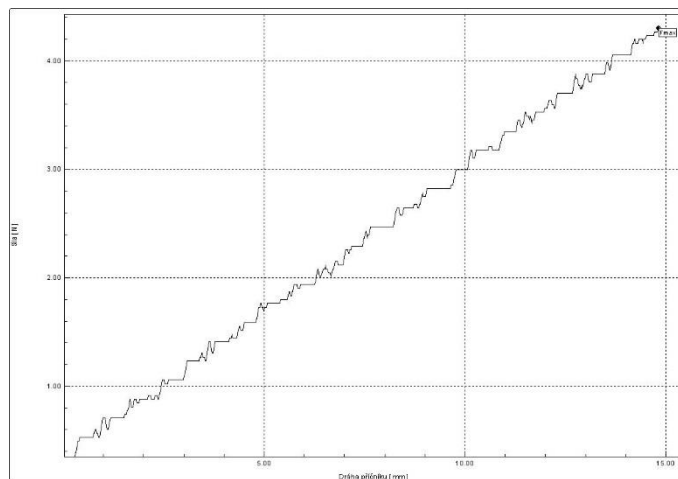
Obrázek 92 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 42 (2 měření)



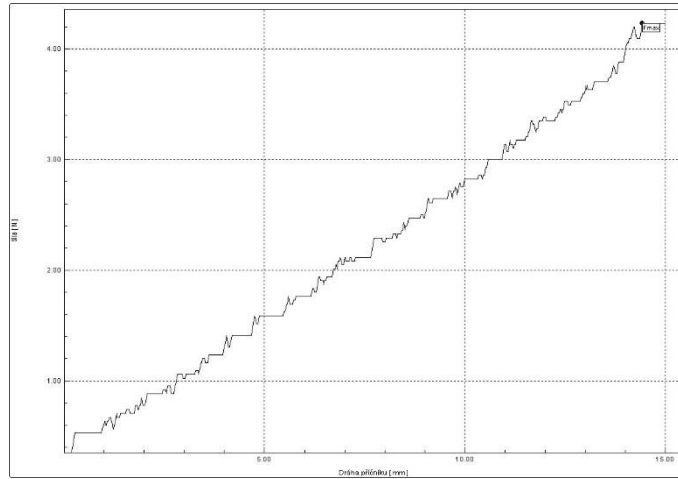
Obrázek 93 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 42 (3 měření)



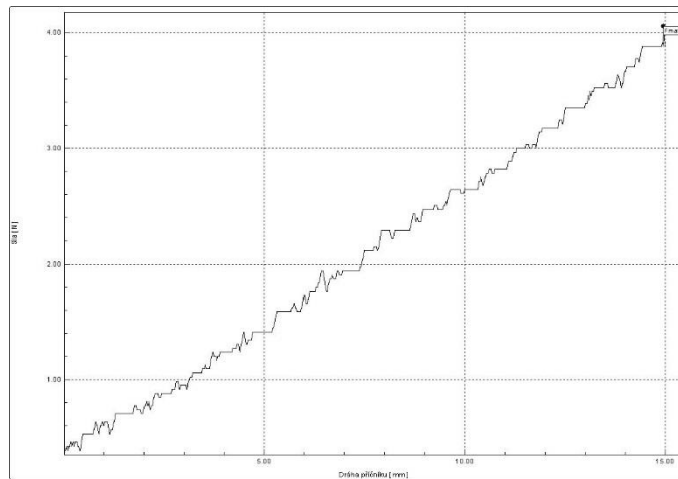
Obrázek 94 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 42 (4 měření)



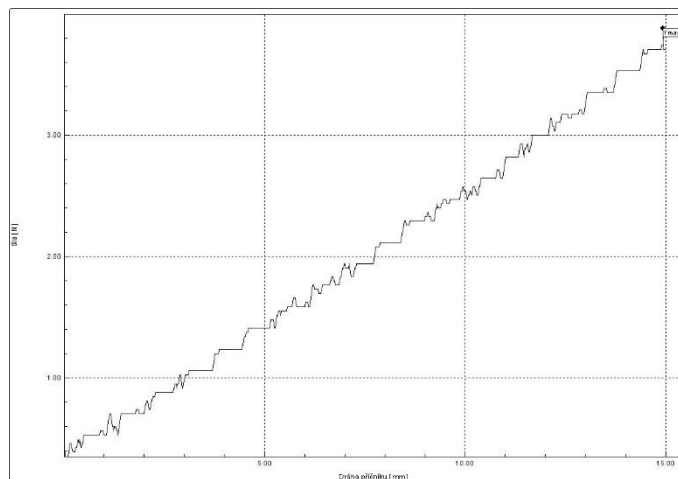
Obrázek 95 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 44 (1 měření)



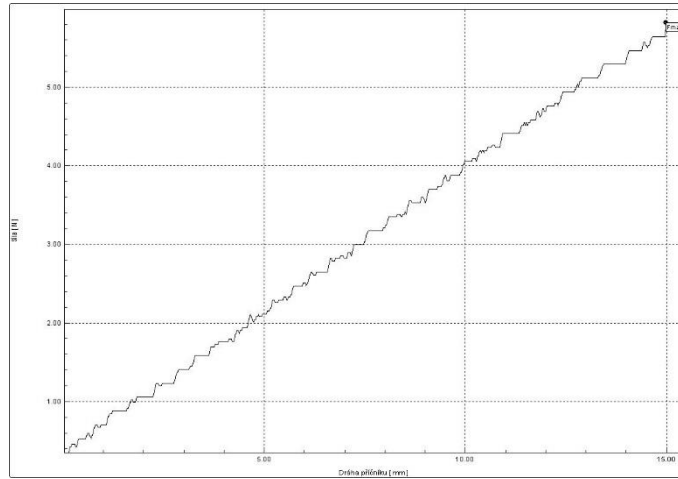
Obrázek 96 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 44 (2 měření)



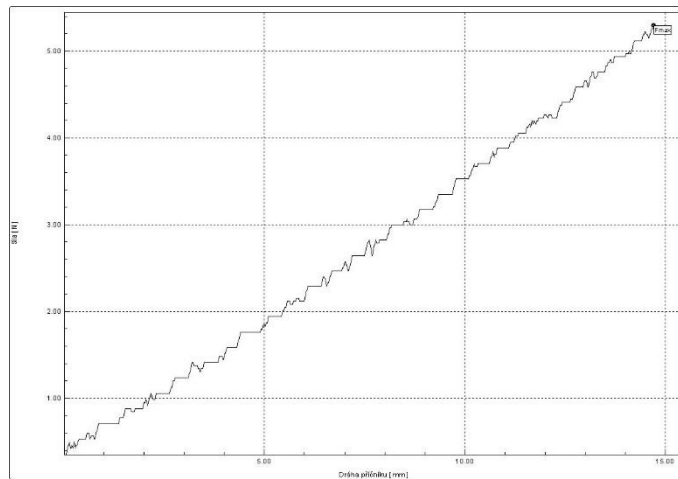
Obrázek 97 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 44 (3 měření)



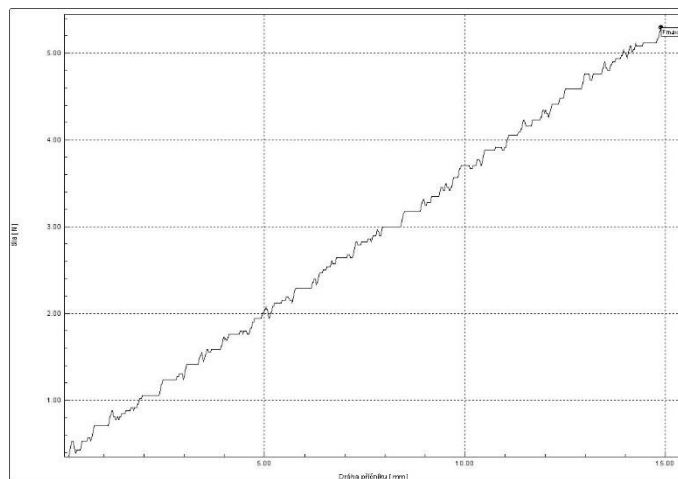
Obrázek 98 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 44 (4 měření)



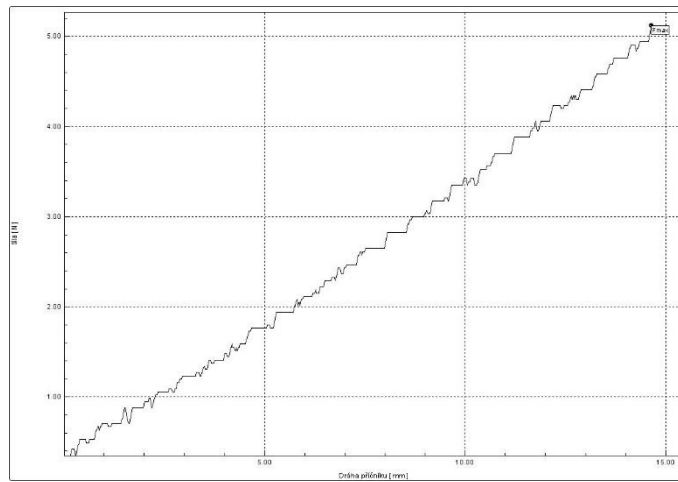
Obrázek 99 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 76 (1 měření)



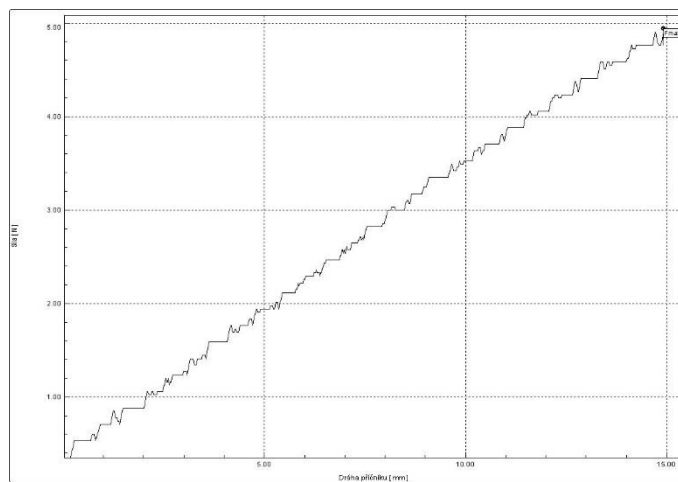
Obrázek 100 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 76 (2 měření)



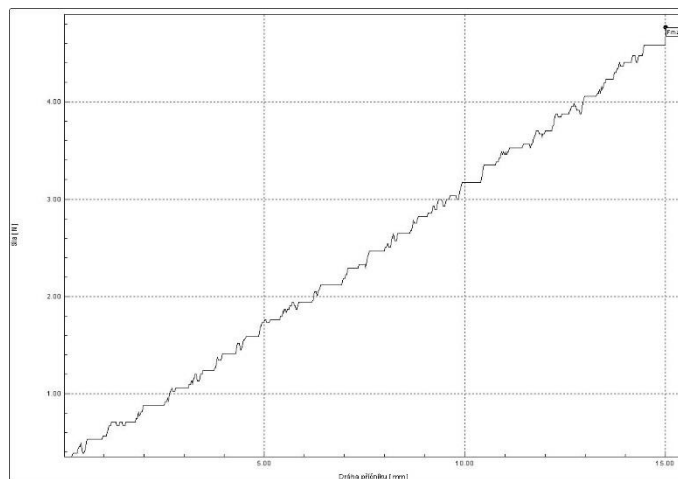
Obrázek 101 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 76 (3 měření)



