

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza materiálu pro výrobu tepelných štítů
Bc. Jan Luňák

Diplomová práce
2009

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan LUŇÁK**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Analýza materiálu pro výrobu tepelných štítů**

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

- A)Teoretická část
 - 1)Účel tepelných štítů
 - 2)Materiály tepelných štítů
 - 3)Seznámení s technologií výroby tepelných štítů
 - 4)Teorie trhacích zkoušek
- B)Praktická část
 - 1)Provedení zkoušek materiálu trhací zkouška
 - 2)Zpracování analýzy - statistické zpracování výsledků a určení empirických vztahů mezi variantou materiálů a sklonem k prasklinám
 - 3)Vyhodnocení

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

interní dokumentace firmy Rieter CZ s.r.o.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Bedřich Friedl
Rieter CZ s.r.o.

Datum zadání diplomové práce:

20. února 2009

Termín odevzdání diplomové práce:

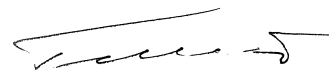
25. května 2009



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlášení

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Chocni dne 14. 5. 2009

Bc. Jan Luňák

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval především vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Bedřichovi Friedlovi, za odbornou pomoc a cenné rady při jejím zpracovávání. Dále bych chtěl poděkovat ostatním spoluzaměstnancům z firmy Rieter CZ s r.o. Nástrojárna Hnátnice, kteří se na zrodu diplomové práce podíleli, za pomoc při její technické realizaci. V neposlední řadě nesmím zapomenout poděkovat panu Ing. Pavlovi Švandovi, Ph.D. za trpělivost, kterou prokázal při laboratorních zkouškách.

Souhrn

Tato práce se zabývá tahovou analýzou hliníkových plechů používaných při výrobě tepelných štítů v automobilovém průmyslu. V úvodu dovoďte krátké seznámení s firmou Rieter CZ s r.o. Nástrojárna Hnátnice, která je zadavatelem práce, následované uvedením do problematiky tepelných štítů. Dále pak v teoretické části budete seznámeni se základy trhacích zkoušek, které jsou podkladem ke zpracování analýzy. V praktické části se zabývám přípravou a provedením trhacích zkoušek a následným rozбором jejich výsledků. V závěrečných kapitolách jsou přehledně zpracovány výsledky a stanoviska.

Klíčová slova

Rieter CZ, tepelný štít, hliníkové plechy, trhací zkouška, analýza,

Title

The analyse of material for heatshield production

Summary

This summary describes an analyse of aluminium sheets which are used for mass production of heatshields in automotive industry. First of all let me shortly introduce the company Rieter CZ s. r. o. Tooling Hnatnice, which is the submitter of this work. Next part is explains the heatshields as important heat insulation in cars. A reader is introduced to results which are the base of the analyse. The practical part describes preparing and creating the analyse. The results and the standpoints are written digestedly an the end .

Key words

Rieter CZ, heatshield, aluminium sheets, bursting tests, analyse

Obsah

1	Cíl diplomové práce.....	8
2	Profil zadavatele diplomové práce.....	9
3	Úvod do problematiky.....	11
3.1	Materiál pro výrobu tepelných štítů a jejich použití.....	11
3.2	Technologie výroby tepelných štítů.....	12
	3.2.1 Lisování.....	12
	3.2.2 Pečetění.....	14
	3.2.3 Stříh a děrování.....	15
	3.2.4 Stavění a lemování.....	15
3.3	Příklady hotových tepelných štítů.....	17
4	Teorie zkoušky tahem.....	18
4.1	Stanovení základních parametrů zkoušeného materiálu.....	19
4.2	Pracovní diagram.....	20
5	Získání dat pro analýzu.....	22
5.1	Příprava zkušebních tyčí.....	22
	5.1.1 Použitý materiál.....	23
	5.1.2 Příprava materiálu a výroba zkušebních tyčí.....	24
	5.1.3 Číslování zkušebních tyčí.....	28
5.2	Provedení zkoušek.....	29

6	Analýza.....	32
6.1	Korekce naměřených dat.....	32
6.2	Redukce množství naměřených dat – referenční pracovní diagramy.....	35
6.2.1	Metoda získání referenčních pracovních diagramů.....	35
6.2.2	Významné body referenčních pracovních diagramů.....	36
6.3	Přehled referenčních pracovních diagramů.....	37
6.4	Vyhodnocení analýzy.....	50
7	Odvození vztahů.....	56
7.1	Stanovení tažnosti pro libovolnou tloušťku a druh plechu.....	56
7.2	Stanovení tažnosti pro libovolnou orientaci směru válcování plechu vůči směru jeho tažení.....	60
8	Příklad.....	71
9	Závěr.....	72
	Seznam pramenů a odborné literatury.....	73
	Seznam tabulek.....	74
	Seznam grafů.....	75
	Seznam obrázků.....	77
	Seznam příloh.....	78

1 Cíl diplomové práce

Tato práce je zaměřena na analýzu vlastností materiálů, které jsou používány pro výrobu tepelných štítů v automobilovém průmyslu. Konkrétně se jedná o hodnocení tažnosti plechů, válcovaných za studena, z materiálu Al 99,5 (1050A), což je hliník s obsahem jiných prvků o maximálním množství 0,5 %. Tyto plechy se používají v různých modifikacích a o různých tloušťkách (viz. Kapitola 3). Podstatou analýzy je provedení a vyhodnocení tahových zkoušek materiálu v takových modifikacích, v jakých se s ním lze při výrobě tepelných štítů setkat nejčastěji. Hlavním cílem práce pak je odvození vztahů, pomocí kterých lze určit tažnost plechu v libovolném směru a libovolné tloušťce, která se nachází v rozsahu tlouštěk používaných pro výrobu.

2 Profil zadavatele diplomové práce

Rieter CZ s.r.o. je českou společností, jejímž majoritním vlastníkem je švýcarský koncern Rieter se sídlem ve Winterthuru. Jeho vznik se datuje do roku 1795 a dnes má koncern Rieter okolo 15 000 zaměstnanců v závodech a obchodních zastoupeních na více než 70 místech po celém světě.

Společnost podniká ve dvou zcela odlišných divizích, kterými jsou Textile Systems a Automotive Systems:

- Textile Systems vyvíjí a vyrábí stroje a zařízení pro zpracování příze a strojírenské komponenty do textilních strojů
- Automotive Systems vyvíjí a vyrábí nástroje na výrobu tepelně a zvukově izolačních dílů pro automobilový průmysl a díly samotné

Rieter CZ s.r.o. má centrálu v Ústí nad Orlicí. V samotném Ústí a jeho blízkém okolí má čtyři výrobní závody (Business Unit):

- BU Rotor v Ústí nad Orlicí - vývoj a výroba bezvřetenových dopřadacích textilních strojů
- BU Komponenty v Žamberku - vývoj a výroba převodovek, pohonných mechanismů a elektrorozvaděčů pro textilní stroje
- BU Automotive v Chocni - výroba zvukově a tepelně izolačních dílů pro automobilový průmysl
- BU Nástrojárna v Hnátnici - výroba a vývoj tvářecích nástrojů pro výrobu tepelných a zvukových izolací pro automobilový průmysl



Obrázek č. 1: Závod Nástrojárna v Hnátnici

Závod Nástrojárna Hnátnice (viz. Obrázek č. 1) byl otevřen v roce 1998 a v současnosti čítá více než 200 zaměstnanců, kteří se podílejí na vývoji, konstrukci a výrobě. Z původního výrobního programu, jímž byly slévárenské formy postupně přešla k technicky náročným nástrojům sloužícím k výrobě tepelně a zvukově izolačních dílů pro automobilový průmysl. Polotovary dílců jsou ocelové či hliníkové plechy, pěnová hmota, koberce a mnoho dalších druhů speciálně vyvinutých materiálů.

Většina zákazníků Nástrojárny Hnátnice jsou jiné BU v rámci koncernu, ale ve finále dílce směřují do automobilek, mezi kterými jsou například BMW, DaimlerChrysler, RollsRoyce, Porsche, Jaguar a mnoho dalších.

Rieter CZ s.r.o. je mým zaměstnavatelem a pracuji zde již dva a půl roku na pozici konstruktér nástrojů.

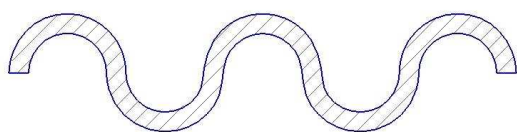
3 Úvod do problematiky

Po konzultaci s vedoucím pracovníkem pro oblast konstrukce firmy Rieter CZ s.r.o. Nástrojárna Hnátnice, ing. Petrem Minářem mi bylo nabídnuto zpracovat v rámci diplomové práce analýzu materiálů pro výrobu tepelných štítů. Konkrétně zhodnotit, pro jednotlivé varianty používaných materiálů (viz. Kapitola 3.1), jejich náchylnost ke vzniku prasklin, při namáhání na tah.

3.1 Materiál pro výrobu tepelných štítů a jejich použití

Tepelné štíty pro použití v automobilovém průmyslu, tak jak jsou vyráběny ve firmě Rieter CZ s.r.o. Nástrojárna Hnátnice, jsou buď z ocelového plechu nebo hliníkového plechu Al 99,5 (1050A) - dále pouze hliník - o tloušťkách od 0,2 mm do 1 mm. Nejčastěji však jsou hliníkové 0,5 mm a 0,8 mm.

Jelikož tepelné štíty mohou mít velice rozmanité tvary a ne vždy díky tvaru požadovanému zákazníkem, můžeme zabezpečit, že bude dílec tuhý a tvarově stabilní, často se tepelné štíty vyrábí z tzv. nopkovaného (zvlněného) plechu (viz. Obrázek č. 2). Nopkování plechu má za následek výrazně lepší tuhost dílců a zajišťuje dostatek materiálu při tažení hlubokých tvarů.



Obrázek č. 2: Nopkování v řezu (schematicky)

Tepelné štíty ve vozidlech nalezneme zpravidla v blízkosti zařízení emitujících do okolí tepelnou energii, jako jsou například motor, svody výfukového potrubí a výfukové potrubí. Jak už sám název napovídá, tepelný štít má jasnou úlohu a to zabránit přestupu tepla ze zmíněných zařízení dále do vozidla, na ostatní konstrukční celky a do prostoru pro cestující. Tam, kde by nebylo možné vyhovět požadavkům na odvod tepla pomocí jednoduchého

plechového tepelného štítu nebo tam, kde zároveň tepelný štít plní funkci zvukové izolace je dílec doplněn o izolační vrstvu ze žáruvzdorného materiálu.

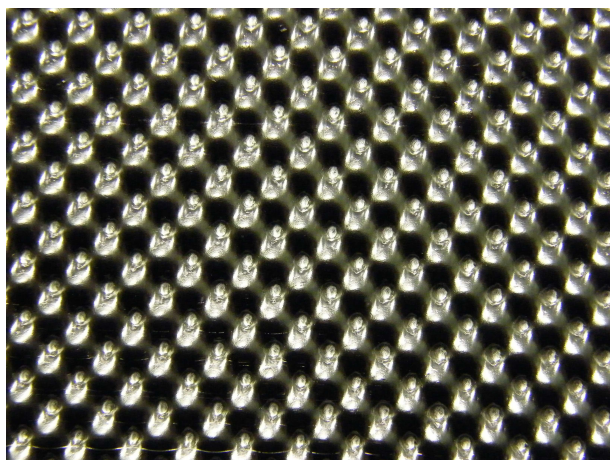
3.2 Technologie výroby tepelných štítů

Při výrobě tepelných štítů je materiál namáhán především na tah. Výrobní proces každého tepelného štítu je rozdělen do několika, po sobě jdoucích, operací, přičemž v některých operacích je materiál namáhán i na ohyb nebo kombinovaně (tah i ohyb), ale tyto druhy namáhání v diplomové práci neřeším.

3.2.1 Lisování

Jak již bylo popsáno výše, materiál tepelných štítů je nejvíce namáhán tahem, avšak ne ve všech oblastech dílce stejně. Například v rovinných oblastech nemusí být materiál natažen vůbec. Nejvíce je materiál natahován v oblastech prudkých a hlubokých tvarových změn (tažení tzv. dómů) během operace lisování, která je první z operací ve výrobním cyklu dílce.

Je-li dílec vyráběn z nopkovaného plechu (viz. Obrázek č. 3), je možné připustit jeho relativně velké tvarové změny. Při tažení nejprve dojde ke spotřebování materiálu nashromážděného ve zvlnění a dále proces může pokračovat natahováním samotného plechu, až na mezi pevnosti v tahu dojde ke vzniku trhliny.



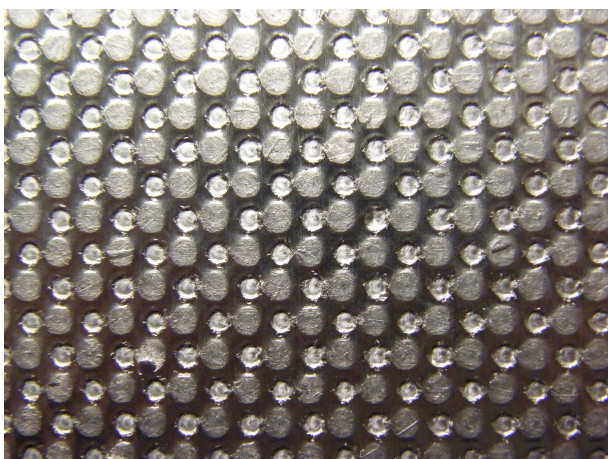
Obrázek č. 3: Nopkovaný plech

Při použití hladkého plechu (viz. Obrázek č. 4) dochází rovnou k jeho natahování a trhliny vznikají dříve. Hladký plech tedy neumožňuje lisování tak hlubokých tvarů jako plech nopkovaný.



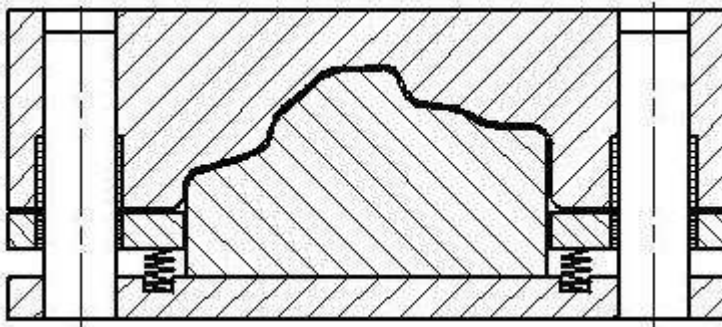
Obrázek č. 4: Hladký plech

Vzniku trhlin při lisování se snažíme vyhnout. Zajímá nás tedy maximální hodnota tažnosti, jaké je materiál schopen dosáhnout a snažíme se optimalizovat lisovací nástroj tak, aby v kritických místech nebyla tato hodnota překročena. Dále je v procesu lisování provedeno stlačení nopkovaného plechu (viz. Obrázek č. 5) zpět na svou původní tloušťku. Jedná se o oblasti definované zákazníkem a o oblasti kde je to nutné z důvodů technologie výroby.



Obrázek č. 5: Nopkovaný plech – stlačený

Poznámka: Při výrobě nopkovaného plechu je tabule hladkého plechu protažena mezi dvěma, proti sobě rotujícími, válci s příslušným profilem povrchu. Lisujeme-li dílec z nopkovaného plechu, tak nám plech vstupuje do procesu výroby již zdeformovaný. Je proto nutné vědět, že od okamžiku spotřebování materiálu nashromážděného ve zvlnění a od počátku tažení samotného plechu, je jeho tažnost o určitou neznámou hodnotu menší, než by odpovídalo plechu hladkému. Je to proto, že část pružnoplastické únosnosti plechu již byla spotřebována při nopkování. V místech stlačení dochází k dalšímu přetvoření materiálu plechu a ke spotřebování další části jeho pružnoplastické únosnosti. Dochází-li tedy k tažení hlubších tvarů v místech stlačení, hrozí vysoké nebezpečí vzniku trhlin. Oproti předchozímu případu, kdy byl na tah namáhán plech který prošel pouze procesem nopkování, je nyní jeho tažnost opět o nějakou hodnotu nižší.



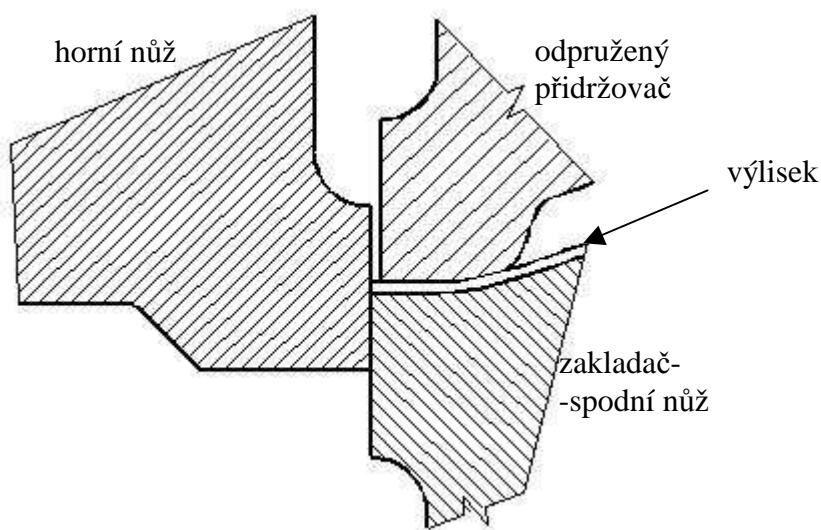
Obrázek č. 6: Příklad uspořádání lisovacího nástroje

3.2.2 Pečetění

Požaduje-li zákazník, aby byl dílec doplněn o izolační vrstvu, pak je další operací ve výrobním procesu takzvané pečetění. Izolační vrstva je vložena na nosný plech a překryta velmi slabou hliníkovou fólií. Na fólii je vrstva lepidla, která se, při pečetění vlivem tepla z vyhřívaného pečetícího nástroje, dokonale spojí s nosným plechem. Fólie a nosný plech tak mezi sebou uzavřou samotnou izolační vrstvu.