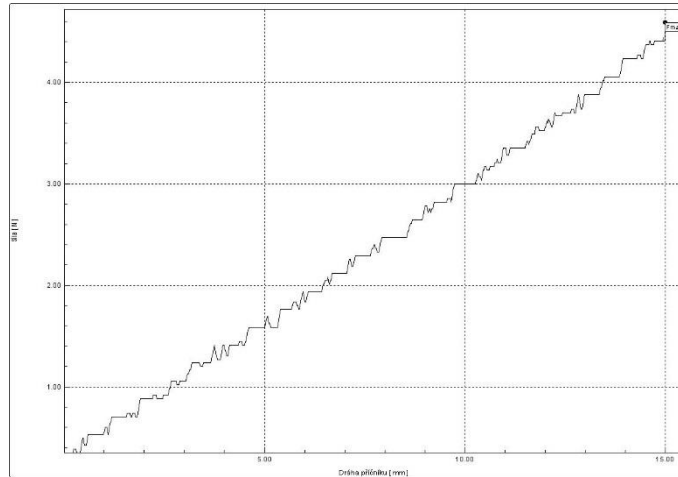
Obrázek 102 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 76 (4 měření)



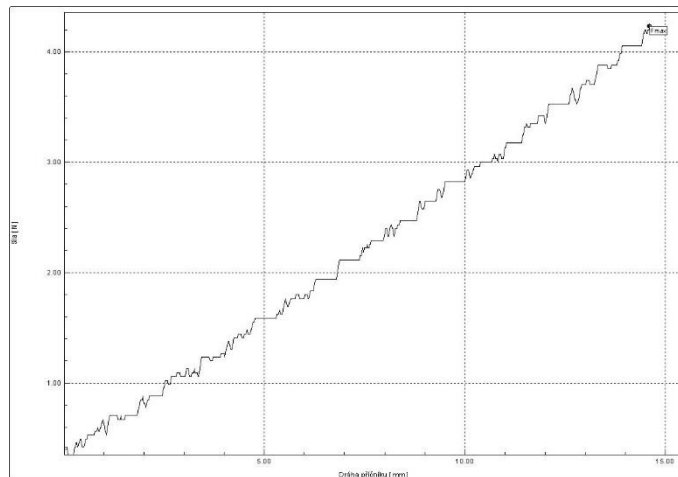
Obrázek 103 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 91 (1 měření)



Obrázek 104 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 91 (2 měření)

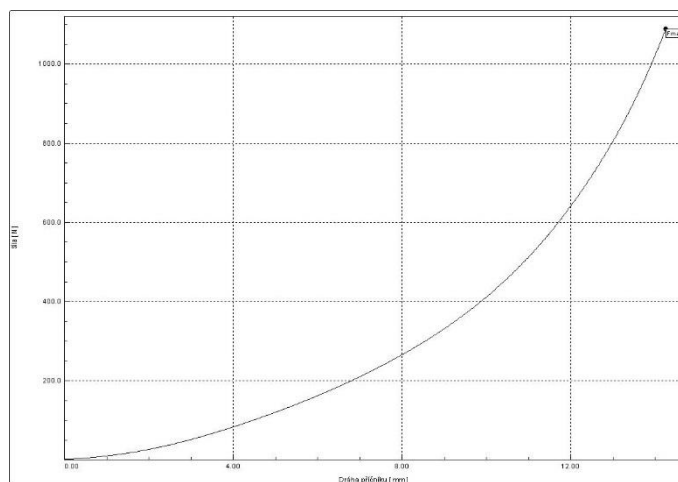


Obrázek 105 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 91 (3 měření)

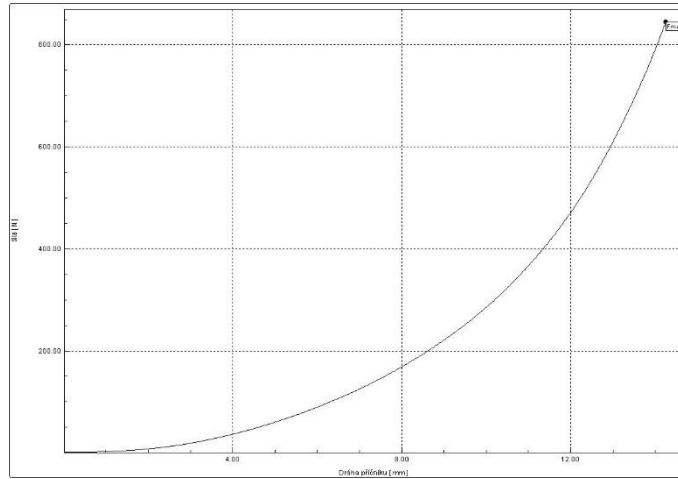


Obrázek 106 Graf průběhu ohybové křivky pro vzorek 91 (4 měření)

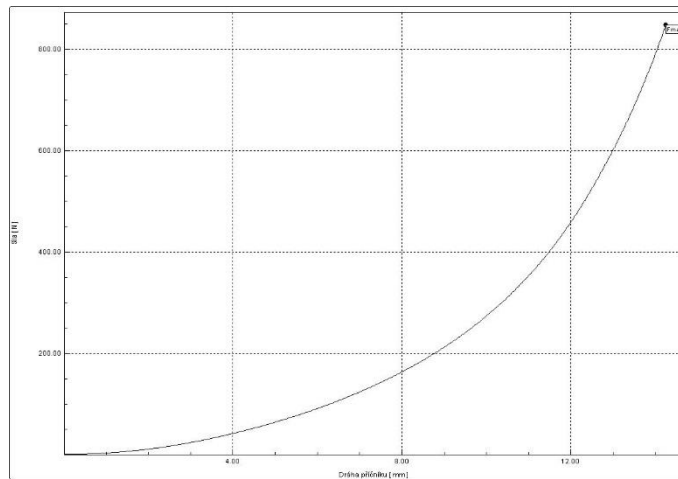
Příloha 3



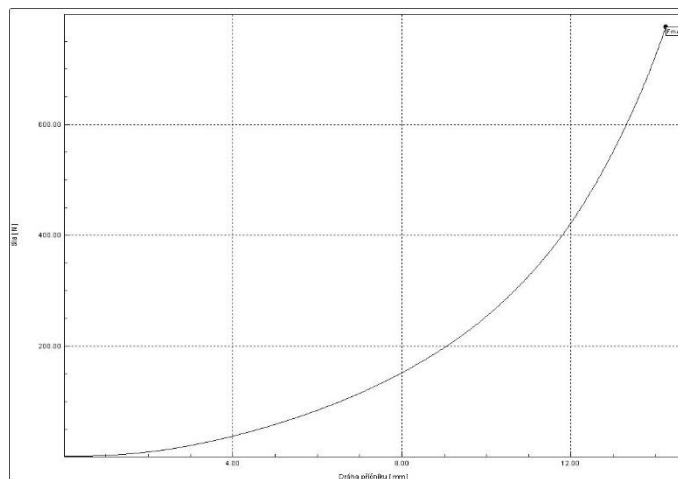
Obrázek 107 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 4 (1 měření)



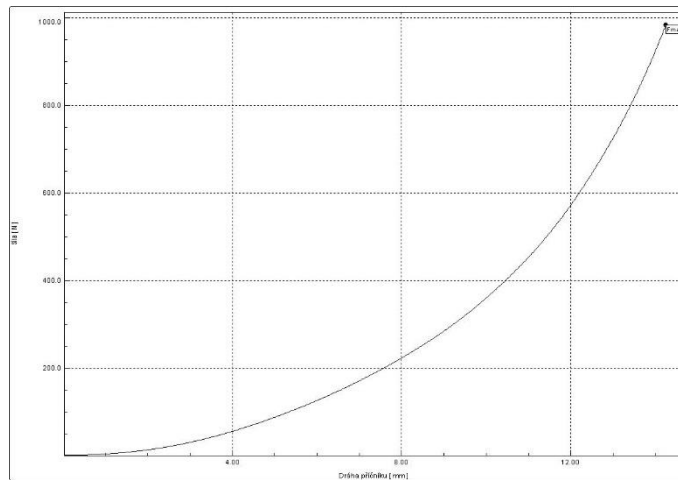
Obrázek 108 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 4 (2 měření)



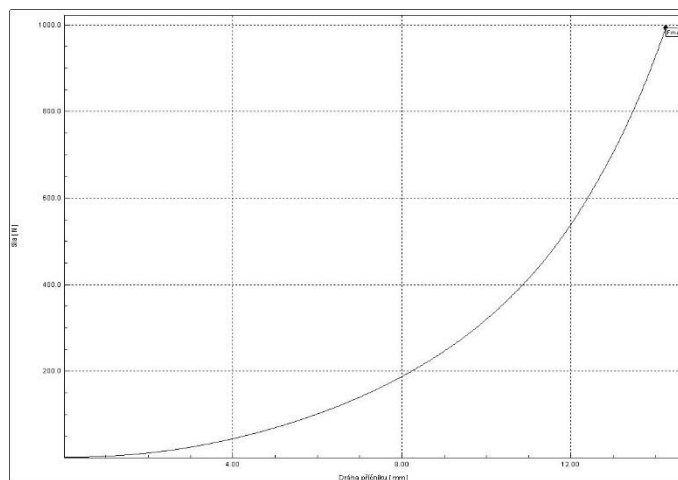
Obrázek 109 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 4 (3 měření)



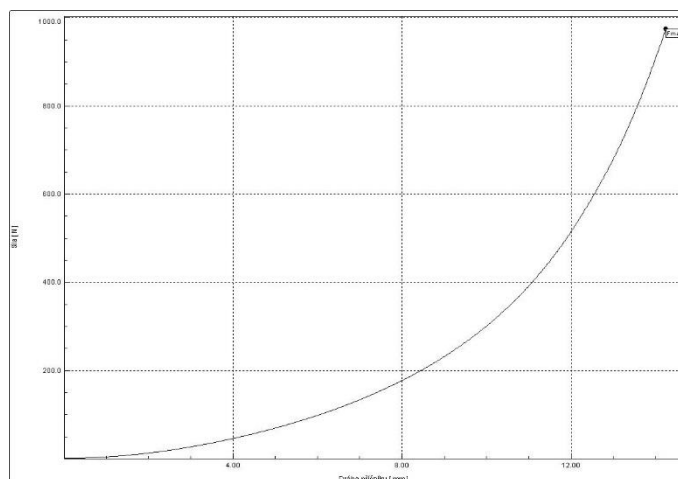
Obrázek 110 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 4 (4 měření)



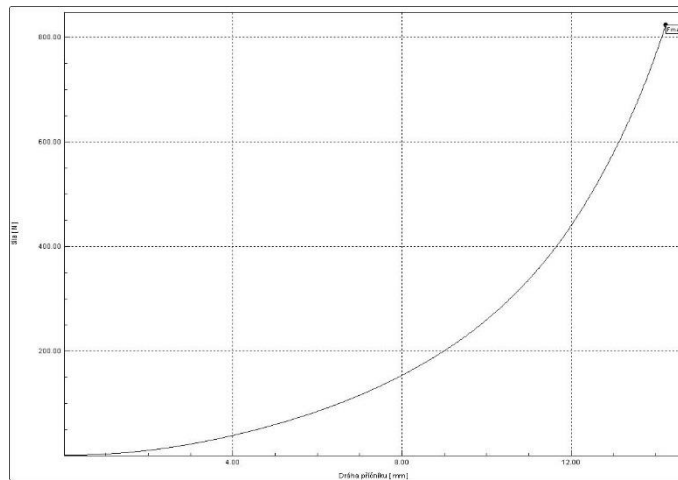
Obrázek 111 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 22 (1 měření)