3.2.3 Střih a děrování

Výlisek musí být z technologických důvodů stlačen v okolí kontury dílce, protože další z operací v procesu jeho výroby je střih. Pro kvalitně a pravidelně vystřižený dílec bez otřepů je nepřijatelné, aby v místě střihu byl plech nopkovaný. Dále musí být výlisek stlačen v okolí otvorů v dílci, kde se jedná o ten samý důvod jako ve střihu, ale tentokrát v operaci děrování.

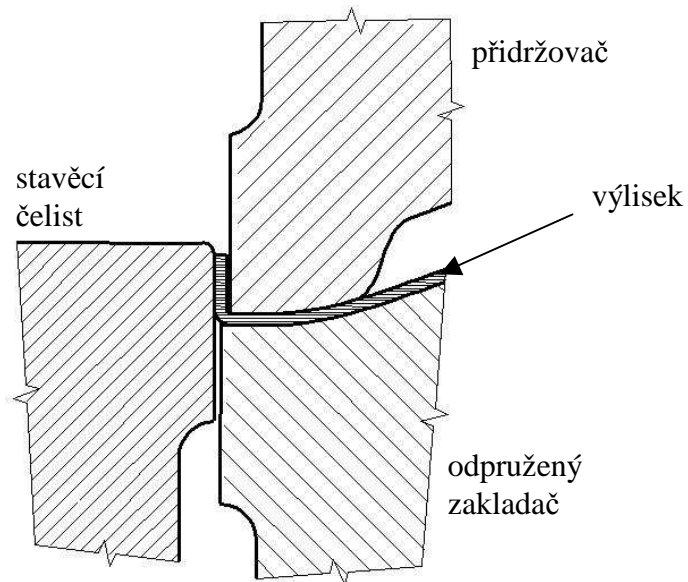


Obrázek č. 7: Princip stříhacího nástroje

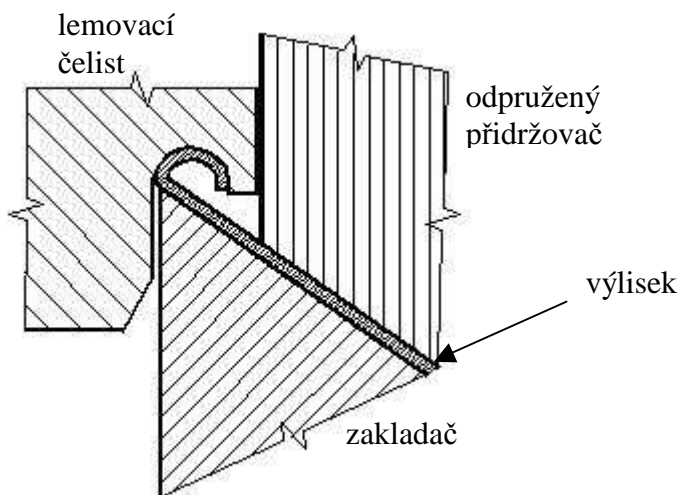
3.2.4 Stavění a lemování

Dílce se, z pravidla na přání zákazníka, musí po obvodu opatřit lemy. Důvodem je zvýšení jejich pevnosti, čímž se dosáhne jejich delší životnosti. Dále jsou dílce lemovány z důvodu zamezení poškození jiných součástí v automobilu, které s dílcem sousedí a omezení nebezpečí zranění dělníků, při montáži dílce do vozu, o ostré hrany vzniklé po střihu. Určitou roli hrají i estetické vlastnosti hotového dílce. Pro vyrobení lemu je plech po obvodu dílce, kde byl materiál již značně namáhán v předchozích operacích, podroben dalším tvarovým změnám. Nejprve je, v operaci stavění (viz. Obrázek č. 8), lem upraven do kolmé polohy vůči vodorovné rovině a posléze, v operaci lemování (viz. Obrázek č. 9), domáčknut speciálně tvarovanou lemovací čelistí na dílec. Vzhledem k předchozímu poškození struktury materiálu je lem možné vyrobit jen na rovných částech obvodu nebo na částech obvodu, kde je dostatečně velký rádius.

V místech rádiusů musí být lem zúžen na délku, která je stanovena na základě zkoušek. Kritická jsou místa, kde se na kontuře objevují malé vnitřní rádiusy a tam musí být lem z důvodů vyrobiteľnosti vynechán. Zalemovaný dílec je finálním výrobkem a dále už není tvarově upravován.

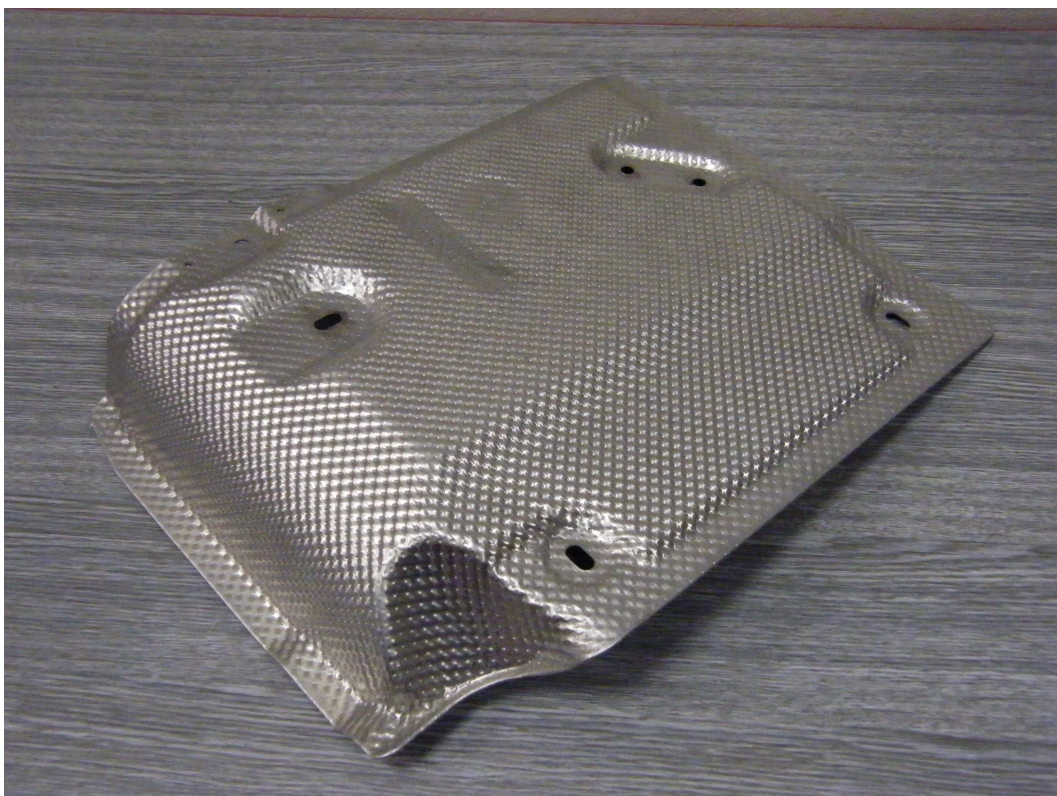


Obrázek č. 8: Princip stavěcího nástroje



Obrázek č. 9: Princip lemovacího nástroje

3.3 Příklady hotových tepelných štítů



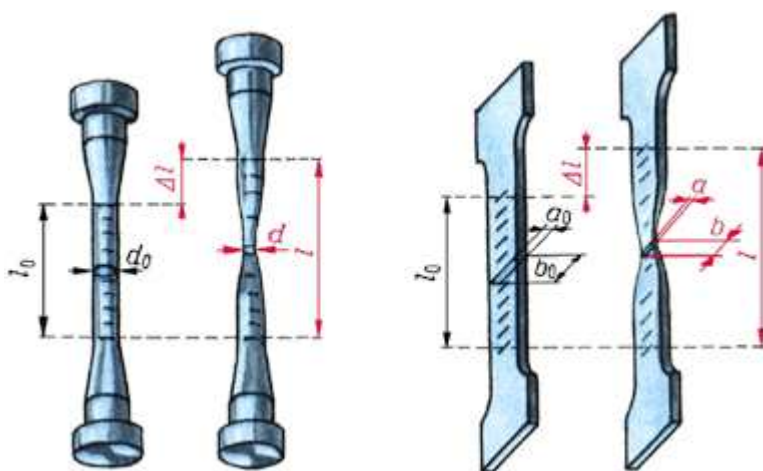
Obrázek č. 10: Příklad dílce z nopkovaného plechu



Obrázek č. 11: Příklad dílce z hladkého plechu

4 Teorie zkoušky tahem

Zkouška tahem (trhací zkouška) provedená dle ČSN EN 10002, je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože pomocí ní získáváme základní znalosti o daném materiálu a hodnoty potřebné pro výpočty konstrukčních prvků. Zkoušky tahem se dělají na zkušebních tyčích (viz. Obrázek č. 12), jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány a jejich výstupem je takzvaný pracovní diagram.



Obrázek č. 12: Příklady provedení zkušebních tyčí

Při zkoušce tahem zjišťujeme základní parametry materiálu, které mají zcela zásadní vliv na jeho využití například pro konstrukční účely:

- pevnost v tahu
- poměrné prodloužení
- tažnost
- zúžení (kontrakci)

Během zkoušek vzniká v zatížené zkušební tyči mechanické napětí. Toto napětí lze definovat jako míru vnitřních sil vztáženou na jednotku plochy průřezu zkušební tyče, které vznikají v materiálu působením sil vnějších. Rozeznáváme napětí normálové, které značíme σ a napětí tečné, které značíme τ . V případě osového zatížení zkušební tyče při zkoušce tahem vzniká pouze napětí normálové σ . Podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoli okamžiku zkoušky nazýváme okamžitým mechanickým napětím. Běžně však používáme

hodnoty smluvních mechanických napětí, které jsou vztaženy na původní průřez S_0 , protože neuvažujeme změnu velikosti průřezu zkušební tyče v průběhu zkoušky.

4.1 Stanovení základních parametrů zkoušeného materiálu

Mez pevnosti v tahu R_m je smluvní hodnota mechanického napětí daná podílem největší zatěžující síly F_{max} , při které dojde k porušení zkušební tyče a původního průřezu tyče S_0 :

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} \quad [MPa] \quad (1)$$

Mez kluzu R_e je hodnota mechanického napětí, při němž se zkušební tyč začne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla F , nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly F . Stanovíme ji ze vztahu:

$$R_e = \frac{F}{S_0} \quad [MPa] \quad (2)$$

Byla-li původní délka zkušební tyče l_0 a délka zjištěná po přetržení l , je celkové prodloužení (změna délky) Δl dáno vztahem:

$$\Delta l = l - l_0 \quad [m] \quad (3)$$

Poměrné prodloužení zkušební tyče ε je dáno poměrem změny její délky l a původní délky l_0 (jedná se tedy o bezrozměrnou veličinu):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (4)$$

Tažnost A je poměrné prodloužení zkušební tyče vyjádřené pomocí procent původní délky:

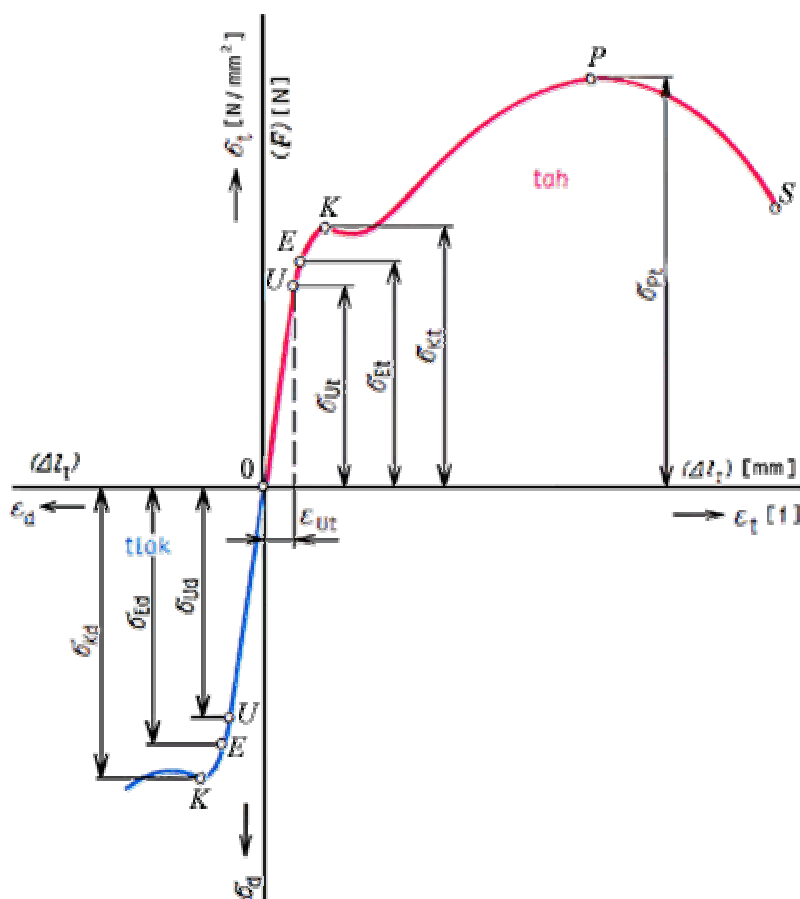
$$A = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

Kontrakce Z je dána poměrem zúžení průřezu zkušební tyče po přetržení a původního průřezu tyče S_0 . Vyjadřujeme ji, podobně jako tažnost, v procentech:

$$Z = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

4.2 Pracovní diagram

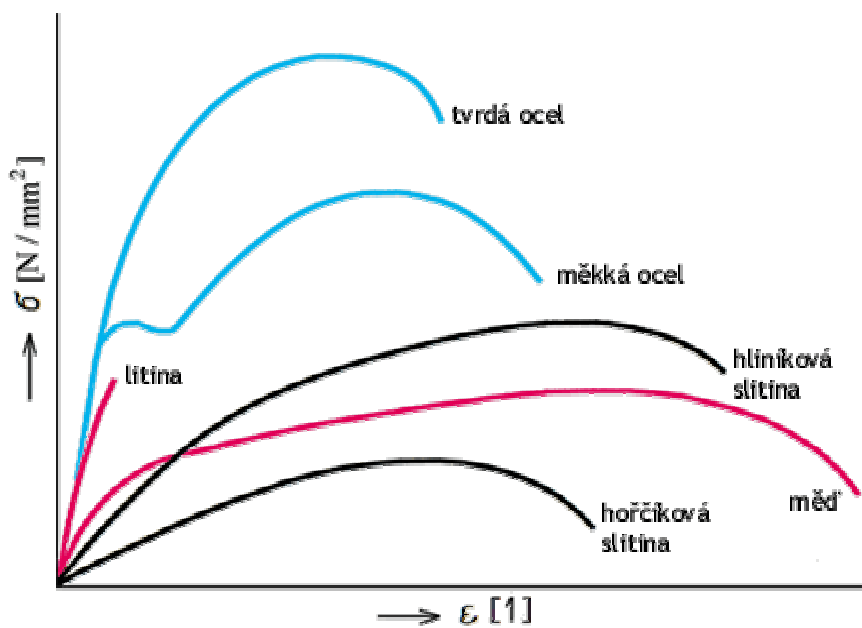
Trhací stroj zaznamenává průběh zkoušky do počítačového programu. Výsledkem je pracovní diagram udávající závislost poměrného prodloužení ε na napětí σ (viz. Obrázek č. 13), případně absolutního prodloužení Δl na zatěžující síle F .



Obrázek č. 13: Příklad pracovního diagramu

Z diagramu vidíme, že z počátku je prodloužení zkušební tyče přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení, a to až do bodu U . Napětí σ_U , odpovídající bodu U , nazýváme mez úměrnosti, kterou definujeme jako maximální mechanické napětí,

při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (platí zde Hookův zákon). V dalším průběhu tahové zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až po bod E je protažení elastické, to znamená že po odlehčení nabývá zkušební tyč původních rozměrů. Napětí σ_E , odpovídající bodu E , je mez pružnosti a definujeme ji jako maximální mechanické napětí, které nevyvolává trvalé deformace po odlehčení. Zvětšujeme-li zatížení dále, nastává přetvoření plastické a zkušební tyč po odlehčení již nenabude původní délky. Napětí σ_K odpovídající bodu K označujeme jako mez kluzu, kterou definujeme jako nejmenší mechanické napětí, při němž nastávají podstatné deformace, které někdy pokračují, aniž se zároveň zvyšuje napětí. V technické praxi se za mez kluzu bere napětí způsobující první trvalou deformaci. Zjišťování této meze je velmi obtížné a zdoluhavé. U některých materiálů prodleva nenastane a mez kluzu nelze zjistit. Proto jako běžnou smluvní hodnotu bereme napětí, které způsobí trvalé prodloužení 0.2%.



Obrázek č. 14: Tvary pracovních diagramů základních materiálů

5 Získání dat pro analýzu

Při plánování zkoušek tahem bylo rozhodnuto, že se budou zkoušet hliníkové plechy o tloušťkách 0,5 mm a 0,8 mm, neboť jejich použití ve výrobně tepelných štítů je nejširší. Pro ostatní, méně používané tloušťky hliníkových plechů, postačí výsledky odvozené ze zkoušek plechů o již zmíněných dvou tloušťkách.

5.1 Příprava zkušebních tyčí

Obě tloušťky byly zkoušeny v šesti různých variantách. Byly při tom zohledněny následující faktory ovlivňující vlastnosti materiálu v tahu:

- orientace zkušebních tyčí vzhledem ke směru válcování plechových tabulí
- základní výrobní stavy plechu (hladký, nopkovaný, nopkovaný-stlačený)

Výsledná klasifikace zkušebních tyčí do jednotlivých skupin byla tedy následující:

- 1) Plech o tloušťce 0,5 mm
 - a) Směr trhání rovnoběžný se směrem válcování
 - Hladký plech
 - Nopkovaný plech
 - Nopkovaný plech – stlačený
 - b) Směr trhání kolmý na směr válcování
 - Hladký plech
 - Nopkovaný plech
 - Nopkovaný plech – stlačený
- 2) Plech o tloušťce 0,8 mm
 - a) Směr trhání rovnoběžný se směrem válcování
 - Hladký plech
 - Nopkovaný plech
 - Nopkovaný plech – stlačený

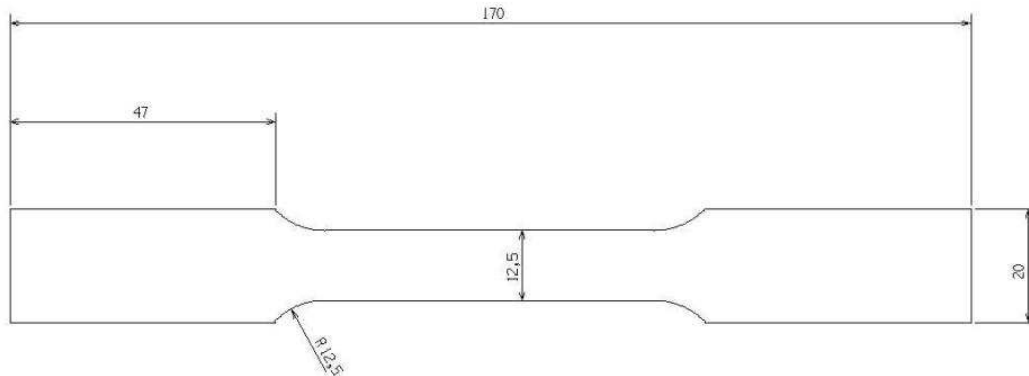
b) Směr trhání kolmý na směr válcování

- Hladký plech
- Nopkovaný plech
- Nopkovaný plech – stlačený

Tímto dělením vzniklo celkem dvanáct skupin zkušebních tyčí, které by, po provedení zkoušek a zpracování analýzy, měly dát jasné závislosti mezi maximálními hodnotami tahových deformací a daným stavem plechu.

5.1.1 Použitý materiál

Předpokládaný počet zkoušek od každé skupiny byl cca 40 – 50, přičemž na výrobu jedné zkušební tyče bylo počítáno s polotovarem o rozměrech 100 x 200 mm. Velikost polotovaru vychází z rozměrů zkušebních tyčí (viz. Příloha č. 1 a Obrázek č. 15) zvětšených o přídavek na upnutí do obráběcího stroje. Jako způsob obrábění obrysu bylo zvoleno řezání na drátovce.



Obrázek č. 15: Základní rozměry zkušebních tyčí

Plechové tabule o tloušťce 0,5 mm byly poskytnuty přímo z lisovny tepelných štítů, která se nachází v prostorách Nástrojárny jako přidružená výroba. Po dohodě s vedoucím lisovny panem Jiřím Motlem ml. bylo ze svitku hliníkového plechu (tzv. coilu) o šířce 630 mm odstřiženo celkem 6 kusů, z nichž každý měl délku 1820 mm. Z jednoho kusu o rozměrech 630 x 1820 mm by se mělo dát nastříhat celkem 54 polotovarů o rozměrech 100 x 200 mm pro výrobu

zkušebních tyčí, čímž by měla vzniknout určitá rezerva oproti předpokládanému počtu zkoušek.

Pro výrobu vzorků o tloušťce 0,8 mm bylo nutné objednat tabule plechu u externího dodavatele, kterým se po poradě s vedoucím oddělení nákupu ing. Janem Jurkou stala firma AL INVEST Břidličná. Objednáno bylo celkem šest kusů o rozměrech 1000 x 1000 mm. Z tabule o těchto rozměrech by se mělo dát nastříhat celkem padesát polotovarů o rozměrech 100 x 200 mm pro výrobu zkušebních tyčí, což odpovídá předpokládanému počtu zkoušek. Plechové tabule o tloušťce 0,8 mm bylo nutné objednat u externího dodavatele, protože lisovna v Nástrojárně plechy o této tloušťce nepoužívá. Při objednání od některé z lisoven v rámci koncernu Rieter v zahraničí, která se zabývá výrobou tepelných štítů, by hrozilo že nebudou zajištěny shodné vlastnosti materiálu všech dodaných tabulí (nebezpečí, že tabule nebudou stejné šarže). Tím by mohlo dojít ke zkreslení výsledků analýzy a stanovení chybných závěrů.

5.1.2 Příprava materiálu a výroba zkušebních tyčí

Když byly všechny potřebné tabule plechů přítomny v Nástrojárně, mohl jsem přistoupit k dalšímu důležitému kroku a tím bylo vyznačení směru válcování. Směr válcování je na hladkém hliníkovém plechu viditelný pouhým okem, ale po nopkování už by zřetelný nebyl. Směr válcování byl na tabulích vyznačen modrými rovnoběžnými čarami.

Od každé tloušťky bylo potřeba čtyři tabule nanopkovat. K nopkování plechů slouží zařízení zvané nopkovací stolice (viz. Obrázek č. 16), které je v koncernu Rieter k dispozici pouze v lisovně ve švýcarském Sevelenu. Provedení nopkování mi v Sevelenu zařídil vedoucí oddělení marketingu Nástrojárny ing. Karel Kovařík a samotné nopkování měl pak na starosti pan Phillip Amman. Jelikož i směr založení plechu do nopkovací stolice hraje určitou roli při konečných vlastnostech nopkovaného plechu, bylo po konzultaci se seniorkonstruktérem ing. Bedřichem Friedlem rozhodnuto, že nopkování se provede v takovém směru, ve kterém budou nakonec vzorky zatěžovány při trhacích zkouškách. To znamenalo od každé tloušťky vždy dvě tabule nanopkovat

po směru válcování a dvě kolmo na směr válcování. Jako opatření proti chybě při zakládání tabulí do nopkovací stolice sloužily modré čáry, kterými byl vyznačen směr válcování. Aby bylo zřejmé, jakým směrem byla tabule do nopkovací stolice založena, měl pan Amman za úkol vyznačit tento směr na každý kus čarami červené barvy (viz. Příloha č. 2). Doprava do Švýcarska a zpět byla vyřešena přiložením na kamion při pravidelné přepravě nástrojů mezi Sevelenem a Hnátnicí.



Obrázek č. 16: Nopkovací stolice UMT 406 (UniMaTec GmbH)

Po nanopkování tabulí bylo další operací jejich rozstříhání na polotovary o rozměrech 100 x 200 mm. Jako pomůcka mi při tom sloužila síť, kterou jsem si načrtnul na tabule nesmývatelným fixem a podle které jsem stříhal. Jako nástroj byly použity pákové nůžky (viz. Obrázek č. 17), které jsou umístěny v Nástrojárně. Na každý polotovar jsem si ještě před rozstříháním udělal značky v již zavedených barvách, které mi jednoznačně udávaly směr válcování a směr založení do nopkovací stolice. Jednalo se o preventivní opatření pro případ pomíchání polotovarů.



Obrázek č. 17: Pákové nůžky NTP 1000/2,5B (ZTS Košice)

V tomto okamžiku bylo zapotřebí zadat práci na dokončení vzorků do výroby. Za oddělení AVOR (technologie) se o to postaral pan Luděk Jansa, který zpracoval technologický postup (viz. Příloha č. 3).

Nejprve, dle plánovaného postupu, bylo na řadě slisování vybraných skupin nanopkovaných polotovarů o rozměrech 100 x 200 mm. Tím začala vznikat třetí skupina vzorků, nopkovaný plech – stlačený. Stlačování probíhalo na malém lisu o síle 100 tun (viz. Obrázek č. 18). Polotovary z plechu o tloušťce 0,5 mm byly stlačovány na tloušťku 0,6 mm a obdobně pak polotovary z plechu o tloušťce 0,8 mm byly stlačovány na tloušťku 0,9 mm. Bylo to proto, že v reálné situaci zpravidla nelze, z důvodů omezené lisovací síly, plech ve formě stlačit na původní tloušťku, ta zůstává o cca o 0,1 – 0,2 mm větší. Slisování bylo provedeno sjetím beranu lisu s horní upínací deskou až na dolní upínací desku, která je pevnou součástí lisu. Mezi lisovací plochy byly vloženy planžety o příslušné výšce (0,6 mm nebo 0,9 mm), které plnily funkci dorazů a bránily tak nadměrnému slisování polotovarů.



Obrázek č. 18: Lis TUS 100 (Reis GmbH&Co)

Po dokončení stlačování byly už všechny polotovary v podstatě připravené pro finální operaci výroby vzorků – obrobení obrysu. Obrys vzorků byl obroben pomocí drátovky (viz. Obrázek č. 19) tak, že do jejich čelistí byly najednou upnuty vždy všechny polotovary v dané skupině. Tím bylo zabráněno jejich nechtěnému pomíchání ve výrobě.



Obrázek č. 19: Drátovka AGIECUT 370 (AGIE Losone - Locarno, Švýcarsko)

5.1.3 Číslování zkušebních tyčí

Před provedením trhacích zkoušek zbývalo už jen hotové zkušební tyče očíslovat. Číslem jsem se rozhodl opatřit tyče na rozšířených plochách sloužících pro upnutí do čelistí trhacího stroje. Na každé tyči bylo tedy totéž číslo vyznačeno dvakrát, aby se, po roztržení, dalo snadno identifikovat, které dvě „poloviny“ patří k sobě. Pro číslování jsem zvolil tvar čísel: X – X – X s následující logikou:

- První číslice nabývá hodnot 1, 2, 3 nebo 4 dle následujícího klíče
 - 1 – plech tloušťky 0,5 mm a směr trhání po směru válcování
 - 2 – plech tloušťky 0,5 mm a směr trhání kolmo na směr válcování
 - 3 – plech tloušťky 0,8 mm a směr trhání po směru válcování
 - 4 – plech tloušťky 0,8 mm a směr trhání kolmo na směr válcování

- Druhá číslice nabývá hodnot 1, 2 nebo 3 dle následujícího klíče
 - 1 – hladký plech
 - 2 – nopkovaný plech
 - 3 – nopkovaný plech stlačený

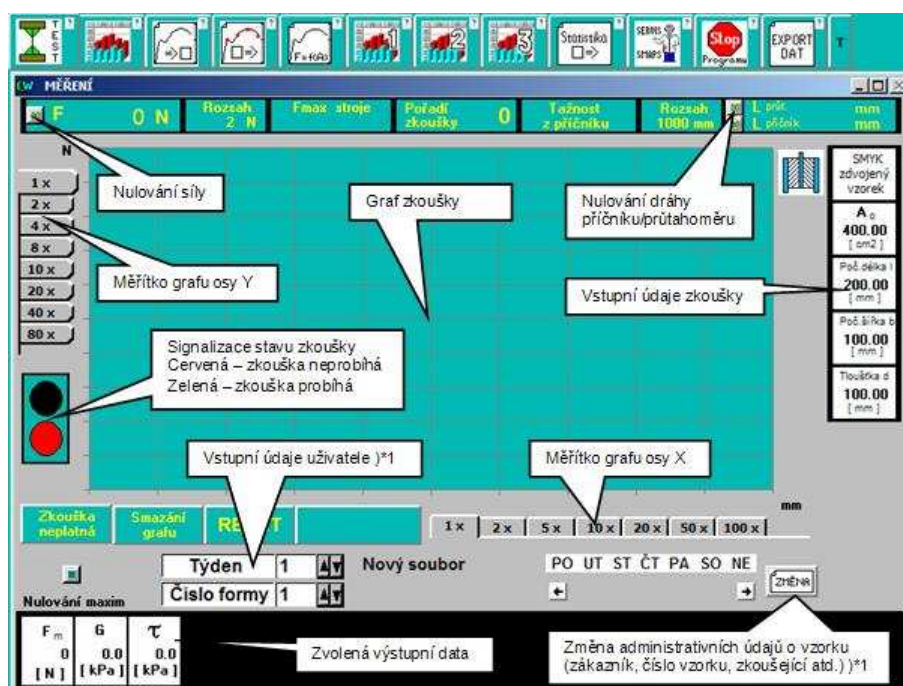
- Třetí číslice nabývá hodnot 0 až 9 a udává pořadové číslo zkušební tyče v dané skupině

Například číslo ve tvaru 4 – 3 – 7 vyjadřuje, že zkušební tyč je z plechu tloušťky 0,8 mm, že se jedná o nopkovaný plech stlačený, že směr trhání je kolmý na směr válcování a že pořadové číslo vzorku v dané skupině je 7.

Tímto byly zkušební tyče dokončeny, přehledně rozříděny do jednotlivých kategorií a připraveny na provedení zkoušek.

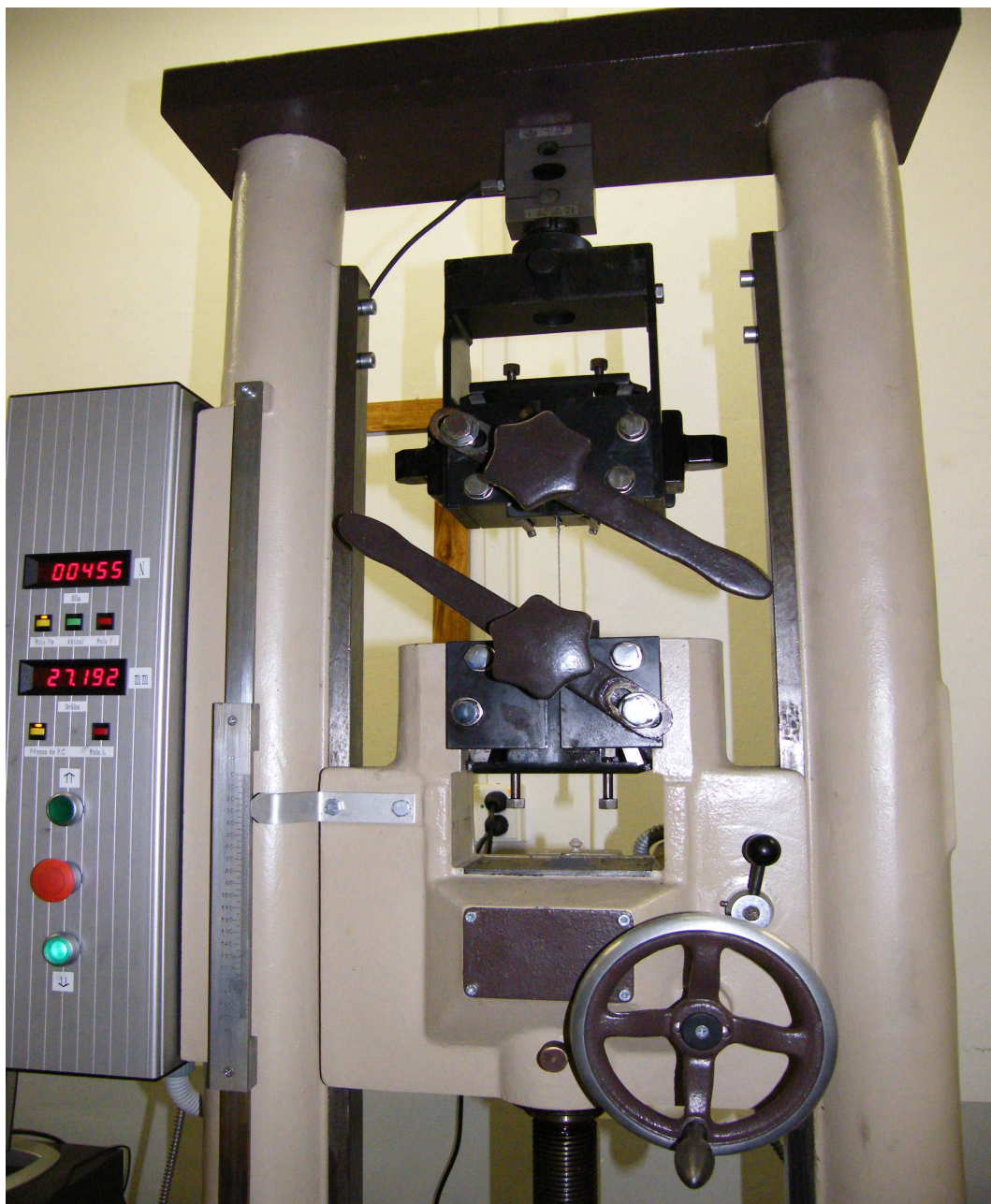
5.2 Provedení zkoušek

Trhací zkoušky byly realizovány v materiálové laboratoři Dopravní fakulty Jana Pernera v Pardubicích. Základem měřicího řetězce byla trhačka ZDM 5 (viz. Obrázek č. 21), která v září 2008 prošla celkovou repasí a kalibrací. Z trhačky, která měla původně mechanicky řešený záznam měření, je dnes moderní měřicí přístroj vybavený elektronickým záznamovým zařízením. Dalším prvkem měřicího řetězce byl osobní počítač, který komunikuje s trhačkou přes RS 232 (sériový port). V počítači je nainstalován software (viz. Obrázek č. 20), který byl naprogramován speciálně pro komunikaci s tímto typem trhaček.