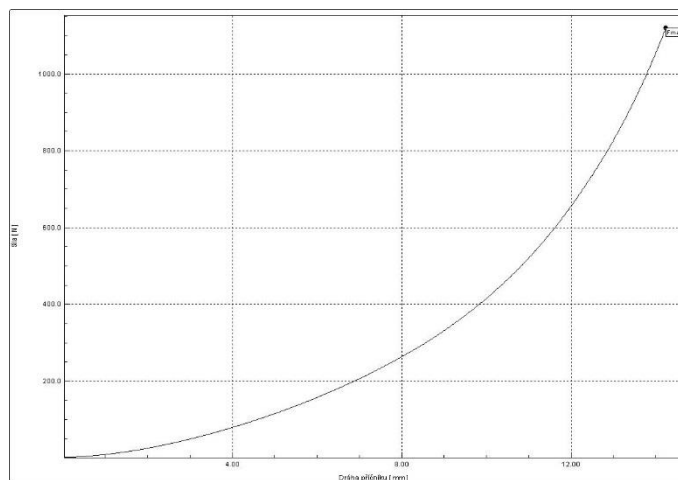
Obrázek 112 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 22 (2 měření)



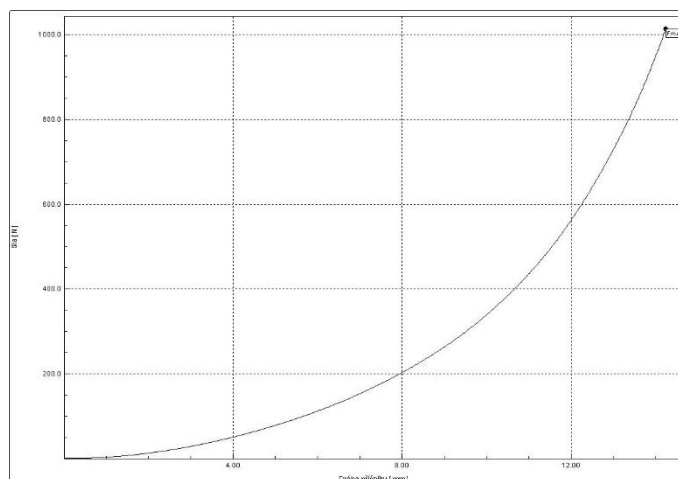
Obrázek 113 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 22 (3 měření)



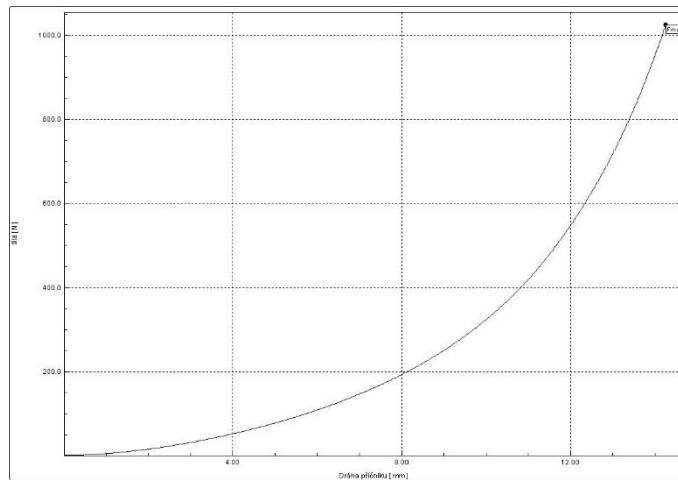
Obrázek 114 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 22 (4 měření)



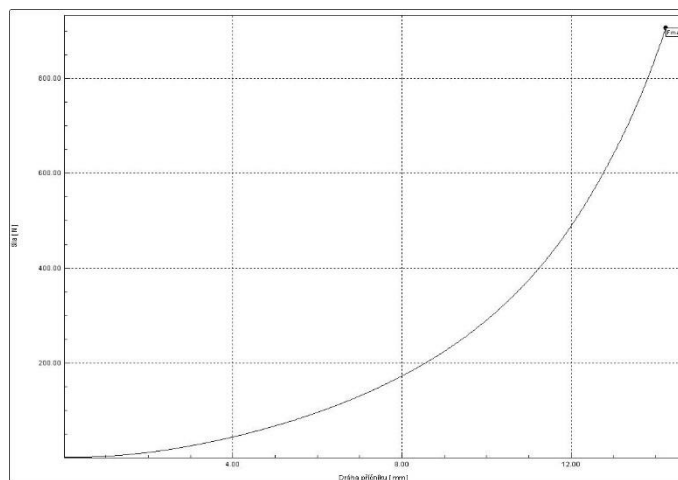
Obrázek 115 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 27 (1 měření)



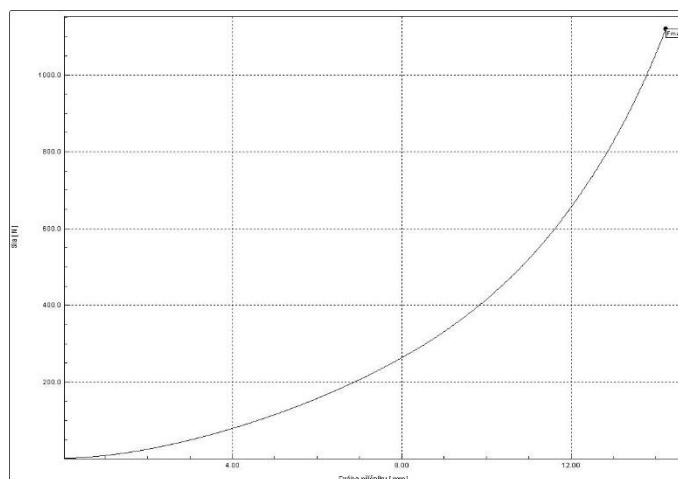
Obrázek 116 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 27 (2 měření)



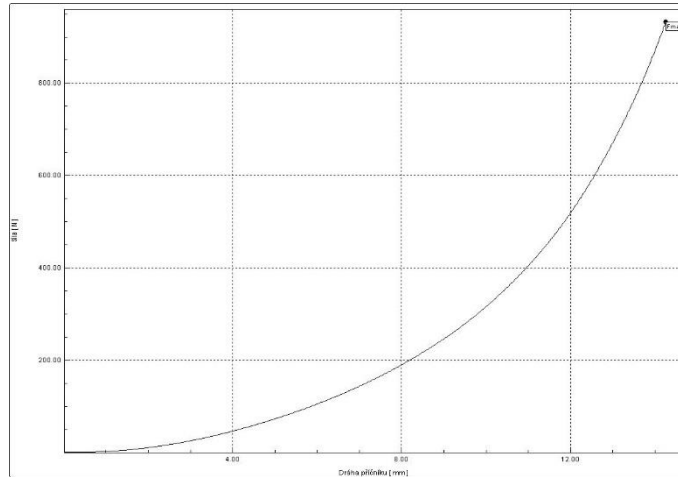
Obrázek 117 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 27 (3 měření)



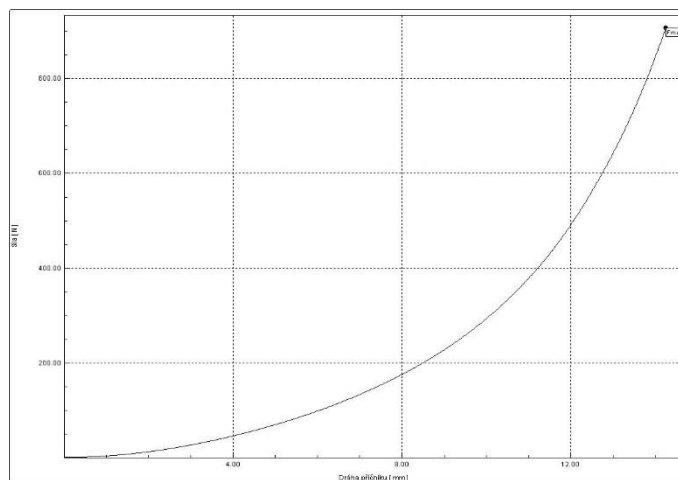
Obrázek 118 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 27 (4 měření)



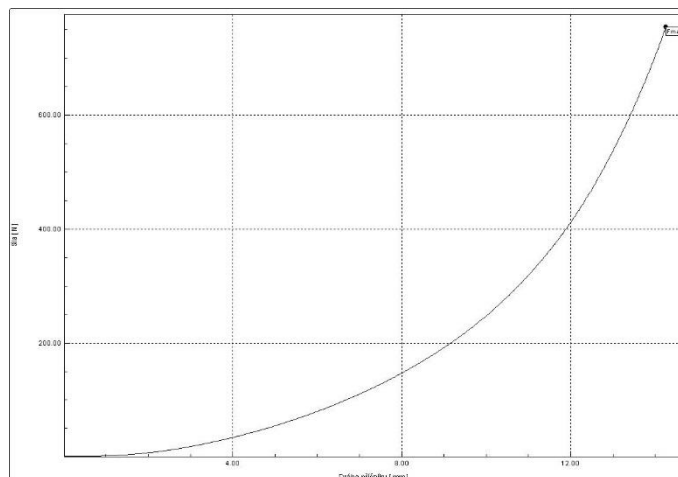
Obrázek 119 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 34 (1 měření)



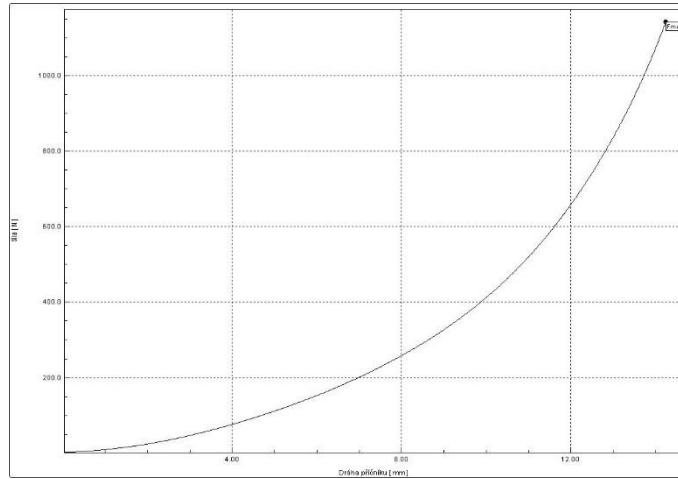
Obrázek 120 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 34 (2 měření)



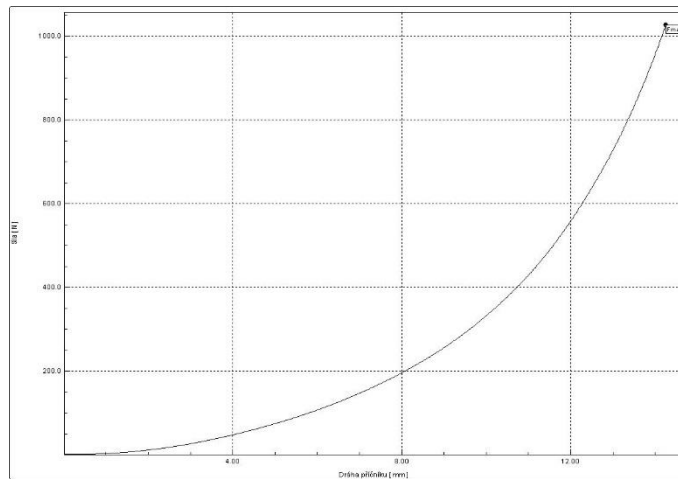
Obrázek 121 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 34 (3 měření)