Obrázek č. 20: Popis okna měřicího software v pohotovostním režimu

Tento software prodělává průběžný vývoj a jeho poslední upgrade byl instalován v lednu 2009. Repasi trhačky a naprogramování měřicího software provedla firma SMAPS Opava. Výstupem měření je datový soubor ve formátu *csv*, ze kterého lze data importovat do formátu *xls*. S tímto formátem lze dále bez potíží pracovat v prostředí programu Microsoft Excel.



Obrázek č. 21: Trhačka ZDM 5 po repasi

Veškerá měření jsem prováděl za dohledu a odbornou asistencí Ing. Pavla Švandy, Ph.D. Ještě před zahájením práce mi bylo doporučeno

rozmyslet si počet zkoušek, který bude nezbytný pro posouzení zkoumaných jevů a stanovení závěrů. Z rad a praktických zkušeností pana doktora Švandy jsem dospěl k rozhodnutí omezit počet zkoušek od každé skupiny na deset oproti původně plánovaným padesáti. Hlavním důvodem omezení počtu zkoušek byl čas potřebný k jejich provedení a v neposlední řadě i velké množství dat, která bych získal. V získaných datech by pak hrozila ztráta přehlednosti a jejich zpracování by bylo časově velmi náročné.

Samotné zkoušky proběhly tím způsobem, že já jsem obsluhoval trhačku a doktor Švanda se staral o měřicí software a ukládal data z každého měření do příslušných souborů. Obsluha trhačky spočívala v:

- upnutí zkušební tyče do čelistí trhačky (viz. Obrázek č. 22)
- vynulování hodnot siloměru a délkoměru
- spuštění trhačky a provedení zkoušky
- vyjmutí přetrženého vzorku
- nastavení čelistí trhačky do výchozí polohy



Obrázek č. 22: Čelisti trhačky s upnutou zkušební tyčí

Po dokončení všech plánovaných zkoušek (12 x 10 pokusů) jsem dostal data rozdělená do dvou souborů. V jednom souboru byla zaznamenána veškerá data zkoušek plechů o tloušťce 0,5 mm a ve druhém data zkoušek plechů o tloušťce 0,8 mm.

6 Analýza

Prvním krokem, který bylo potřeba provést pro přehlednost celé analýzy, bylo roztrídění získaných dat do jednotlivých souborů se značením dle zavedeného postupu (viz. Kapitola 5.1.3) Celkem byla tedy data roztríděna do dvanácti souborů s následujícími jmény:

- 1-1-X.xls
- 1-2-X.xls
- 1-3-X.xls
- 2-1-X.xls
- 2-2-X.xls
- 2-3-X.xls
- 3-1-X.xls
- 3-2-X.xls
- 3-3-X.xls
- 4-1-X.xls
- 4-2-X.xls
- 4-3-X.xls



Po roztrídění každý soubor obsahoval data všech deseti pokusů v dané skupině uspořádané do jednotlivých listů. Na každý list byl zároveň umístěn příslušný pracovní diagram, který zobrazuje protažení zkušební tyče v závislosti na síle, kterou na ni trhačka v daném okamžiku zkoušky působila. Pracovní diagramy jsou tedy vykresleny v souřadnicích [mm] na ose x a [N] na ose y. Veškeré pracovní diagramy jsou shrnuty v příloze diplomové práce (viz. Příloha č. 4) a jsou bez korekcí, ve stavu odpovídajícím získaným datům.

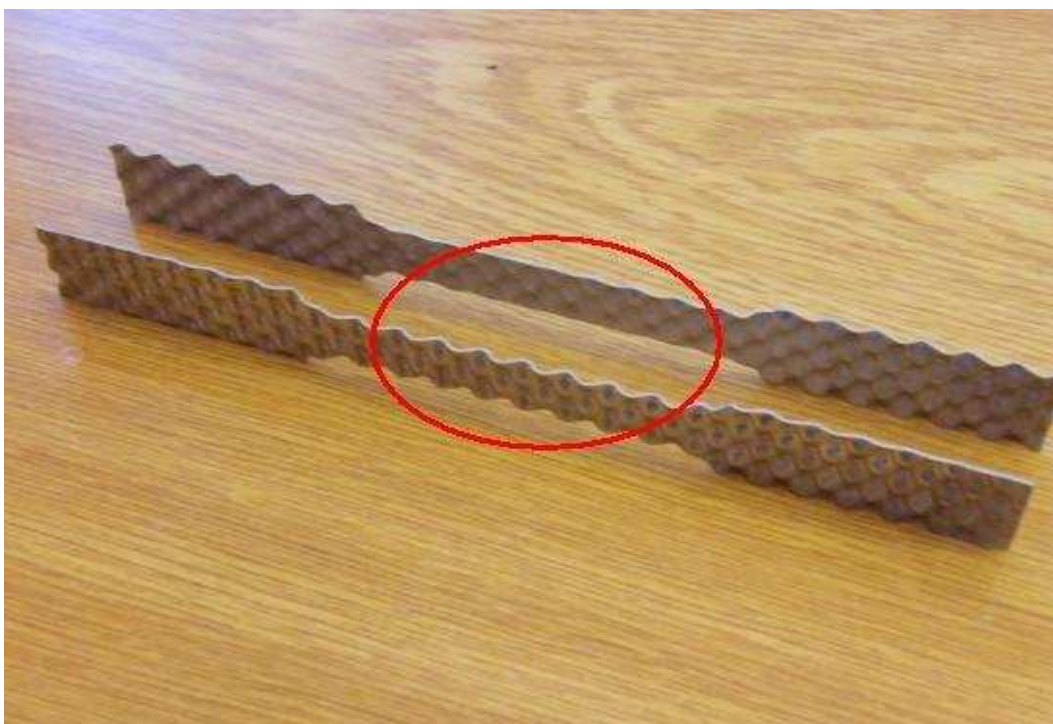
6.1 Korekce naměřených dat

Průběh každé tahové zkoušky byl ovlivněn v první řadě materiálem zkušební tyče. Obecně lze říci, že kolísání mezi pevnosti zkušebních tyčí v rámci jedné skupiny může být dáno nedokonalostmi mikrostruktury materiálu, které vznikají při výrobě v hutích a válcovnách. Dále však určitou roli hrají i náhodné vlivy, mezi které lze v tomto případě zařadit působení lidského faktoru při:

- a) přípravě zkušebních tyčí
- b) upínání zkušebních tyčí do čelistí trhačky
- c) pevnost sevření zkušební tyče v čelistech trhačky

ad a) *Tento faktor ovlivňuje konec pracovního diagramu, má vliv na mez pevnosti zkušební tyče.*

Působení tohoto vlivu je spojeno zejména s tyčemi z nopkovaného a nopkovaného stlačeného plechu a spočívá v nestejném místě řezu materiálem při obrábění jejich obrysu na drátovce. Zatímco některé zkušební tyče mají v místech zúžení obrysu řez vedený přesně mezi nopky, u jiných vyšel tento řez tak, že jde přes nopky (viz. Obrázek č. 23). Zkušební tyče z nopkovaného a nopkovaného stlačeného plechu tedy nemají na obrysu, ze kterého je většinou iniciováno první porušení materiálu, ve všech případech stejné výchozí podmínky. Jak je vidět, při podrobnějším prozkoumání pracovních diagramů (viz. Příloha č. 4), má tento nedostatek vliv na mez pevnosti zejména v případě nopkovaných plechů. U plechů nopkovaných stlačených převládá vliv opakovaných deformací materiálu (ztráta pružnoplastických vlastností) a hodnoty meze pevnosti při jednotlivých pokusech nejsou tolik rozkolísané jako v předchozím případě.



Obrázek č. 23: Porovnání různých typů řezů

Lze připustit, že vliv náhodného vedení řezu koresponduje s reálnou situací. Tuto anomálii není nutné v pracovních diagramech nijak korigovat,

protože v reálné situaci operátor při výrobě tepelných štítů také vkládá plechy do nástroje víceméně v náhodné poloze.

ad b) *Tento faktor ovlivňuje počátek pracovního diagramu, způsobuje takzvaný „chod na prázdno“.*

Rizika spojená s upínáním zkušebních tyčí do čelistí trhačky vyplývají především z jejich malé tloušťky a tím nízké stability. Jedná se o nakrčení materiálu mezi horní a spodní čelisti při upínání a následný chod trhačky „na prázdno“. Zatímco spodní čelist vykonává měřitelný pohyb, jako by byla zkušební tyč již natahována, siloměr na horní čelisti nezaznamenává žádné nebo jen minimální namáhání. Děje se tak do doby, než je vyrovnáno nakrčení zkušební tyče vzniklé při jejím upínání. Nebezpečí nakrčení materiálu hrozí zejména u hladkých plechů o tloušťce 0,5 mm, protože tento plech má nejmenší tuhost ze všech zkoušených plechů. Dá se říci, že hladkých plechů o tloušťce 0,8 mm a veškerých nopkovaných a nopkovaných stlačených plechů se tento problém nedotýká.

ad c) *Tento faktor rovněž ovlivňuje počátek pracovního diagramu, také způsobuje „chod na prázdno“.*

Posledním náhodným vlivem je pevnost sevření zkušební tyče v čelistech trhačky. I při silném sevření může dojít ke krátkodobému proklouznutí zkušební tyče a to až do okamžiku, než se čelist „zakousne“ do materiálu. K tomu je opatřena na plochách, které přicházejí do styku se zkušebními tyčemi, hrubým vroubkováním. Tento problém se týká všech variant zkušebních tyčí. Nejvíce jsou jím ohroženy zkoušky nopkovaného plechu, protože styčná plocha mezi zkušební tyčí a čelistí je dána pouze vrcholy nopků a ne celou plochou. Na pracovním diagramu se toto proklouznutí projeví podobným způsobem jako v případě nakrčení materiálu mezi čelistmi.

V případech, kde se na počátku pracovního diagramu objeví průběh napovídající, že došlo k situaci b) nebo c), je před dalším zpracováním dat nutná korekce. Jde o vynechání počáteční části diagramu, kde je patrné prodloužení

zkušební tyče s žádným nebo minimálním nárůstem namáhání. Celý diagram se tak posune v souřadném systému o vynechanou část směrem doleva a z počátku souřadného systému vychází už diagram správný.

6.2 Redukce množství naměřených dat – referenční pracovní diagramy

Aby bylo možné porovnat vlastnosti jednotlivých materiálů mezi sebou, je nutné nalézt vhodný způsob jak redukovat poměrně velké množství dat. Cílem je nahradit deset pracovních diagramů, popisujících jednotlivé pokusy v rámci jedné skupiny zkušebních tyčí, jedním - referenčním pracovním diagramem. Referenční pracovní diagram musí vyjadřovat nejpravděpodobnější chování materiálu, které lze očekávat na základě dat zjištěných při trhacích zkouškách.

6.2.1 Metoda získání referenčních pracovních diagramů

Pro nahrazení pracovních diagramů v rámci dané skupiny jedním referenčním diagramem jsem použil poměrně jednoduchou metodu. Tu jsem navrhl speciálně pro tento účel. Její postup je následující:

- postup se provádí pro každou skupinu pracovních diagramů zvlášť
- diagramy v dané skupině rozdělíme na stejně velké díly osy x [mm]
- dělení musí být dostatečně jemné (po 1 mm, pouze u nopakovaných stlačených plechů po 0,5 mm), volím ho v závislosti na měřítku osy x a na průběhu pracovního diagramu tak, aby neunikaly důležité informace
- v každém bodě (dle zvoleného dělení osy x) vztyčím kolmici na osu x
- tam, kde kolmice protne pracovní diagram, vynesu hodnotu na osu y [N]
- z hodnot na osách y [N] všech diagramů ve skupině, odpovídajících příslušnému bodu na osách x [mm], vypočítáme aritmetický průměr
- dostávám body referenčního grafu $[x_1; \varnothing y_1], [x_2; \varnothing y_2] \dots [x_n; \varnothing y_n]$
- hodnota n je poslední hodnota na ose x , která ještě nepřesahuje průměrnou hodnotu maximálních prodloužení zkušebních tyčí do poruchy v dané skupině
- posledním bodem referenčního grafu je $[\varnothing x_{\max}; \varnothing y_{\text{přetržení}}]$

Referenční diagramy jsou číslovány způsobem, který vychází z již zavedeného číslování, ale je vynechána poslední číslice označující pořadové číslo zkušební tyče v dané skupině.

6.2.2 Významné body referenčních pracovních diagramů

V každém referenčním pracovním diagramu jsou zvýrazněny dva významné body (viz. Kapitola 6.3). První významný bod, pojmenovaný I, na pracovním diagramu (označen modře), je v místě, kde trhací síla dosáhla 95% síly maximální. K této síle je vynesena na vodorovné ose příslušná hodnota prodloužení zkušební tyče. Pětadevadesátiprocentní hranice je považována za bezpečnou mez, do které při tahu zaručeně nedojde k porušení materiálu. Tato hranice je stanovena na základě vzájemného porovnání pracovních diagramů tak, aby ani v nejnepříznivějším případě nebyla ohrožena celistvost taženého materiálu. Druhý významný bod (označen červeně), pojmenovaný II, je mez pevnosti materiálu. V tomto bodě je důležitá zejména hodnota maximálního prodloužení, za kterým dojde vždy k porušení materiálu. Síla, při které se tak stane, není až tak zásadní a je uvedena pouze pro úplnost. Oblast pracovního diagramu mezi body I a II již není bezpečná. To vyplývá i z tvaru křivky, která je většinou téměř vodorovná a sebemenší vada materiálu, kdekoli v této oblasti, by znamenala okamžitý vznik poruchy. Při tažení daných materiálů v praxi se tedy budeme snažit pohybovat v hodnotách prodloužení menších, maximálně rovných hodnotě odpovídající 95% maximální tahové síly. Ve výjimečných případech se lze pohybovat i mírně za touto hranicí, ale musíme brát na vědomí možná rizika vzniku prasklin. Této podmínce je nutné přizpůsobit tvary lisovacích forem a tedy i dílců.

6.3 Přehled referenčních pracovních diagramů

Přehled referenčních pracovních diagramů pro každý druh zkoušeného materiálu (viz. Graf č. 1 až 12) je doplněný o konkrétní hodnoty prodloužení a síly ve významných bodech I, II a hodnoty tažnosti v těchto bodech. V kapitole 6.4 jsou tyto hodnoty zapsány do souhrnné tabulky.

Pro výpočet tažnosti je použito následujících vztahů (7) a (8) odvozených ze vztahu (5):

$$A_{95} = \frac{\Delta l_{95}}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

$$A_{porucha} = \frac{\Delta l_{porucha}}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (8)$$

kde:

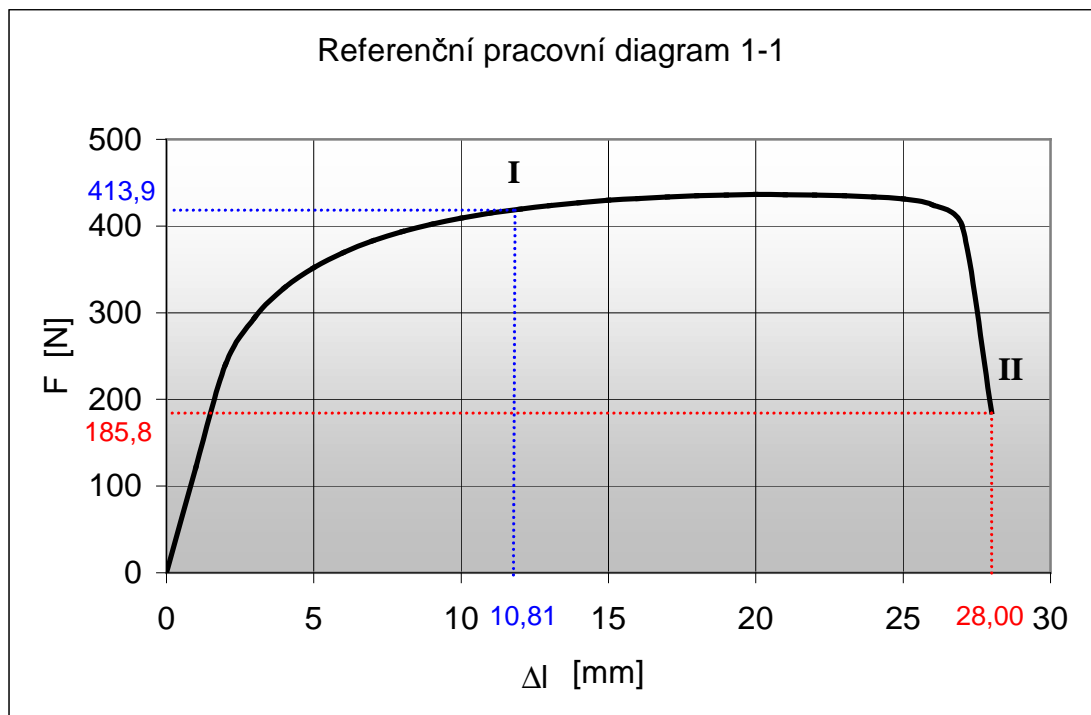
- A_{95} je tažnost materiálu zkušební tyče počítaná v okamžiku působení tahové síly F_{95} rovné 95% maximální tahové síly F_{max}
- $A_{porucha}$ je tažnost materiálu zkušební tyče počítaná v okamžiku vzniku poruchy
- Δl_{95} je přírůstek délky zkušební tyče v okamžiku působení tahové síly F_{95} rovné 95% maximální tahové síly F_{max}
- $\Delta l_{porucha}$ je přírůstek délky zkušební tyče v okamžiku vzniku poruchy
- l_0 je původní délka zkušebních tyčí (uvažováno zúžené místo délky 58 mm)

Pro výpočet síly F_{95} je využito vztahu (9):

$$F_{95} = F_{max} \cdot 0,95 \quad [N] \quad (9)$$

kde:

- F_{95} je síla rovnající se 95% síly F_{max}
- F_{max} je maximální síla působící na zkušební tyč v nejvyšším bodě pracovního diagramu