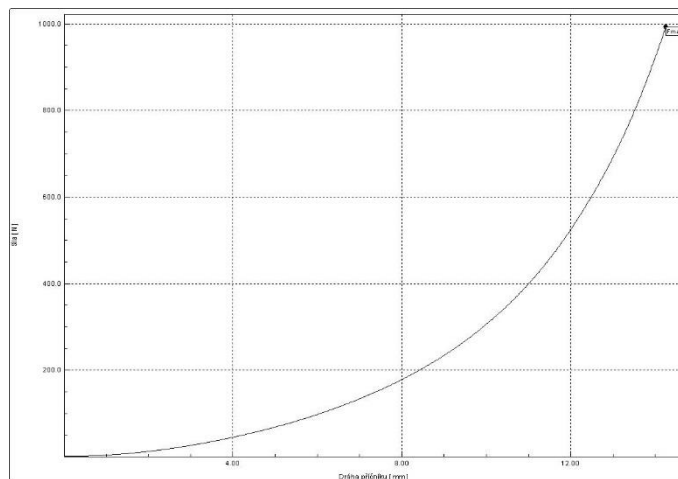
Obrázek 122 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 34 (4 měření)



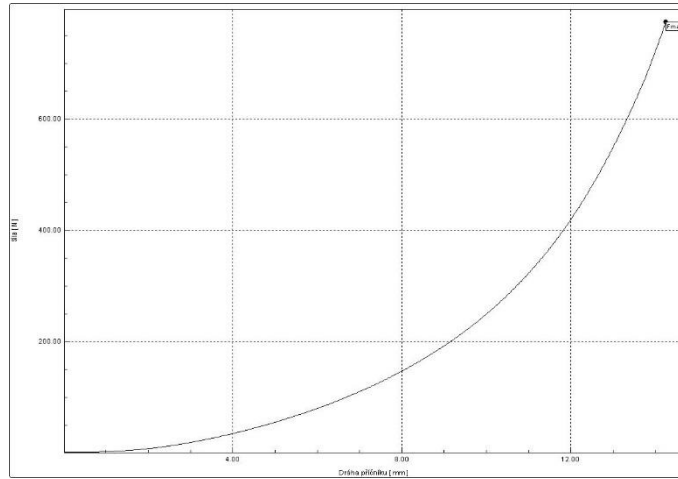
Obrázek 123 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 35 (1 měření)



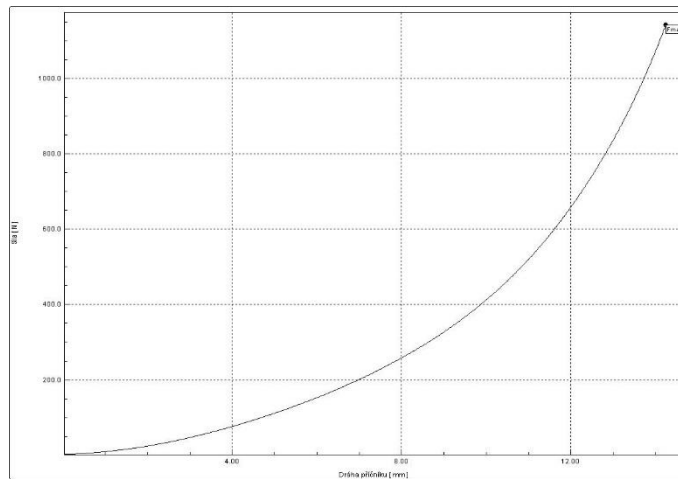
Obrázek 124 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 35 (2 měření)



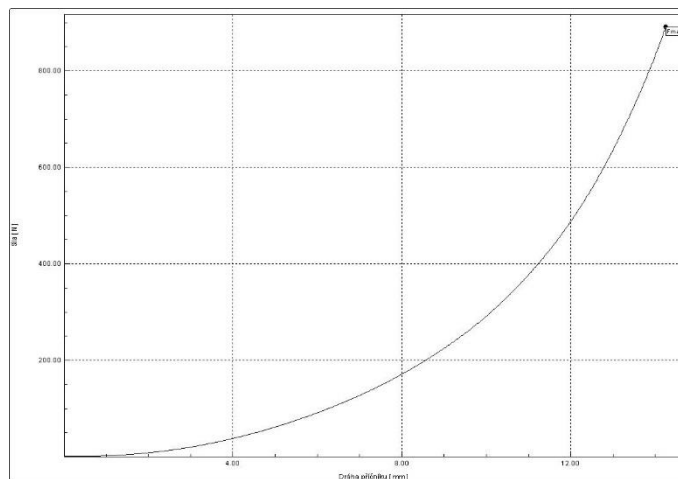
Obrázek 125 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 35 (3 měření)



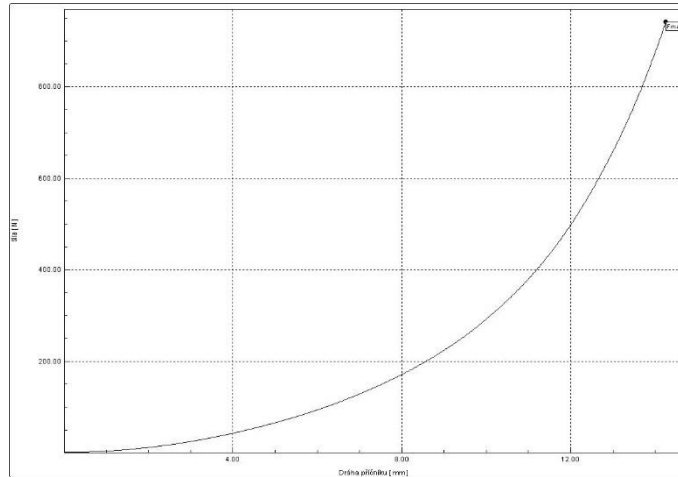
Obrázek 126 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 35 (4 měření)



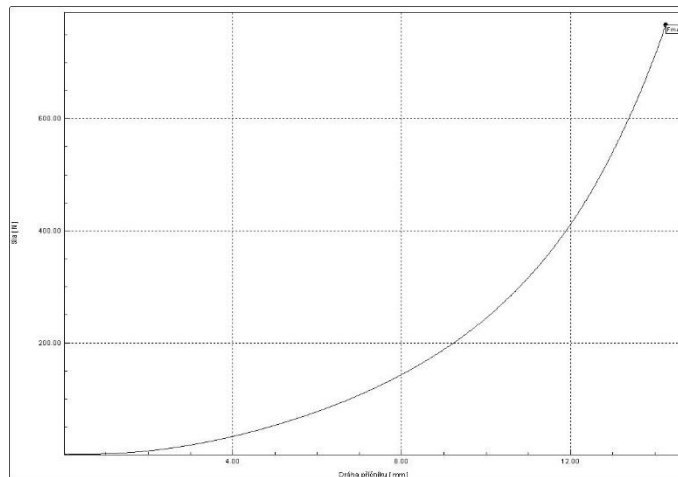
Obrázek 127 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 41 (1 měření)



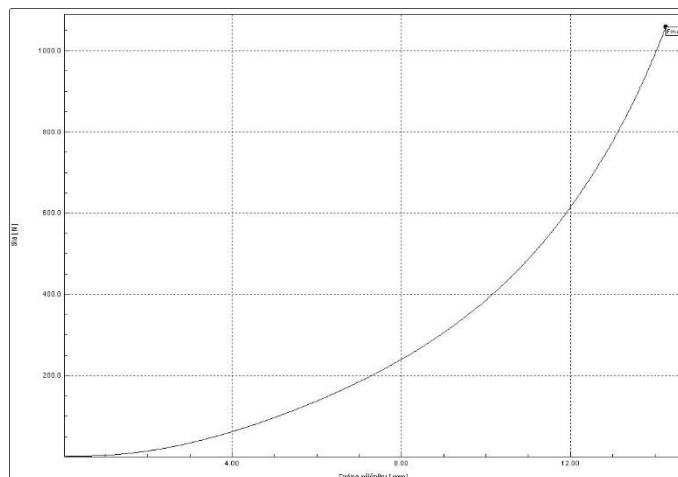
Obrázek 128 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 41 (2 měření)



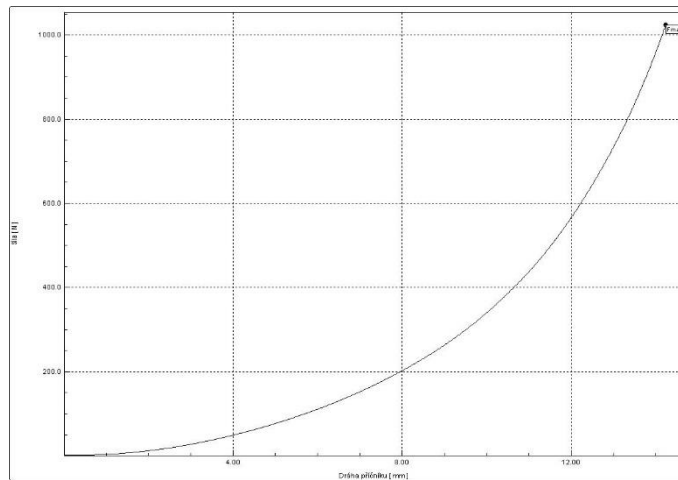
Obrázek 129 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 41 (3 měření)



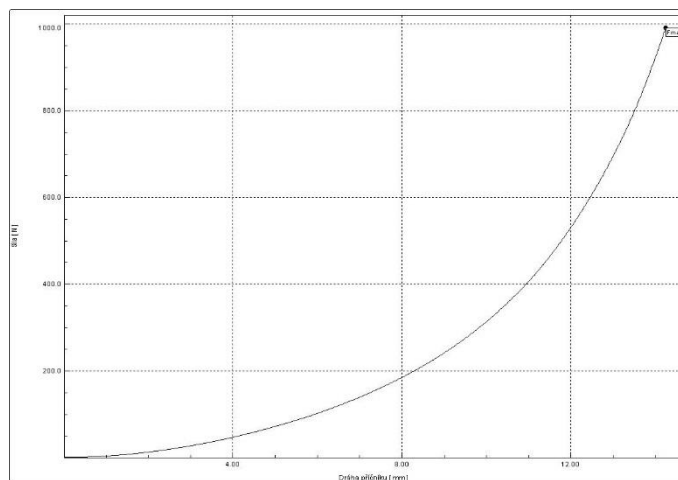
Obrázek 130 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 41 (4 měření)



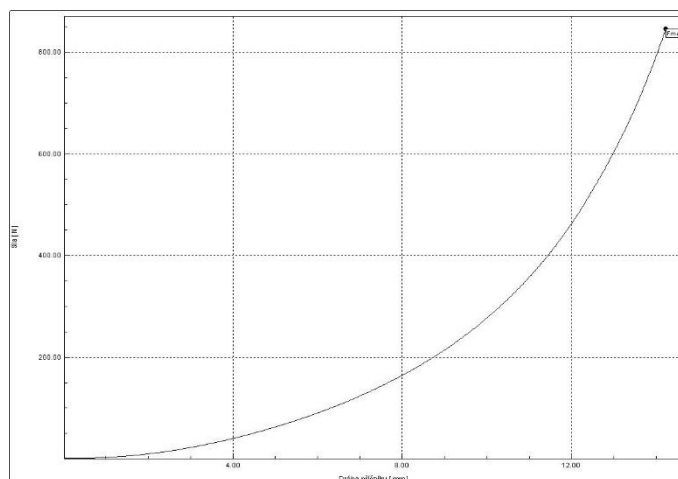
Obrázek 131 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 57 (1 měření)