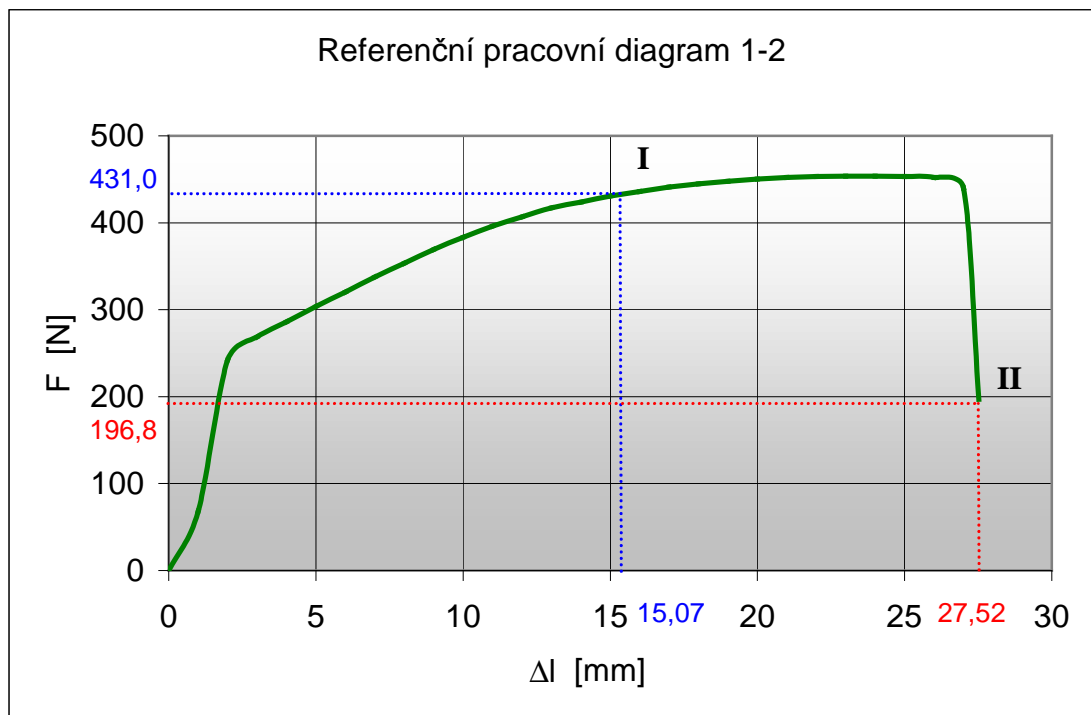


Graf č. 1: Referenční pracovní diagram 1-1 (hladký 0,5 mm; po směru válcování)

- F_{max} 435,7 N

- F_{95} 413,9 N
- Δl_{95} 10,81 mm
- A_{95} 18,64 %

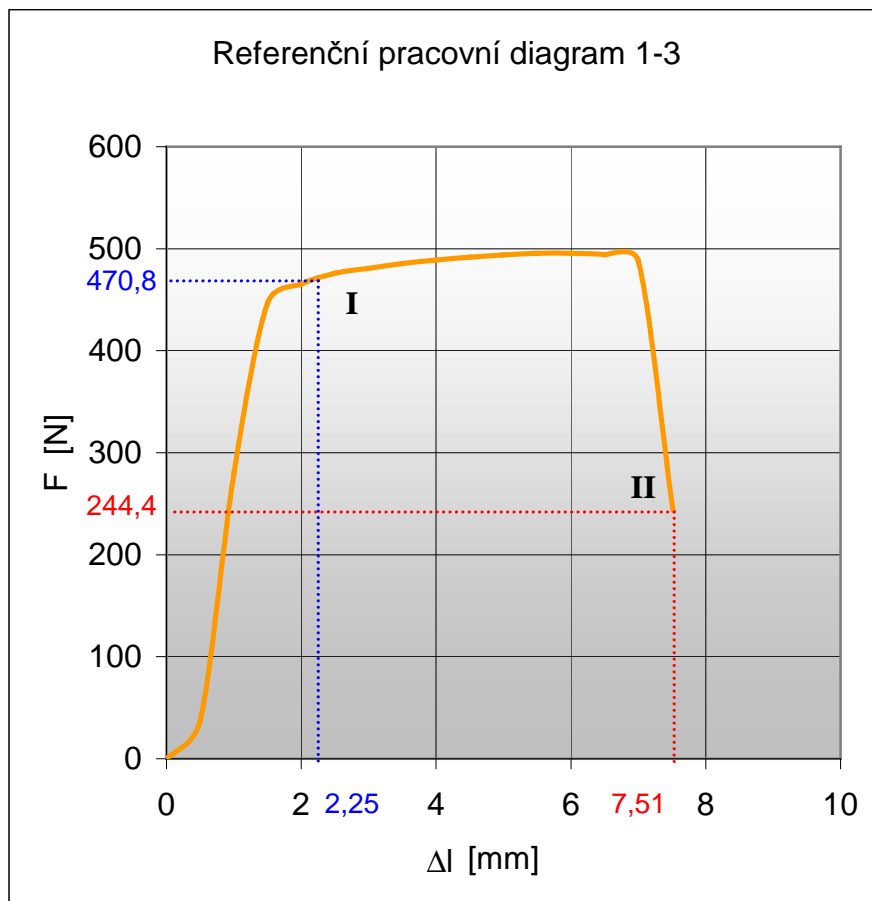
- $F_{porucha}$ 185,8 N
- $\Delta l_{porucha}$ 28,00 mm
- $A_{porucha}$ 48,28 %



Graf č. 2: Referenční pracovní diagram 1-2 (nopkovaný 0,5 mm; po směru válcování)

- F_{max} 453,7 N
- F_{95} 431,0 N
- Δl_{95} 15,07 mm
- A_{95} 25,98 %

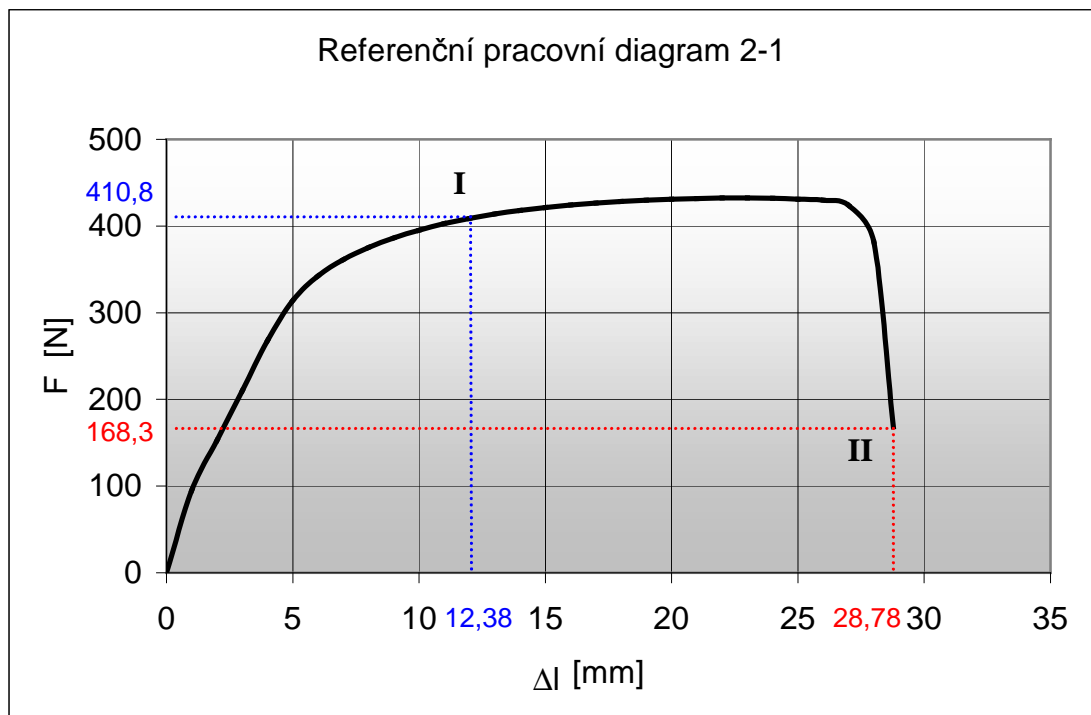
- $F_{porucha}$ 196,8 N
- $\Delta l_{porucha}$ 27,52 mm
- $A_{porucha}$ 47,45 %



Graf č. 3: Referenční pracovní diagram 1-3 (nopakovaný - stlačený 0,5 mm; po směru válcování)

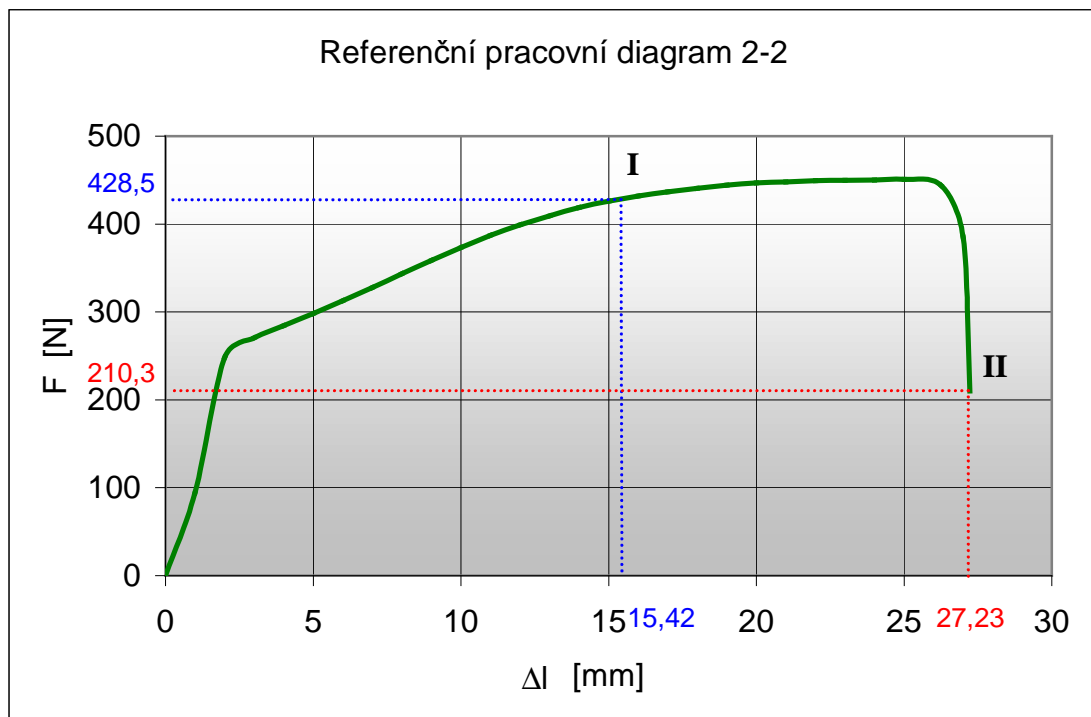
- F_{max} 495,6 N
- F_{95} 470,8 N
- Δl_{95} 2,25 mm
- A_{95} 3,88 %

- $F_{porucha}$ 244,4 N
- $\Delta l_{porucha}$ 7,51 mm
- $A_{porucha}$ 12,95 %



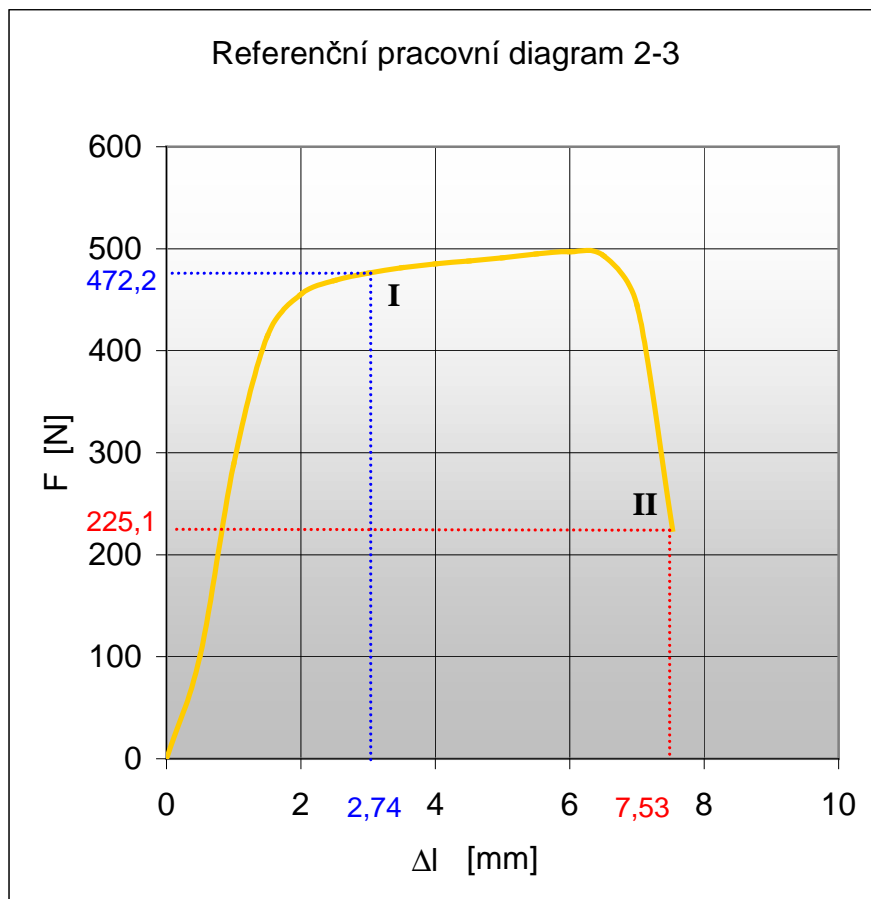
Graf č. 4: Referenční pracovní diagram 2-1 (hladký 0,5 mm; kolmo na směr válcování)

- F_{\max} 432,4 N
- F_{95} 410,8 N
- Δl_{95} 12,38 mm
- A_{95} 21,34 %
- F_{porucha} 168,3 N
- $\Delta l_{\text{porucha}}$ 28,78 mm
- A_{porucha} 49,62 %



Graf č. 5: Referenční pracovní diagram 2-2 (nopakovaný 0,5 mm; kolmo na směr válcování)

- F_{\max} 451,0 N
- F_{95} 428,5 N
- Δl_{95} 15,42 mm
- A_{95} 26,59 %
- F_{porucha} 210,3 N
- $\Delta l_{\text{porucha}}$ 27,23 mm
- A_{porucha} 46,95 %

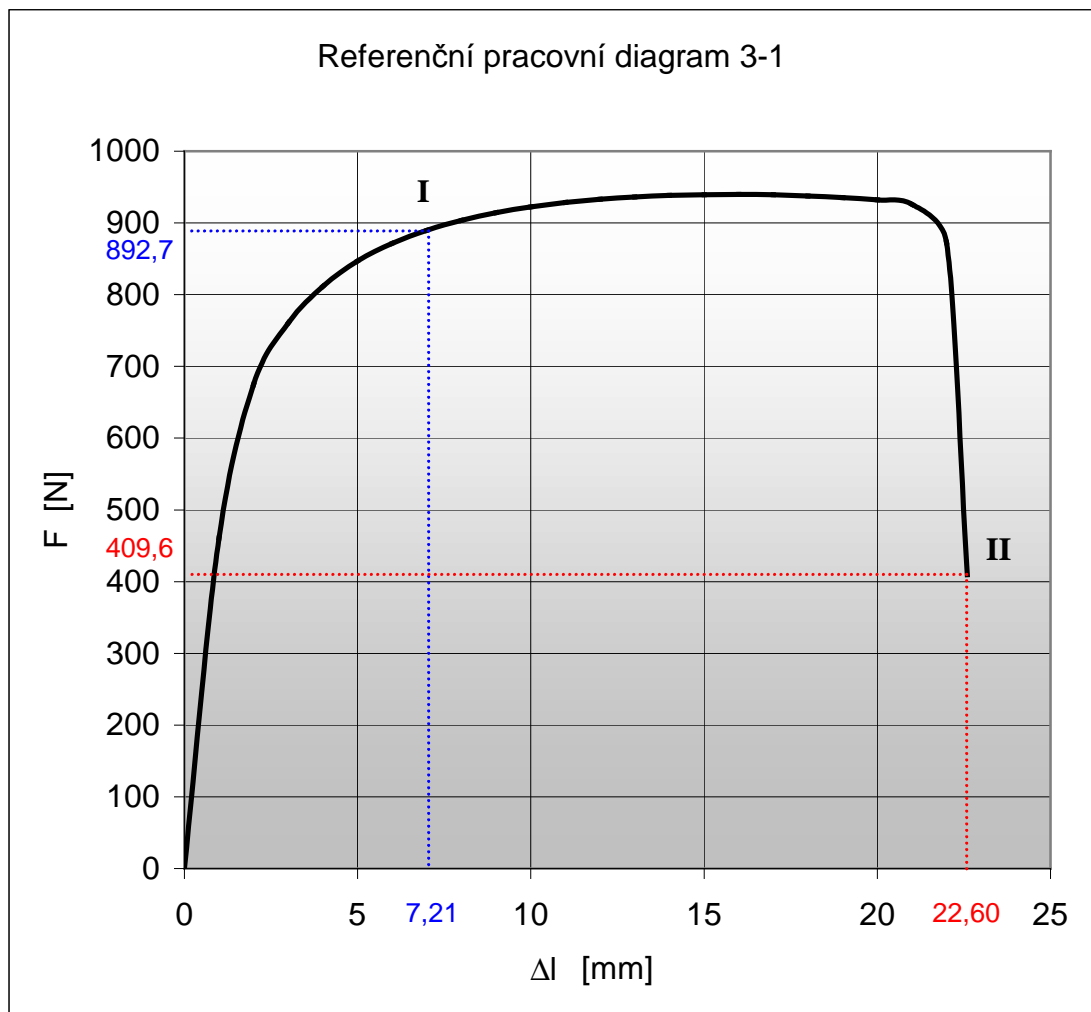


Graf č. 6: Referenční pracovní diagram 2-3 (nopakovaný - stlačený 0,5 mm; kolmo na směr válcování)

- F_{\max} 497,0 N

- F_{95} 472,2 N
- Δl_{95} 2,74 mm
- A_{95} 4,72 %

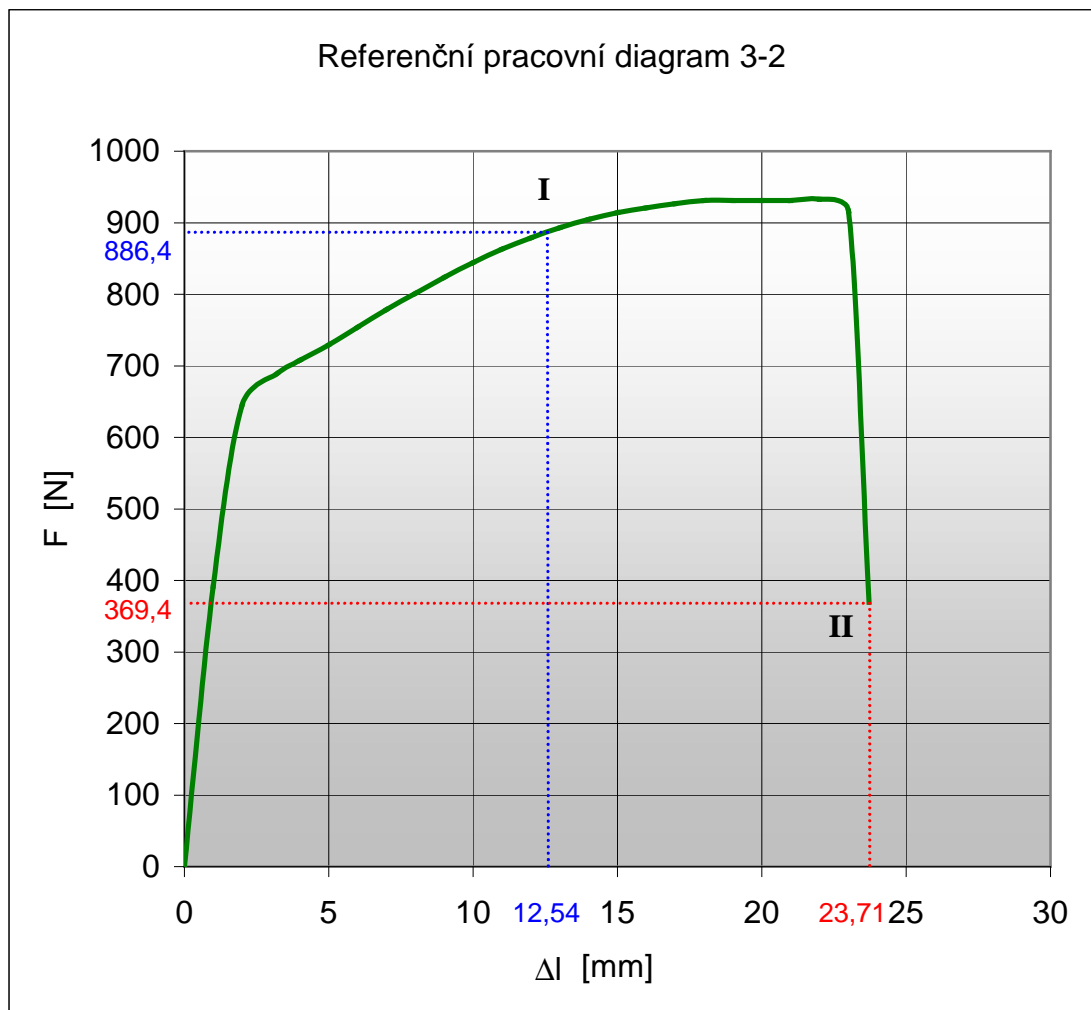
- F_{porucha} 225,1 N
- $\Delta l_{\text{porucha}}$ 7,53 mm
- A_{porucha} 12,98 %



Graf č. 7: Referenční pracovní diagram 3-1 (hladký 0,8 mm; po směru válcování)

- F_{max} 939,7 N
- F_{95} 892,7 N
- Δl_{95} 7,21 mm
- A_{95} 12,43 %

- $F_{porucha}$ 409,6 N
- $\Delta l_{porucha}$ 22,60 mm
- $A_{porucha}$ 38,97 %

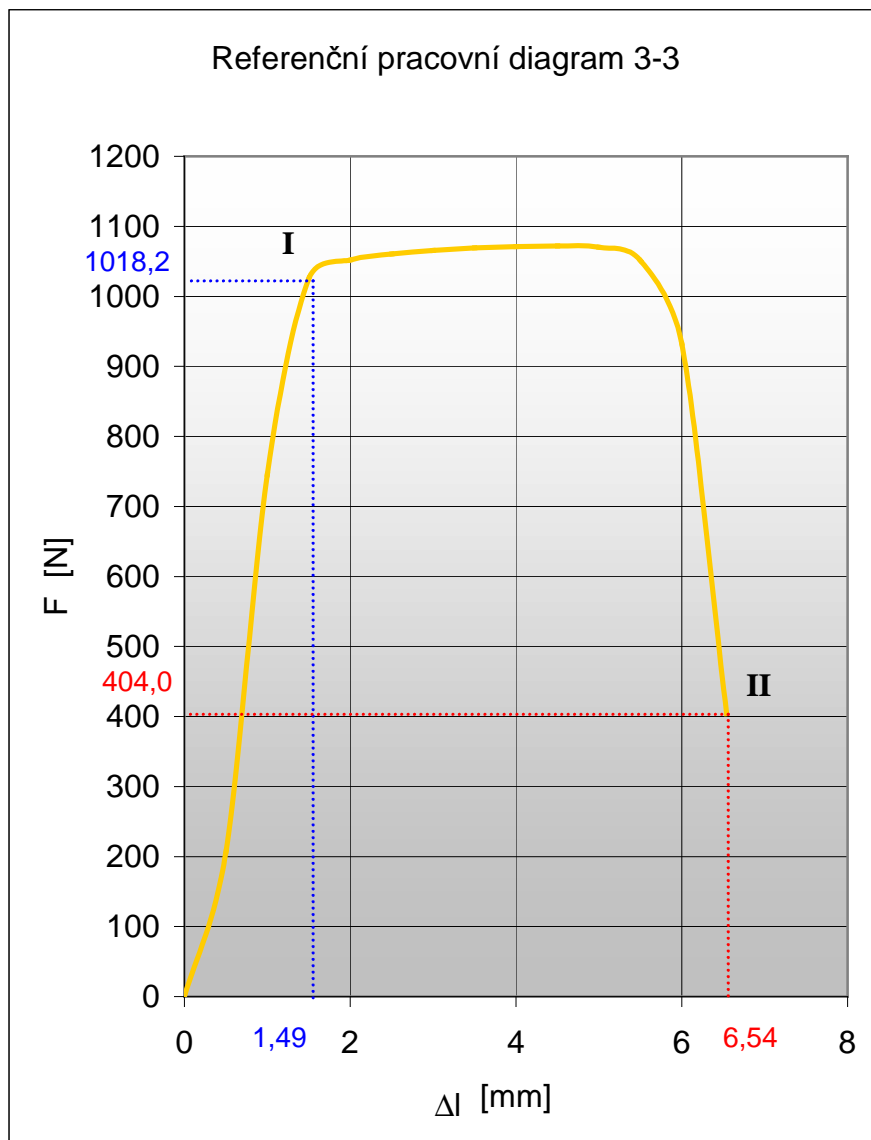


Graf č. 8: Referenční pracovní diagram 3-2 (nopkovaný 0,8 mm; po směru válcování)

- F_{\max} 933,0 N

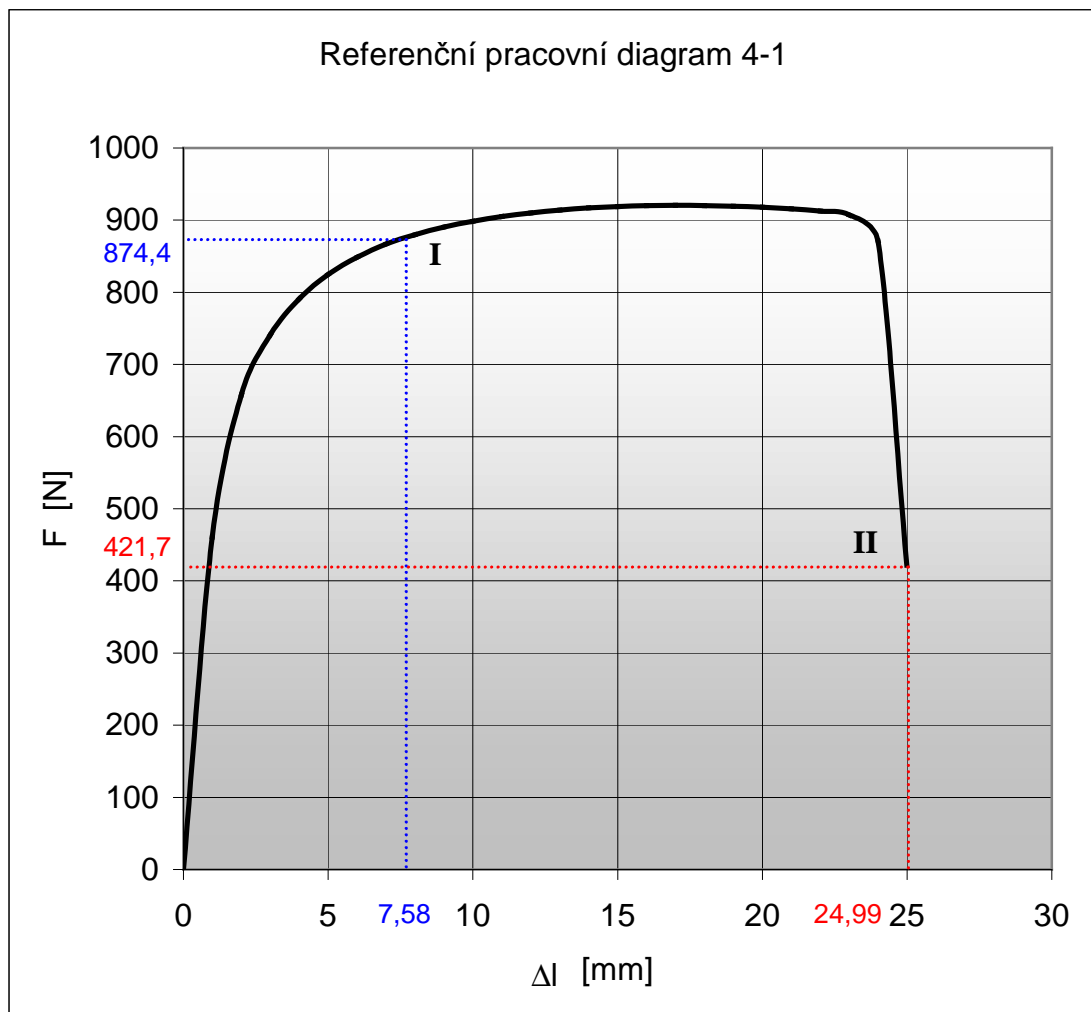
- F_{95} 886,4 N
- Δl_{95} 12,54 mm
- A_{95} 21,62 %

- F_{porucha} 369,4 N
- $\Delta l_{\text{porucha}}$ 23,71 mm
- A_{porucha} 40,88 %



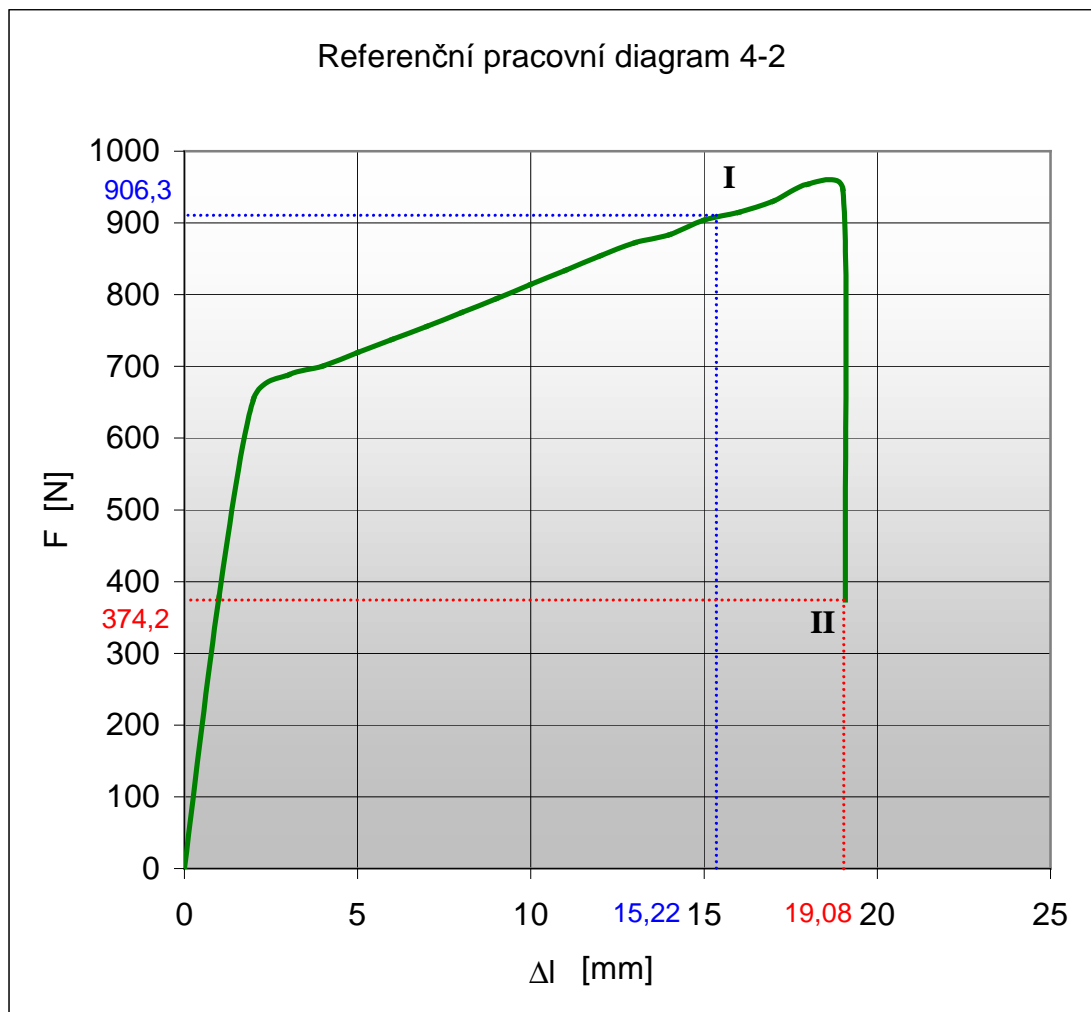
Graf č. 9: Referenční pracovní diagram 3-3 (nopkovaný – stlačený 0,8 mm; po směru válcování)

- F_{\max} 1071,8 N
- F_{95} 1018,2 N
- Δl_{95} 1,49 mm
- A_{95} 2,57 %
- F_{porucha} 404,0 N
- $\Delta l_{\text{porucha}}$ 6,54 mm
- A_{porucha} 11,28 %



Graf č. 10: Referenční pracovní diagram 4-1 (hladký 0,8 mm; kolmo na směr válcování)

- F_{\max} 920,4 N
- F_{95} 874,4 N
- Δl_{95} 7,58 mm
- A_{95} 13,07 %
- F_{porucha} 421,7 N
- $\Delta l_{\text{porucha}}$ 24,99 mm
- A_{porucha} 43,09 %