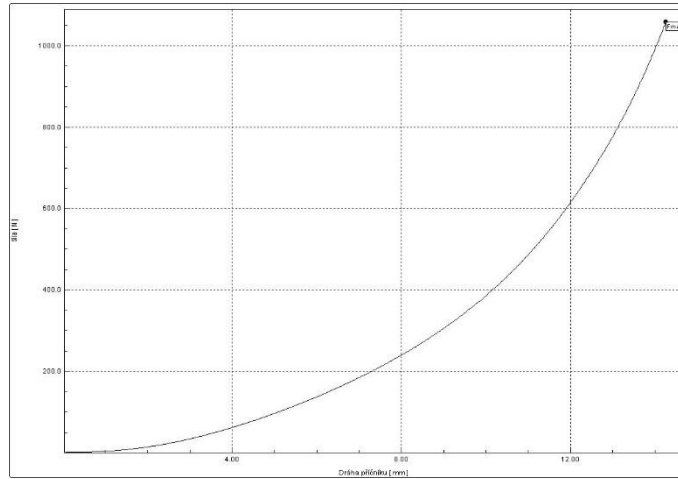
Obrázek 132 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 57 (2 měření)



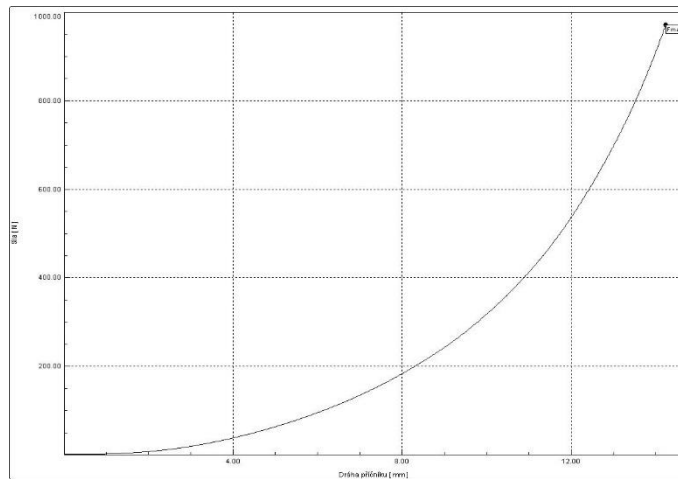
Obrázek 133 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 57 (3 měření)



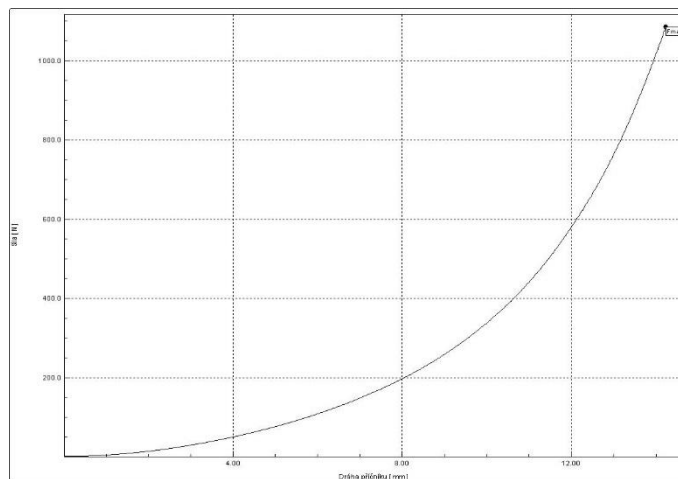
Obrázek 134 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 57 (4 měření)



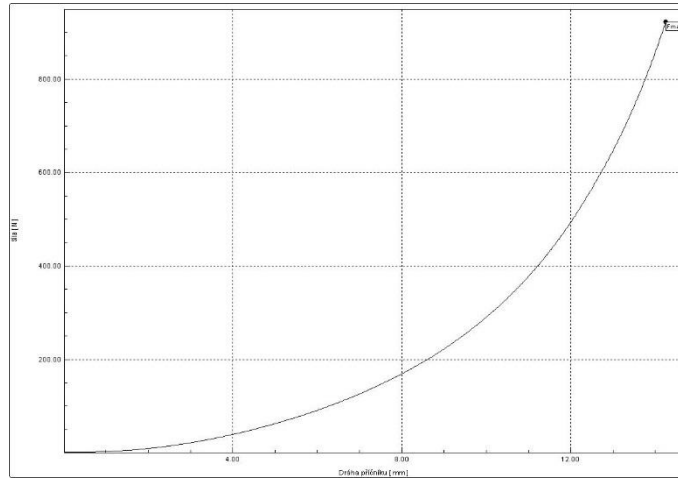
Obrázek 135 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 66 (1 měření)



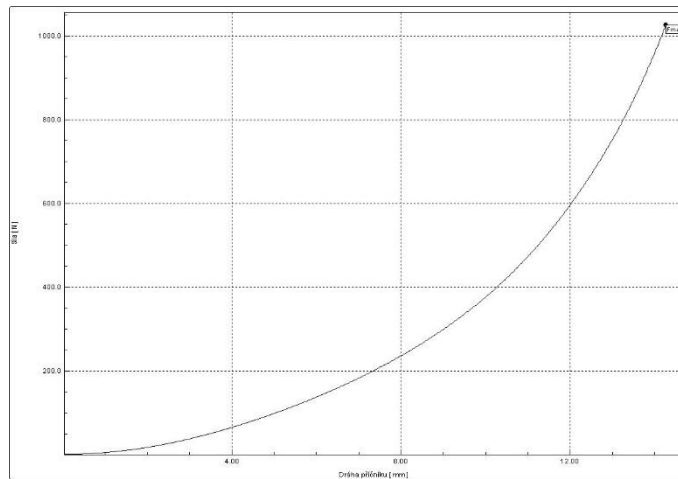
Obrázek 136 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 66 (2 měření)



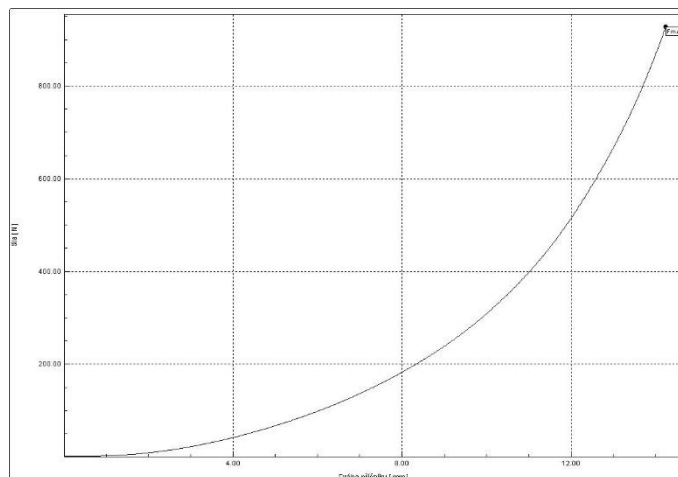
Obrázek 137 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 66 (3 měření)



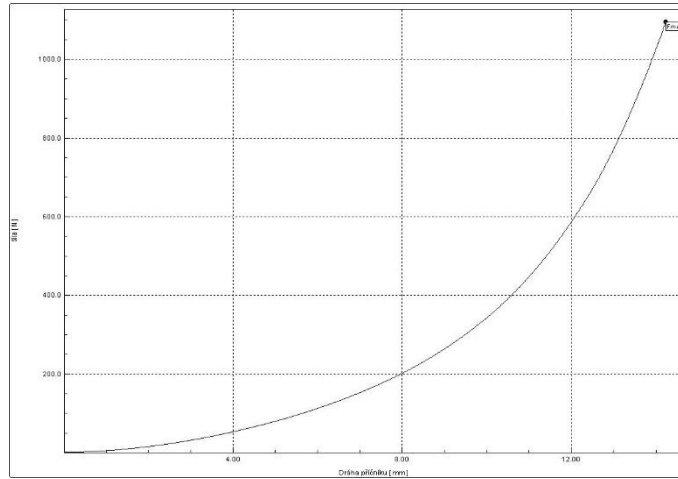
Obrázek 138 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 66 (4 měření)



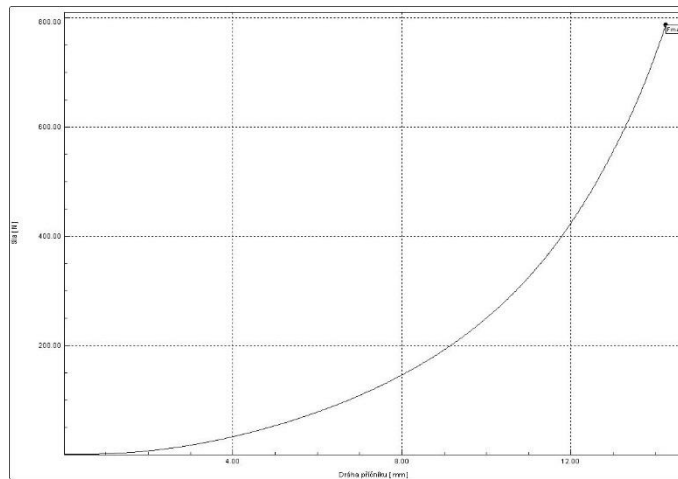
Obrázek 139 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 68 (1 měření)



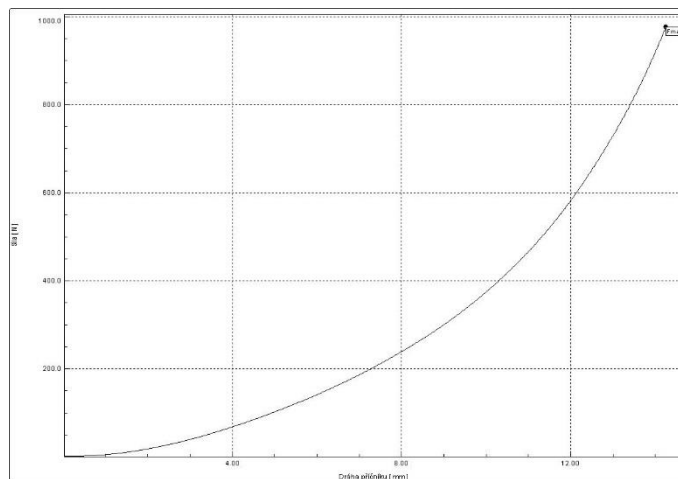
Obrázek 140 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 68 (2 měření)



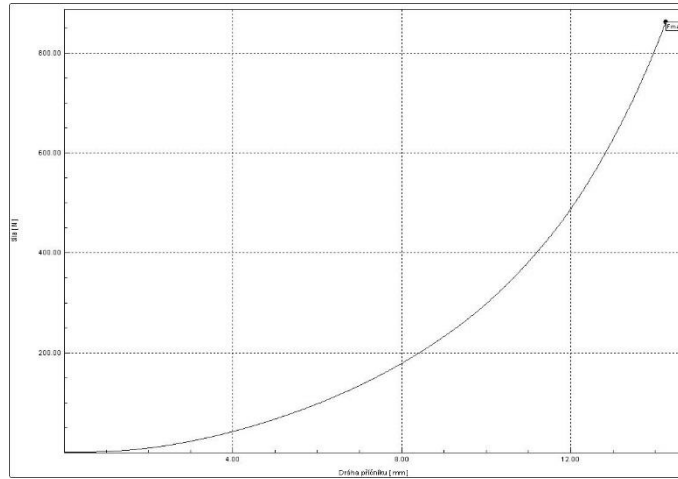
Obrázek 141 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 68 (3 měření)