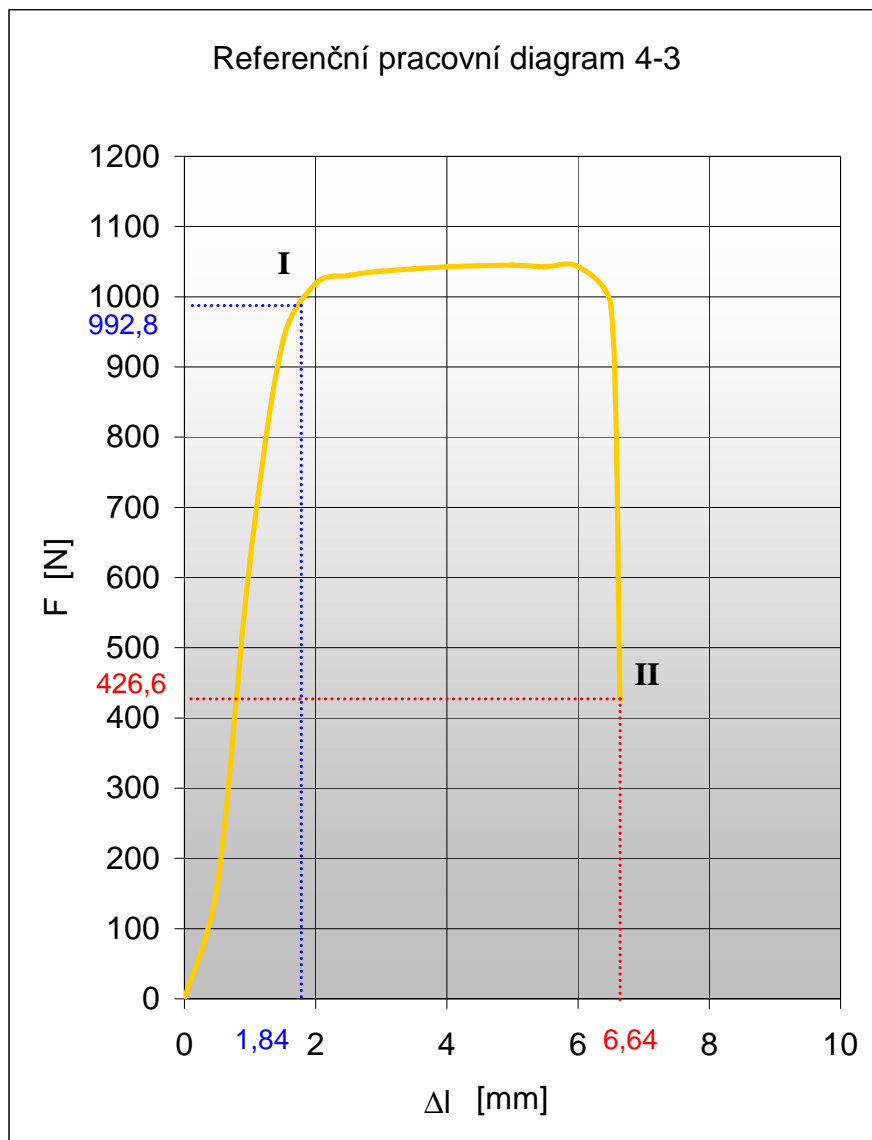


Graf č. 11: Referenční pracovní diagram 4-2 (nopkovaný 0,8 mm; kolmo na směr válcování)

- F_{\max} 954,0 N

- F_{95} 906,3 N
- Δl_{95} 15,22 mm
- A_{95} 26,24 %

- F_{porucha} 374,3 N
- $\Delta l_{\text{porucha}}$ 19,08 mm
- A_{porucha} 32,90 %



Graf č. 12: Referenční pracovní diagram 4-3 (nopakovaný - stlačený 0,8 mm; kolmo na směr válcování)

- F_{\max} 1045,1 N
- F_{95} 992,8 N
- Δl_{95} 1,84 mm
- A_{95} 3,17 %
- F_{porucha} 426,6 N
- $\Delta l_{\text{porucha}}$ 6,64 mm
- A_{porucha} 11,45 %

6.4 Vyhodnocení analýzy

	F_{\max} [N]	95 % (bod I)			Porucha (bod II)		
		F_{95} [N]	Δl_{95} [mm]	A_{95} [%]	F_{porucha} [N]	$\Delta l_{\text{porucha}}$ [mm]	A_{porucha} [%]
1-1	435,7	413,9	10,81	18,64	185,8	28,00	48,28
1-2	453,7	431,0	15,07	25,98	196,8	27,52	47,45
1-3	495,6	470,8	2,25	3,88	244,4	7,51	12,95
2-1	432,4	410,8	12,38	21,34	168,3	28,78	49,62
2-2	451,0	428,5	15,42	26,59	210,3	27,23	46,95
2-3	497,0	472,2	2,74	4,72	225,1	7,53	12,98
3-1	939,7	892,7	7,21	12,43	409,6	22,60	38,97
3-2	933,0	886,4	12,54	21,62	369,4	23,71	40,88
3-3	1071,8	1018,2	1,49	2,57	404,0	6,54	11,28
4-1	920,4	874,4	7,58	13,07	421,7	24,99	43,09
4-2	954,0	906,3	15,22	26,24	374,3	19,08	32,90
4-3	1045,1	992,8	1,84	3,17	426,6	6,64	11,45

Tabulka č. 1: Referenční pracovní diagramy – přehled hodnot

Z pohledu do tabulky č. 1 a porovnání v ní zapsaných hodnot mezi sebou, lze učinit několik důležitých závěrů. Při hodnocení materiálů jsem vycházela především z hodnot v levé části tabulky, neboť mají pro praktické využití větší význam (viz. kapitola 6.2.2)

- *Vliv orientace směru tažení vzhledem ke směru válcování*

Naměřené hodnoty prodloužení hovoří mírně ve prospěch materiálu taženého kolmo na směr válcování. S výjimkou hladkého plechu o tloušťce 0,5 mm (v tabulce č. 1 zvýrazněno zeleně) a nopkovaného plechu o tloušťce 0,8 mm (v tabulce č. 1 zvýrazněno žlutě) jsou rozdíly v tažnosti A_{95} pro navzájem kolmé směry tažení v rozmezí 1%. Ve všech případech je však

tažnost ve směru kolmém na směr válcování alespoň mírně lepší než ve směru rovnoběžném se směrem válcování.

- *Vliv nopkování*

Nopkovaný plech nemá oproti hladkému plechu lepší tažnost jak jsem původně očekával. Pokud bychom namáhali hladký a nopkovaný plech až do vzniku poruchy, tak bychom zjistili, že má naopak tažnost horší. Výjimku opět tvoří nopkovaný plech o tloušťce 0,8 mm tažený rovnoběžně se směrem válcování (v tabulce č. 1 zvýrazněno světle modře). Pro použití nopkovaného plechu však hovoří výhodnější průběh pracovního diagramu. Díky tomu je umožněna při síle F_{95} daleko větší deformace než v případě hladkého plechu. Kromě toho má nopkovaný plech mnohem větší tuhost než plech hladký, což se jeví jako výhoda pro stabilitu výlisků. Oproti hladkému plechu je F_{max} u nopkovaného plechu zpravidla větší, výjimku opět tvoří nopkovaný plech o tloušťce 0,8 mm tažený rovnoběžně se směrem válcování (v tabulce č. 1 zvýrazněno růžově).

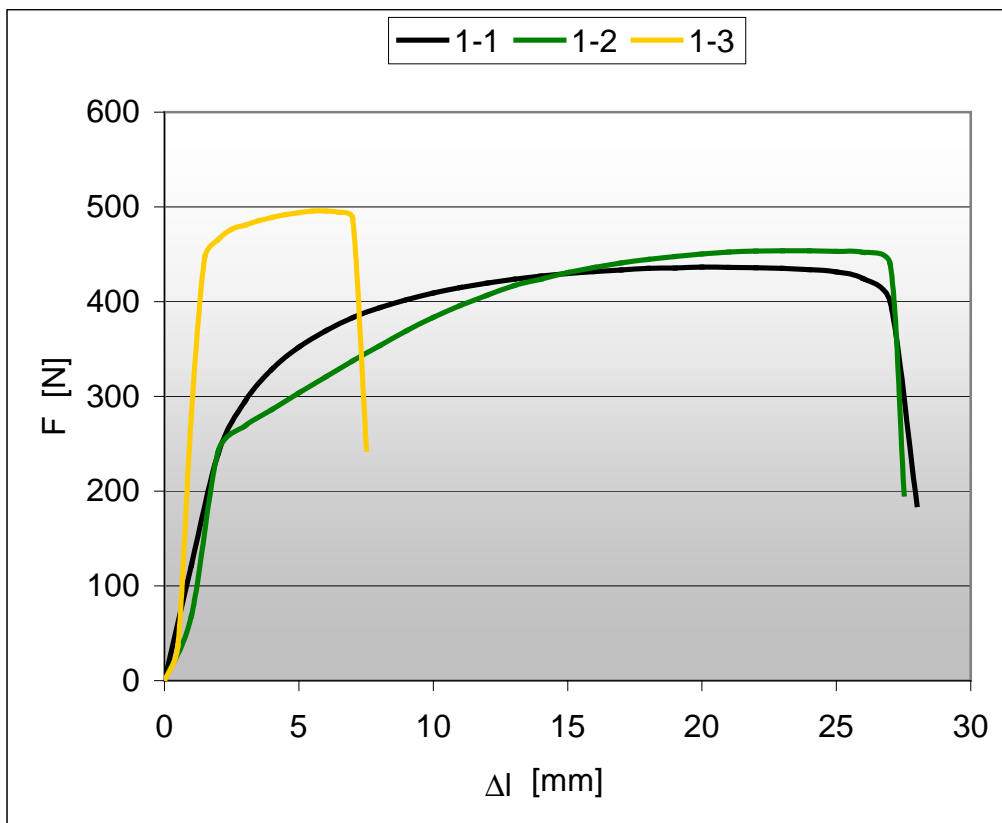
- *Vliv stlačení*

Stlačením nopků se z plechu, (bez ohledu na jeho tloušťku), stává naprosto nevhodný materiál pro tažení, protože prakticky okamžitě dochází ke vzniku poruchy (viz. Tabulka č. 1). Při stlačení nopků je vyčerpána většina zbylé pružnoplastické únosnosti materiálu, který doslova „ztvrdne“. Oproti nopkovaným plechům, je u nopkovaných stlačených plechů, F_{max} opět o něco vyšší.

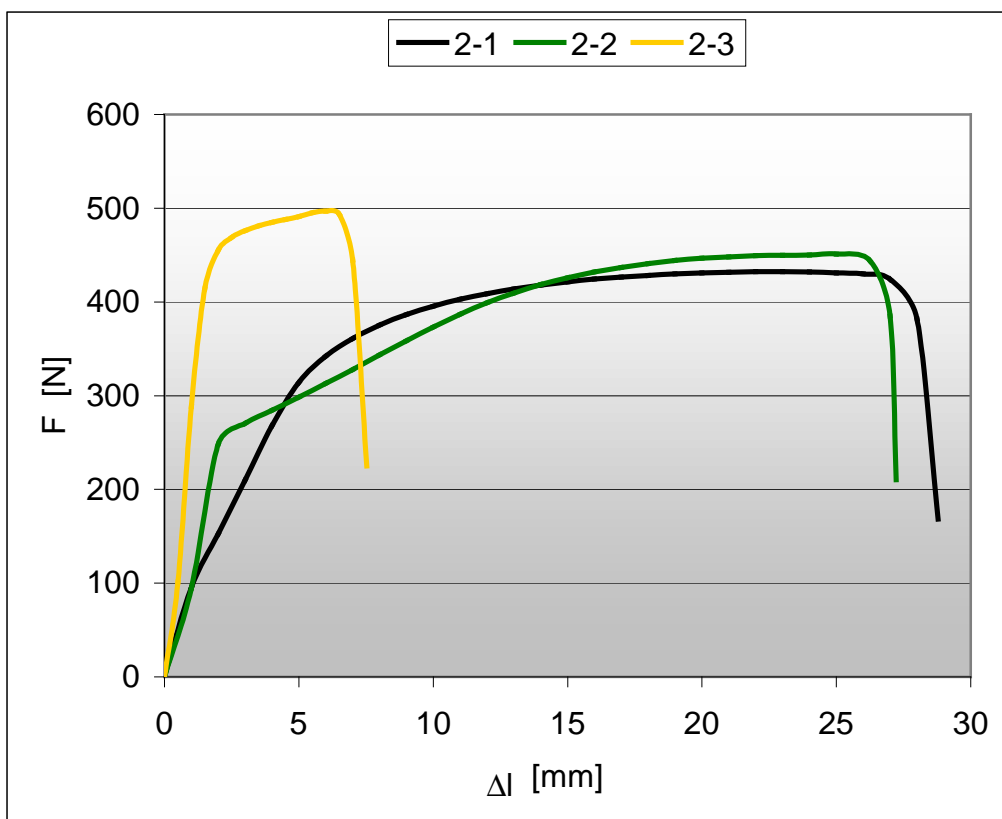
- *Vliv tloušťky*

Větší tloušťka plechů má ve všech případech, bez výjimky, za následek zhoršení jejich tažnosti. Zároveň se vzrůstající tloušťkou plechů roste síla F_{max} .

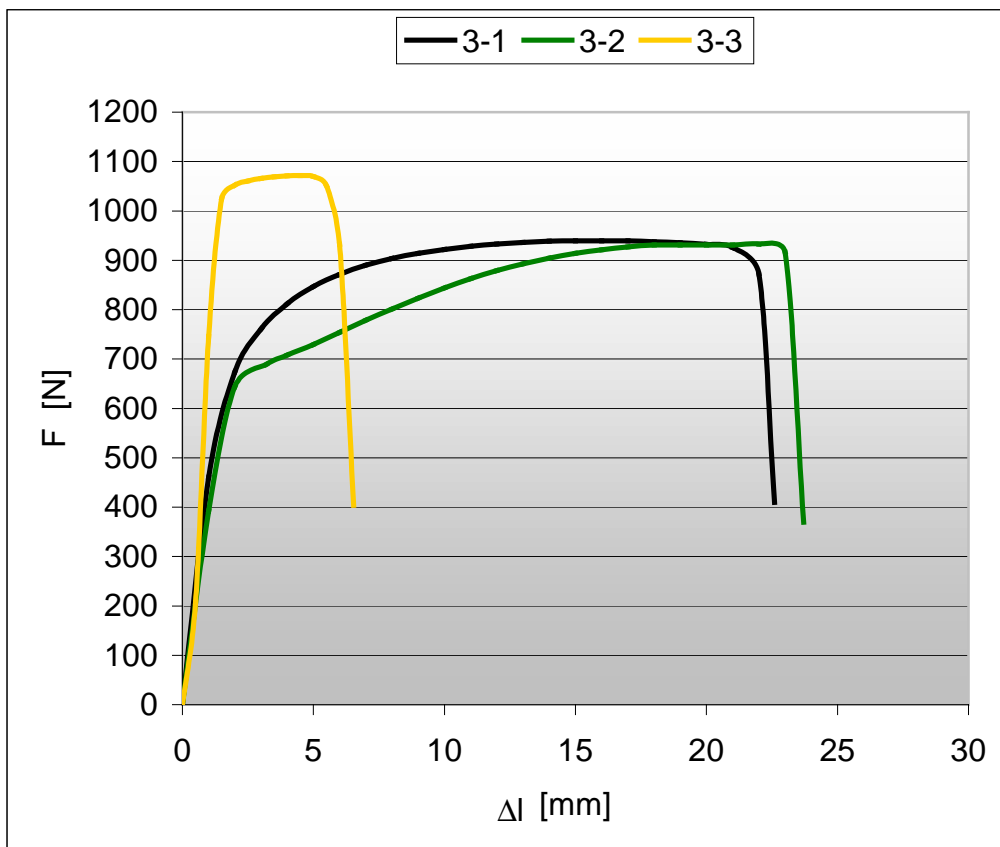
V následujících grafech č. 13 až 19 je možné vzájemné vizuální porovnání jednotlivých pracovních diagramů.



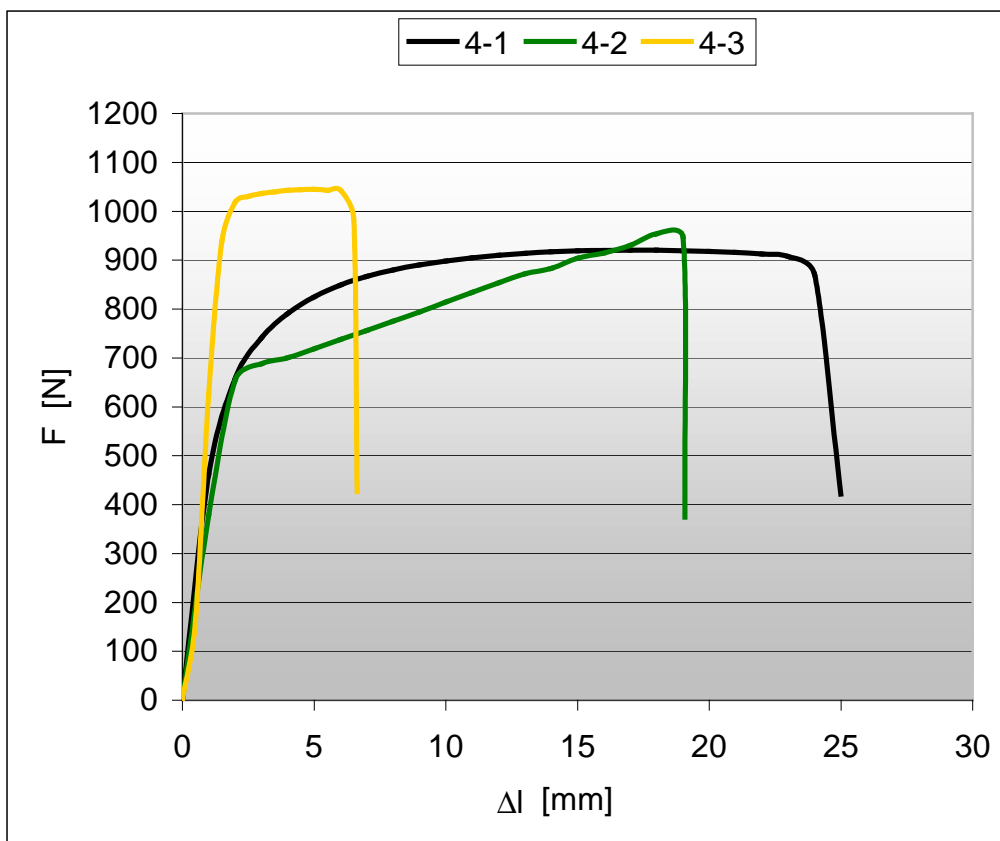
Graf č. 13: Referenční pracovní diagramy (0,5 mm; po směru válcování)