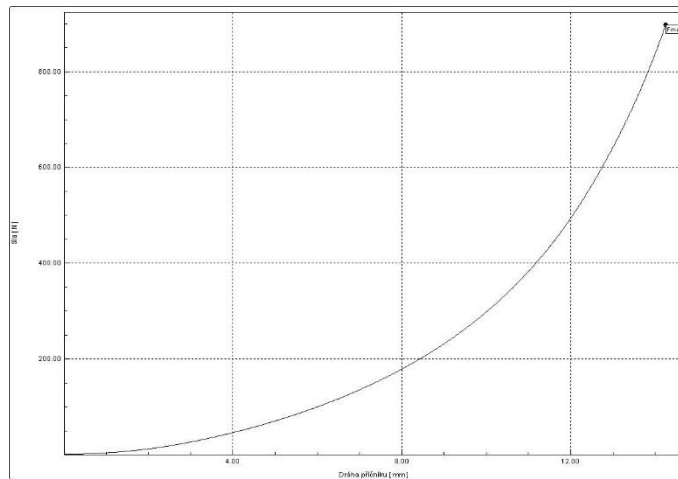
Obrázek 142 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 68 (4 měření)



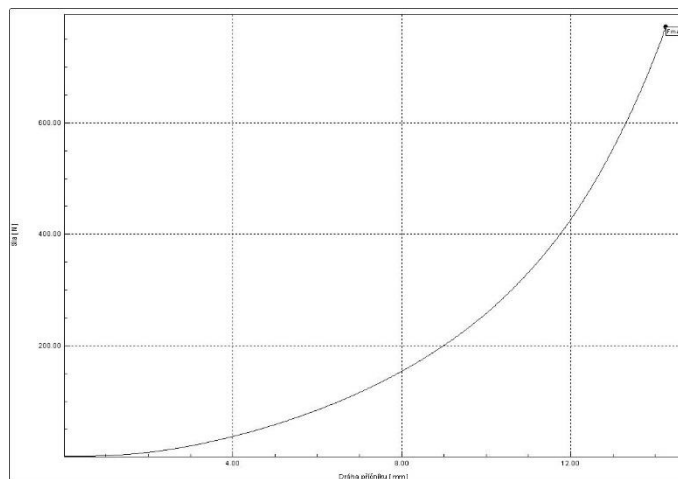
Obrázek 143 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 77 (1 měření)



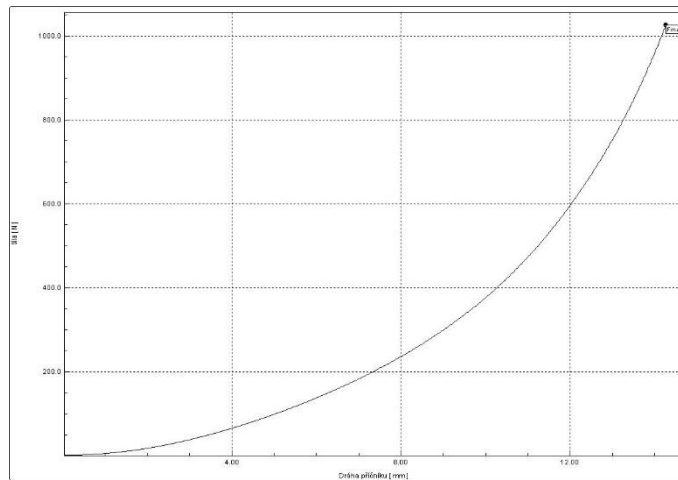
Obrázek 144 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 77 (2 měření)



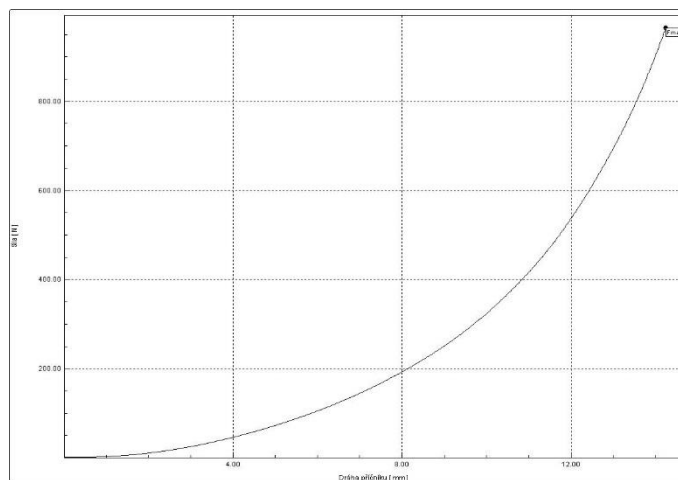
Obrázek 145 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 77 (3 měření)



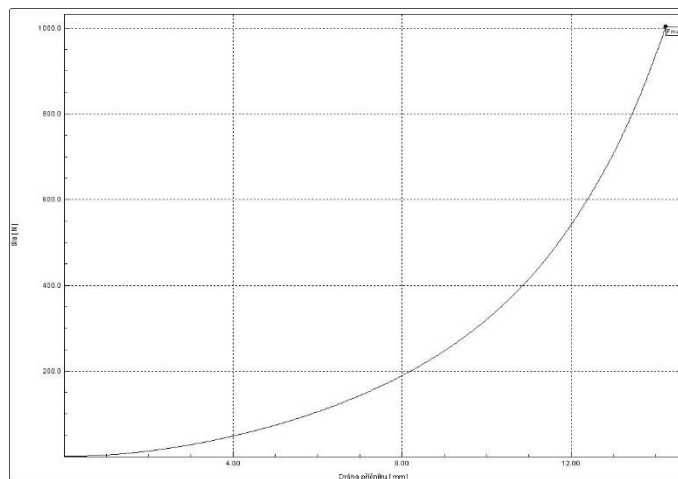
Obrázek 146 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 77 (4 měření)



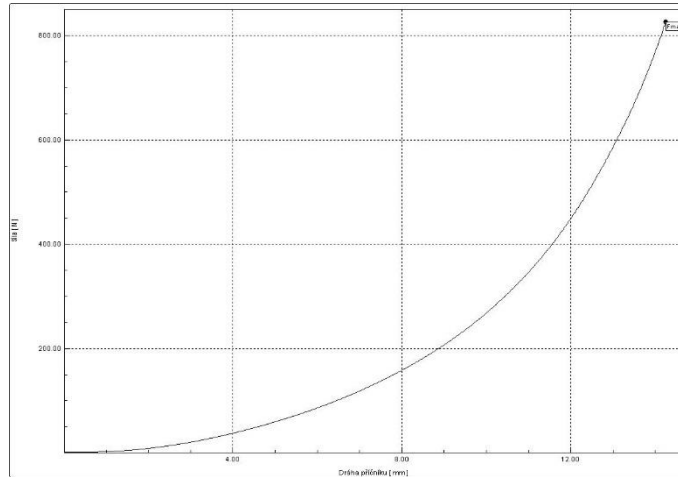
Obrázek 147 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 80 (1 měření)



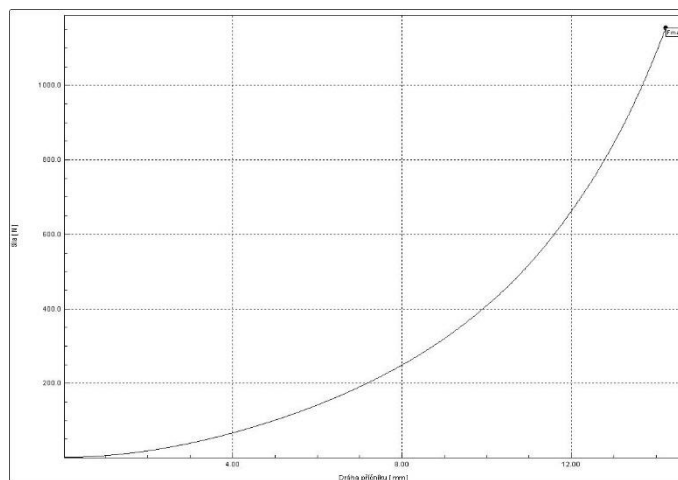
Obrázek 148 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 80 (2 měření)



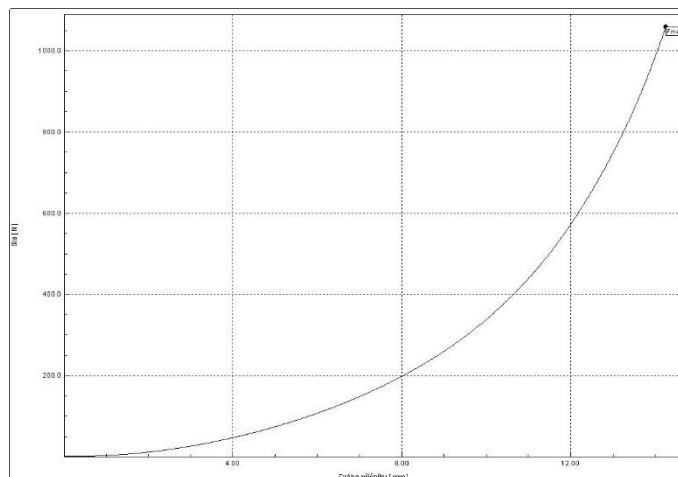
Obrázek 149 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 80 (3 měření)



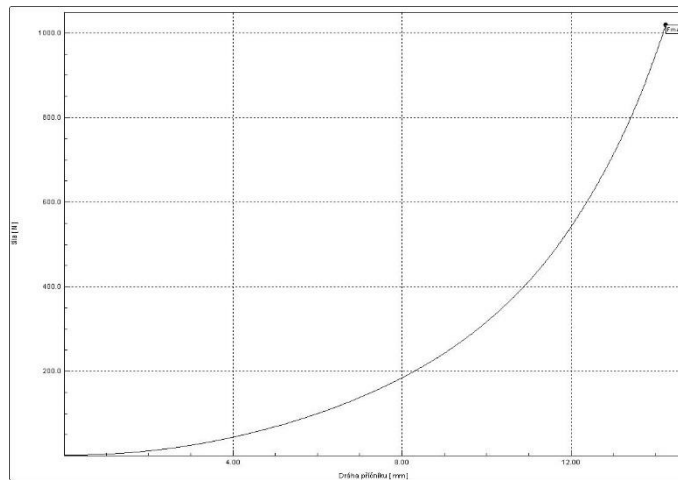
Obrázek 150 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 80 (4 měření)



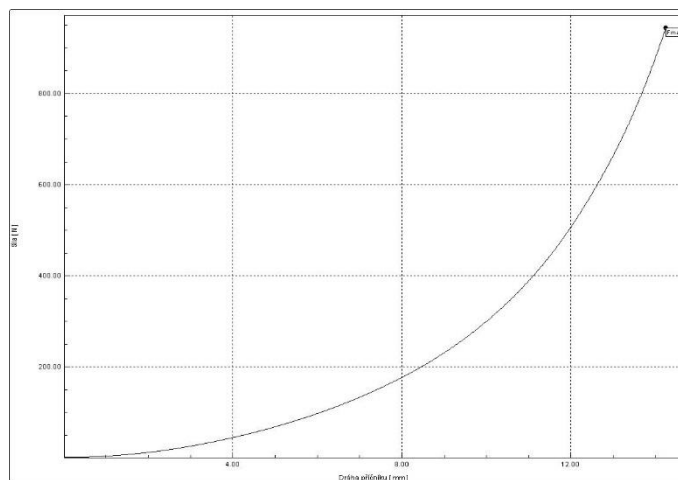
Obrázek 151 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 95 (1 měření)



Obrázek 152 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 95 (2 měření)

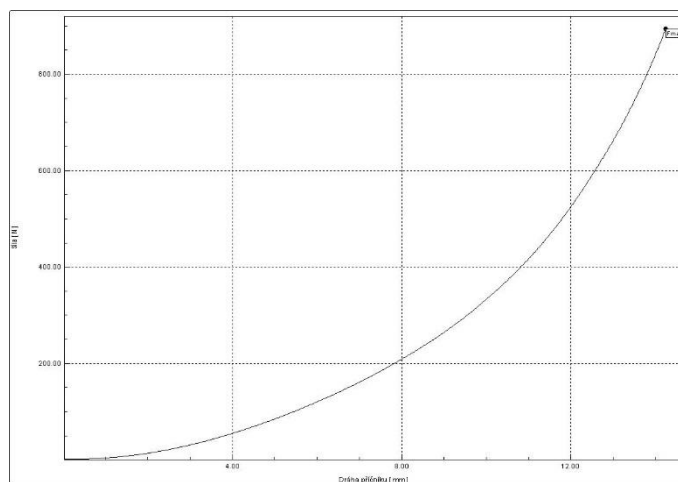


Obrázek 153 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 95 (3 měření)

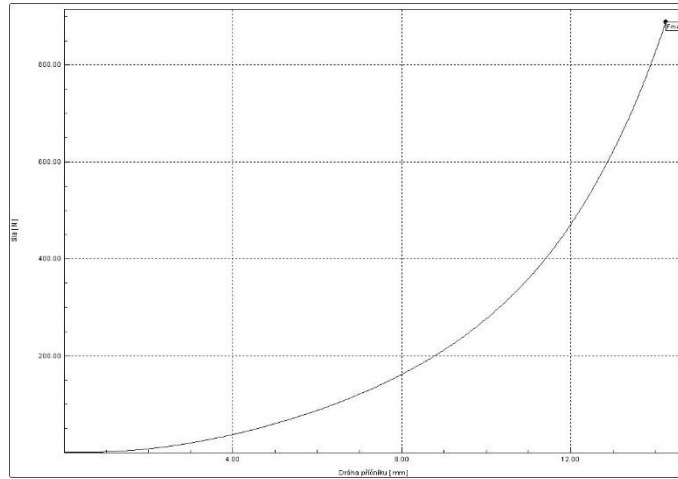


Obrázek 154 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 95 (4 měření)

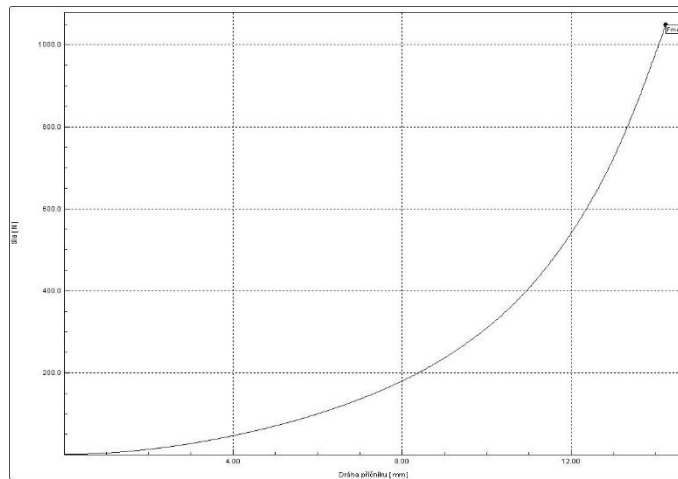
Příloha 4



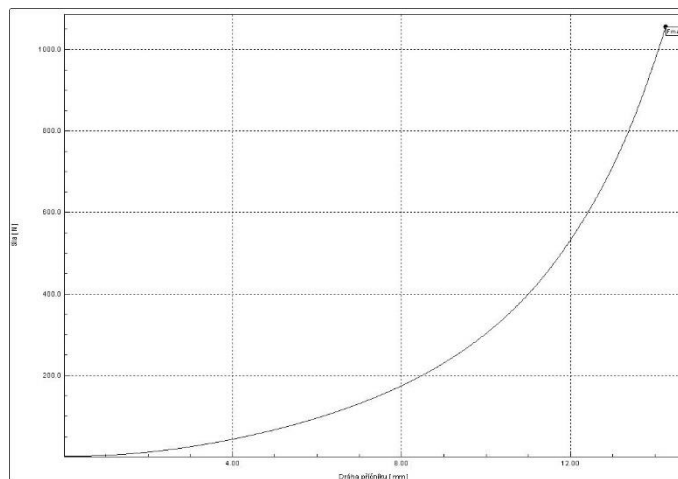
Obrázek 155 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 9 (1 měření)



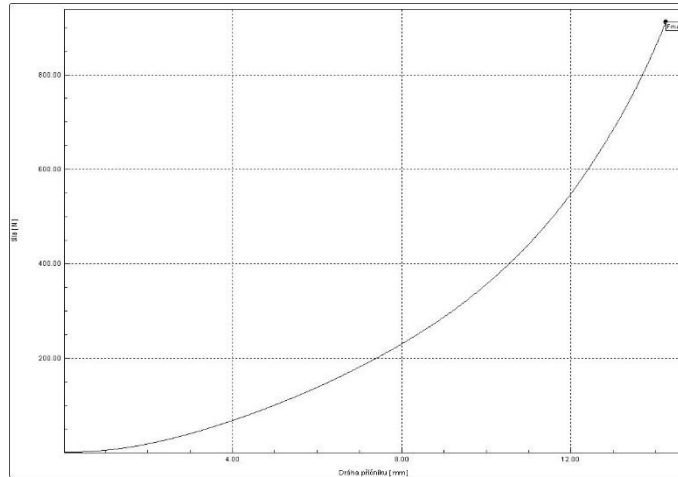
Obrázek 156 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 9 (2 měření)



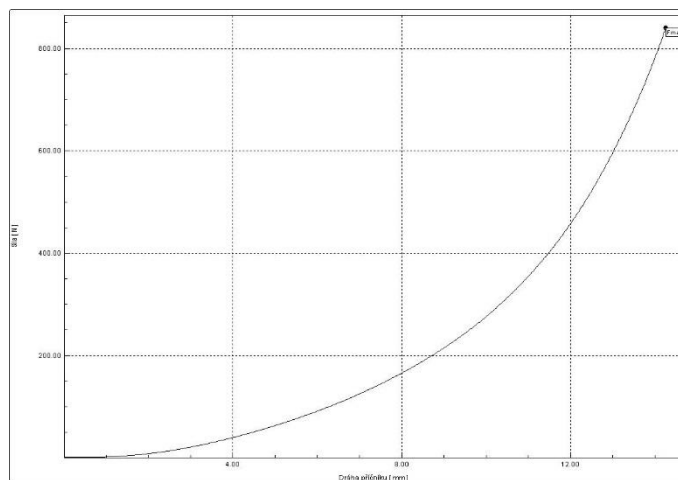
Obrázek 157 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 9 (3 měření)



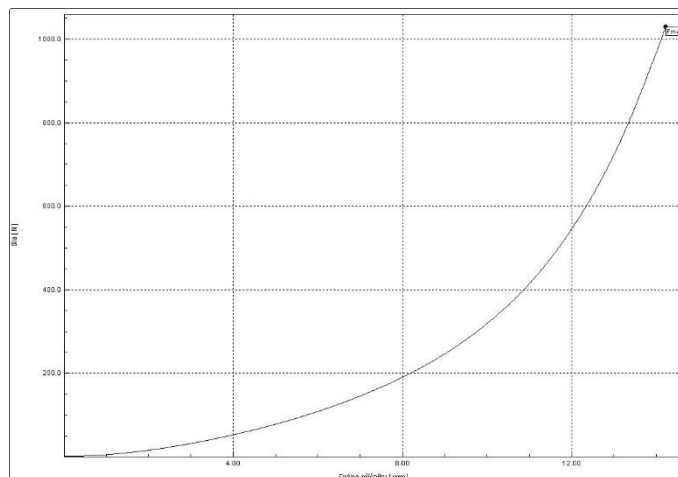
Obrázek 158 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 9 (4 měření)



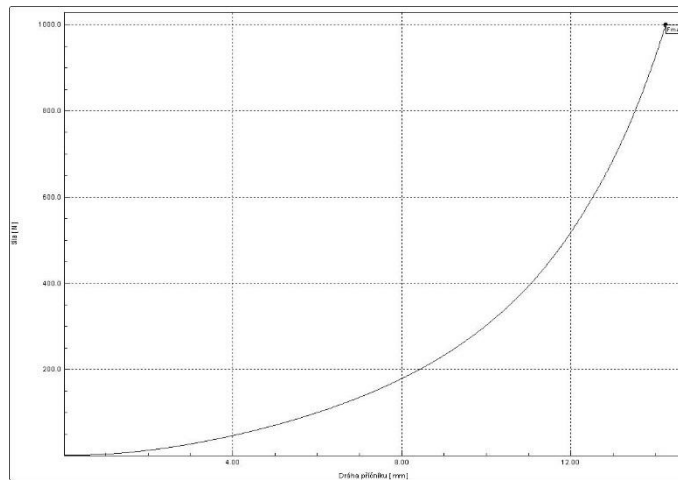
Obrázek 159 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 42 (1 měření)



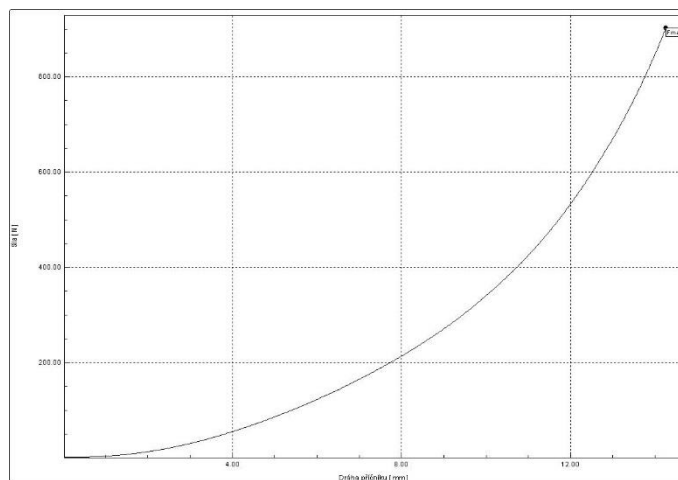
Obrázek 160 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 42 (2 měření)



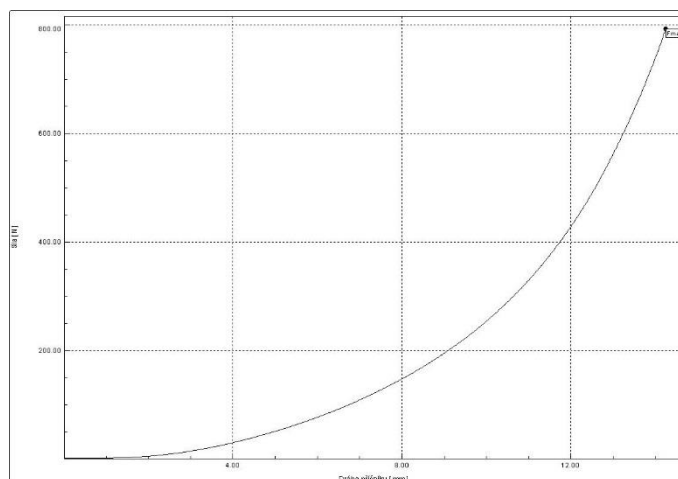
Obrázek 161 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 42 (3 měření)



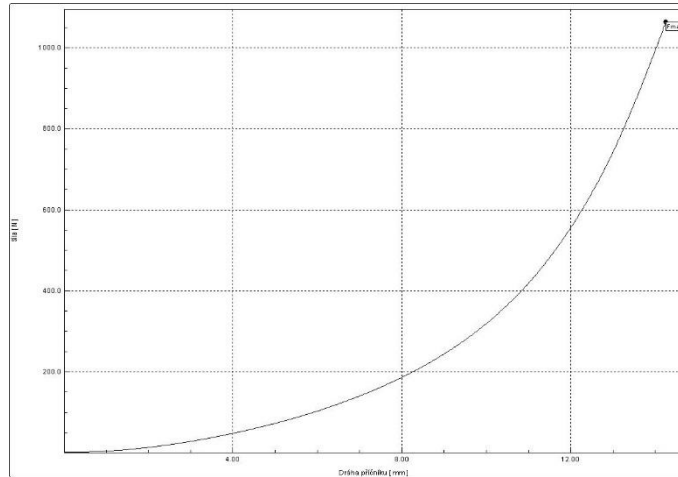
Obrázek 162 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 42 (4 měření)



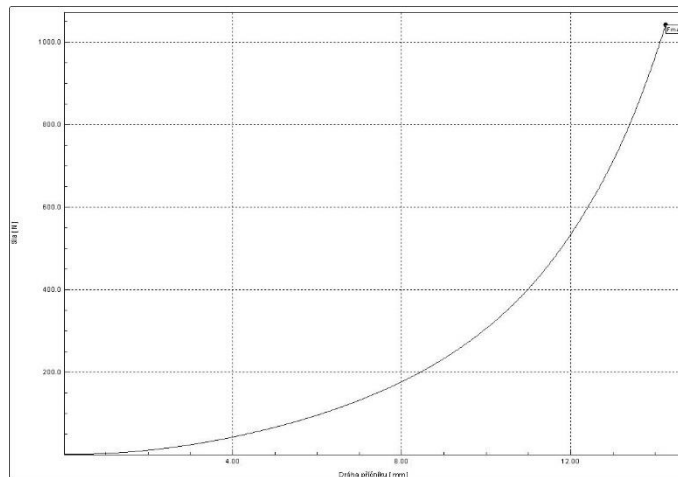
Obrázek 163 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 44 (1 měření)



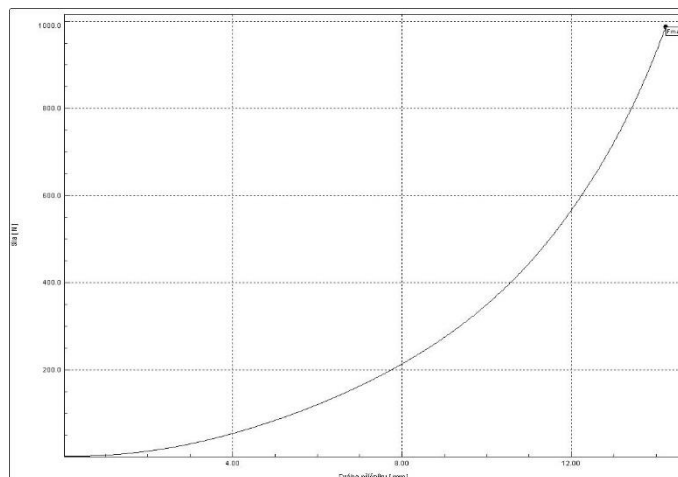
Obrázek 164 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 44 (2 měření)



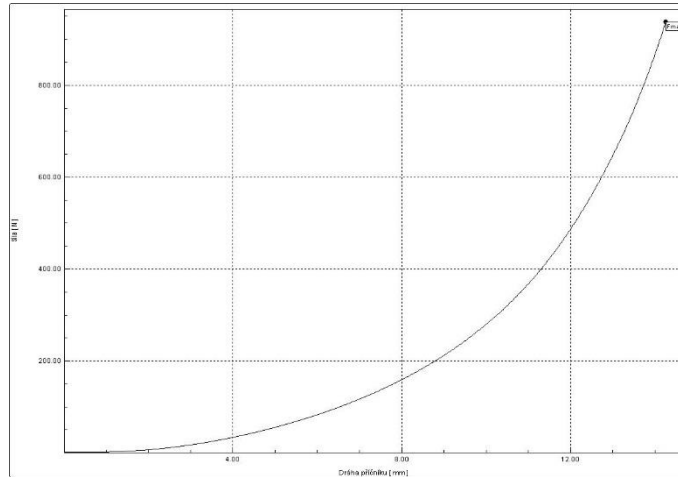
Obrázek 165 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 44 (3 měření)



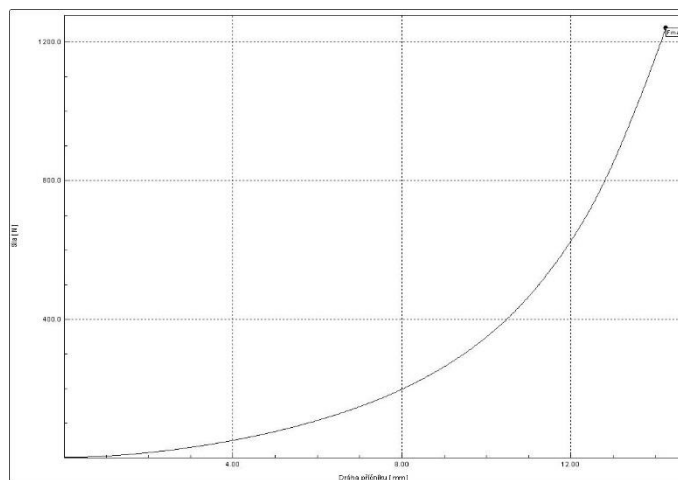
Obrázek 166 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 44 (4 měření)



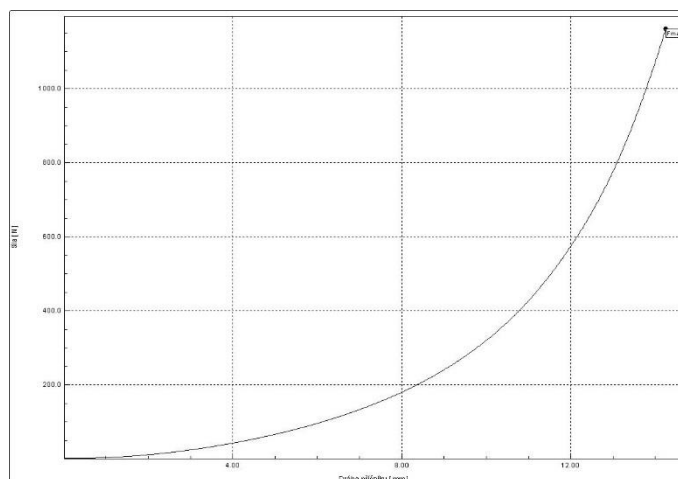
Obrázek 167 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 76 (1 měření)



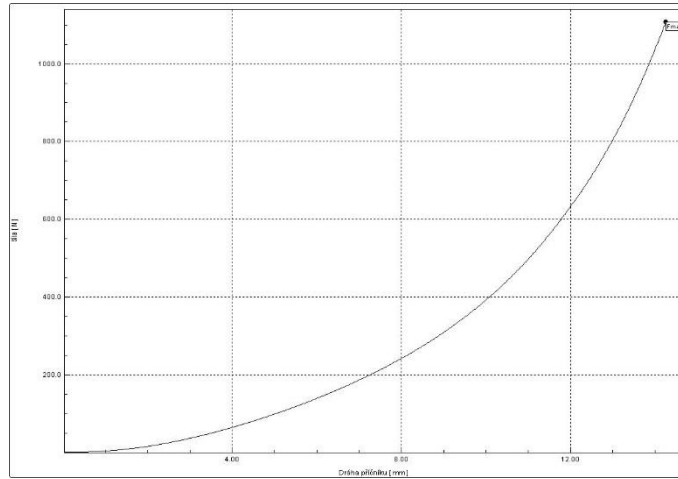
Obrázek 168 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 76 (2 měření)



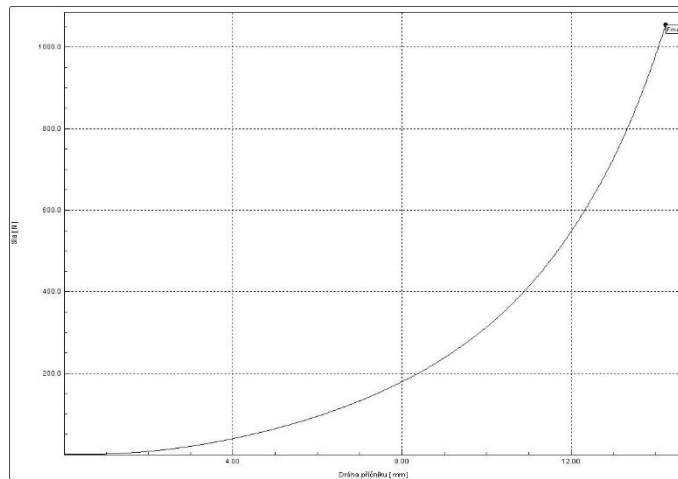
Obrázek 169 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 76 (3 měření)



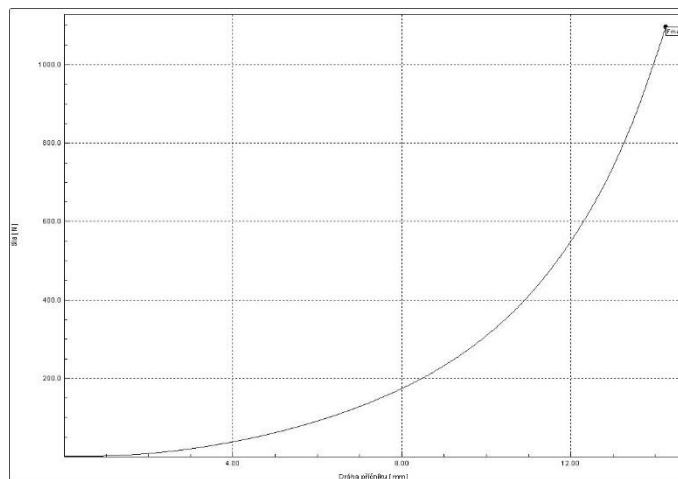
Obrázek 170 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 76 (4 měření)



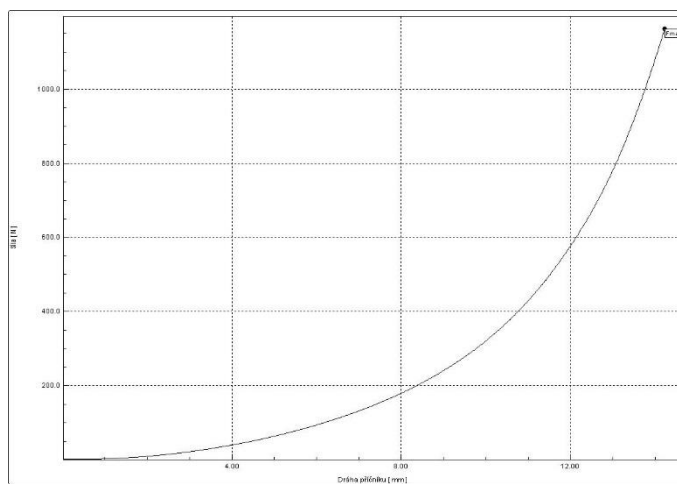
Obrázek 171 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 91 (1 měření)



Obrázek 172 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 91 (2 měření)



Obrázek 173 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 91 (3 měření)



Obrázek 174 Graf průběhu křivky stlačitelnosti pro vzorek 91 (4 měření)