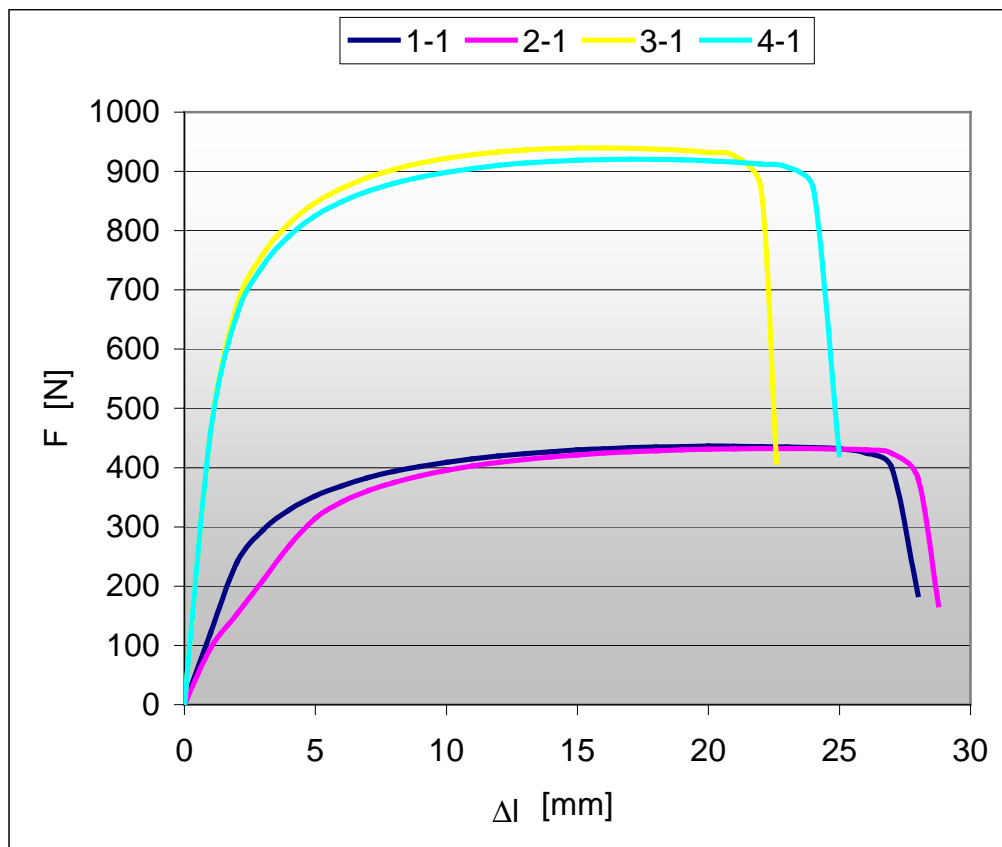
Graf č. 14: Referenční pracovní diagramy (0,5 mm; kolmo na směr válcování)



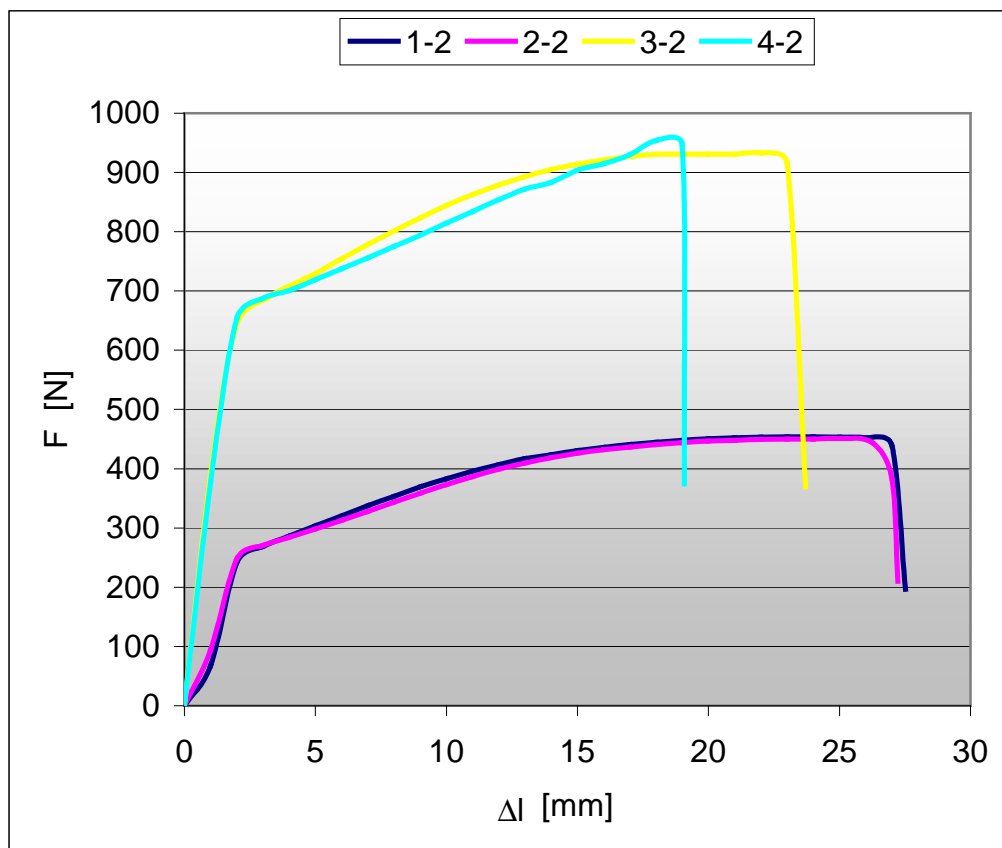
Graf č. 15: Referenční pracovní diagramy (0,8 mm; po směru válcování)



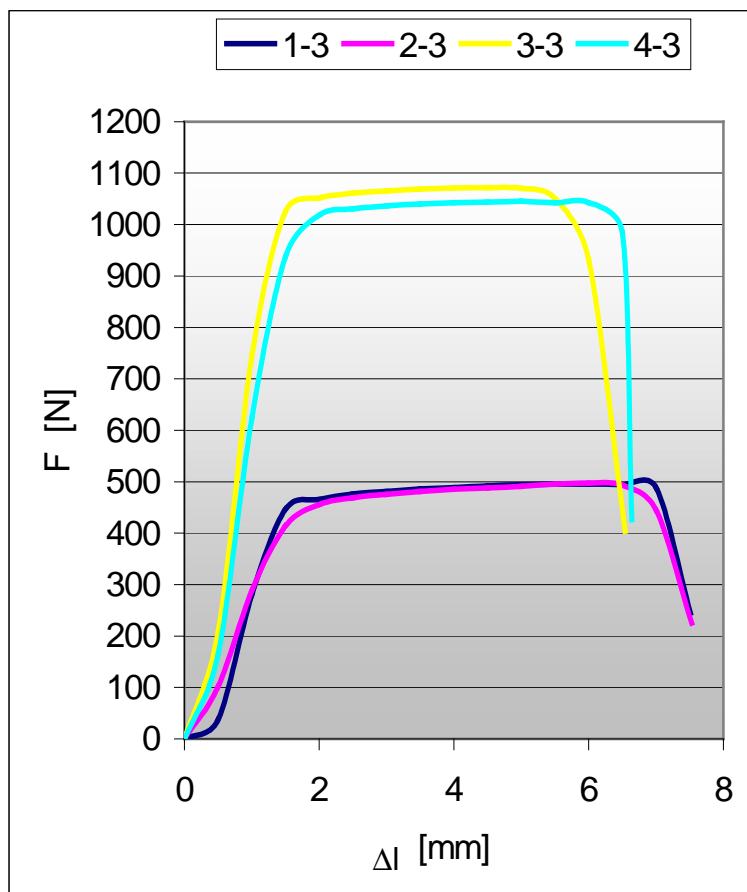
Graf č. 16: Referenční pracovní diagramy (0,8 mm; kolmo na směr válcování)



Graf č. 17: Referenční pracovní diagramy (hladké plechy)



Graf č. 18: Referenční pracovní diagramy (nopakované plechy)



Graf č. 19: Referenční pracovní diagramy (nopakované stlačené plechy)

Výsledky analýzy lze, dle mého názoru, ve většině případů považovat za věrohodné a lze se o ně opřít při odvozování vztahů (viz. Kapitola 7). Jedinou výjimkou, kde se naměřené hodnoty poněkud vymykají, je skupina 3-2 (nopakovaný plech o tloušťce 0,8 mm tažený rovnoběžně se směrem válcování). Pro potvrzení či vyvrácení výsledků by bylo potřeba měření skupiny 3-2 zopakovat. V následující části diplomové práce však s těmito výsledky budu dál pracovat.

7 Odvození vztahů

Na základě naměřených dat lze za určitých předpokladů odvodit vztahy, které mohou pomoci při řešení základních problémů při volbě materiálu a jeho orientace v nástroji při lisování tepelných štítů. Pomocí vztahů odvozených v této kapitole lze:

- stanovit tažnost pro libovolnou tloušťku a druh plechu
- stanovit tažnost pro libovolnou vzájemnou orientaci směru válcování plechu a směru jeho tažení

Vzhledem ke snaze využívat vlastnosti materiálu v bezpečné oblasti pracovního diagramu (do bodu I), jsou následující výpočty provedeny pouze v tomto bodě a výsledky (hodnoty A_{95}) jsou považovány za maximální.

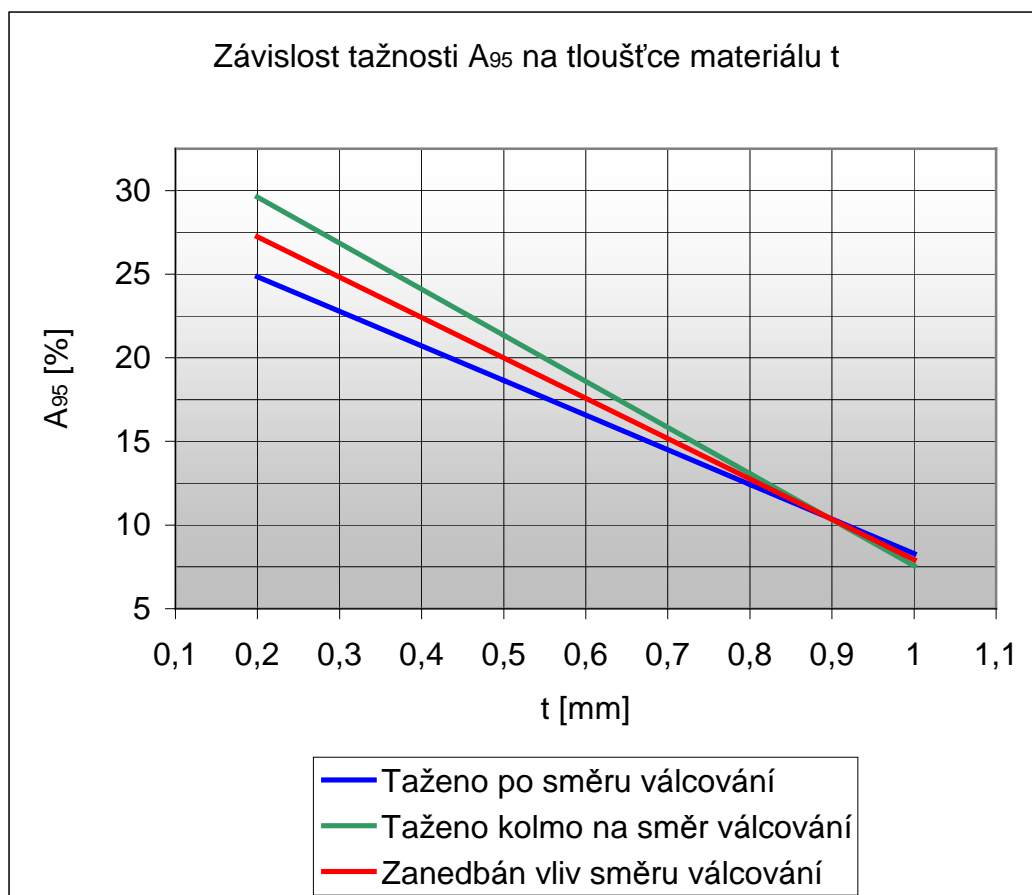
7.1 Stanovení tažnosti pro libovolnou tloušťku a druh plechu

Při výrobě tepelných štítů jsou používány plechy o tloušťce od 0,2 mm do 1,0 mm. Pro libovolnou hodnotu tloušťky z tohoto intervalu je potřeba zjistit jí odpovídající tažnost A_{95} . Předpokladem pro jednoduché řešení následující problematiky je, že tažnost se na zkoumaném intervalu tloušťky mění nepřímou úměrně s rostoucí tloušťkou plechu. Vzhledem k poměrně úzkému intervalu, na kterém je tažnost A_{95} zkoumána, nepředpokládám žádné výrazné výkyvy ve vlastnostech hliníkového plechu a dovolím si tedy použít lineární závislost:

$$y = ax + b \quad (10)$$

Pro sestavení lineární rovnice (10) musíme znát alespoň dva body přímky, kterou daná rovnice popisuje. Těmito body jsou hodnoty tažnosti A_{95} , téhož druhu materiálu, nejprve pro tloušťku plechu 0,5 mm a poté pro tloušťku 0,8 mm (viz. tabulka č. 1). Stanovení koeficientů a, b lineární rovnice (10) bylo provedeno pomocí programu Microsoft Excel. Po zadání bodů stanovených na základě tabulky č. 1 a vynesení do grafu, byla pomocí funkce *Přidat spojnicí trendu...* vygenerována hledaná rovnice. Pomocí této rovnice byly dopočítány hodnoty tažnosti A_{95} v krajních bodech zkoumaného intervalu (0,2 mm a

1,0 mm). V každém, z následujících tří grafů (č. 20 až 22), jsou vedle sebe vyneseny závislosti pro daný materiál při tažení v podélném směru vzhledem ke směru válcování a při tažení v kolmém směru vzhledem ke směru válcování. Dále jsou tyto dvě přímky proloženy třetí přímkou, která je jejich průměrem. Tato třetí přímka vyjadřuje závislost tažnosti A_{95} na tloušťce plechu při zanedbání vlivu směru válcování a může sloužit pro rychlé či přibližné výpočty.



Graf č. 20: Závislost tažnosti A_{95} na tloušťce materiálu t – hladké plechy

Vstup [t ; A_{95}] (viz. tabulka č. 1):

- [0,5 ; 18,64]
- [0,5 ; 21,34]
- [0,8 ; 12,43]
- [0,8 ; 13,07]

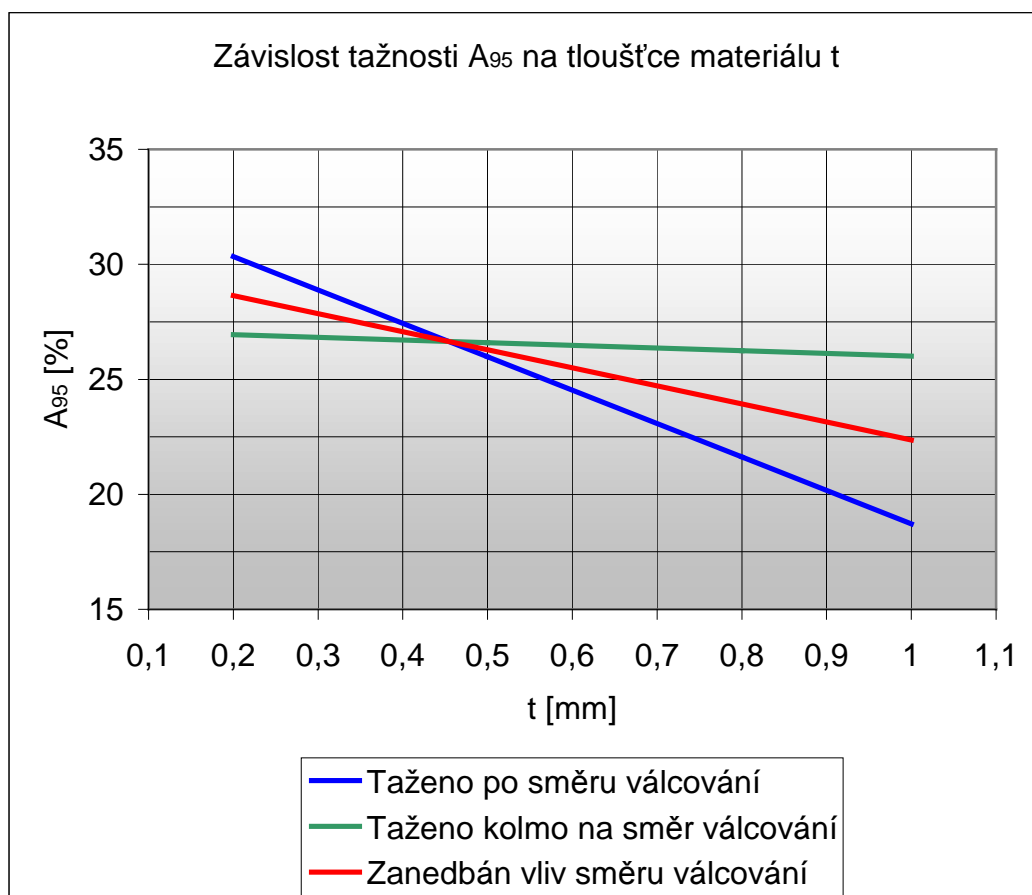
Výstup - lineární rovnice ve tvaru $y = ax + b$, vygenerovaném pomocí programu

Microsoft Excel:

- $y = -20,7 x + 28,99$
- $y = -27,567 x + 35,123$
- $y = -24,134 x + 32,057$

Výstup - po přepisu do požadovaného tvaru a souřadnic a po zaokrouhlení koeficientů:

- $A_{95} = 29,0 - 20,7 t$
- $A_{95} = 35,1 - 27,6 t$
- $A_{95} = 32,1 - 24,1 t$



Graf č. 21: Závislost tažnosti A_{95} na tloušťce materiálu t – nopkované plechy

Vstup [t ; A_{95}] (viz. tabulka č. 1):

- [0,5 ; 25,98]
- [0,8 ; 21,62]
- [0,5 ; 26,59]
- [0,8 ; 26,24]

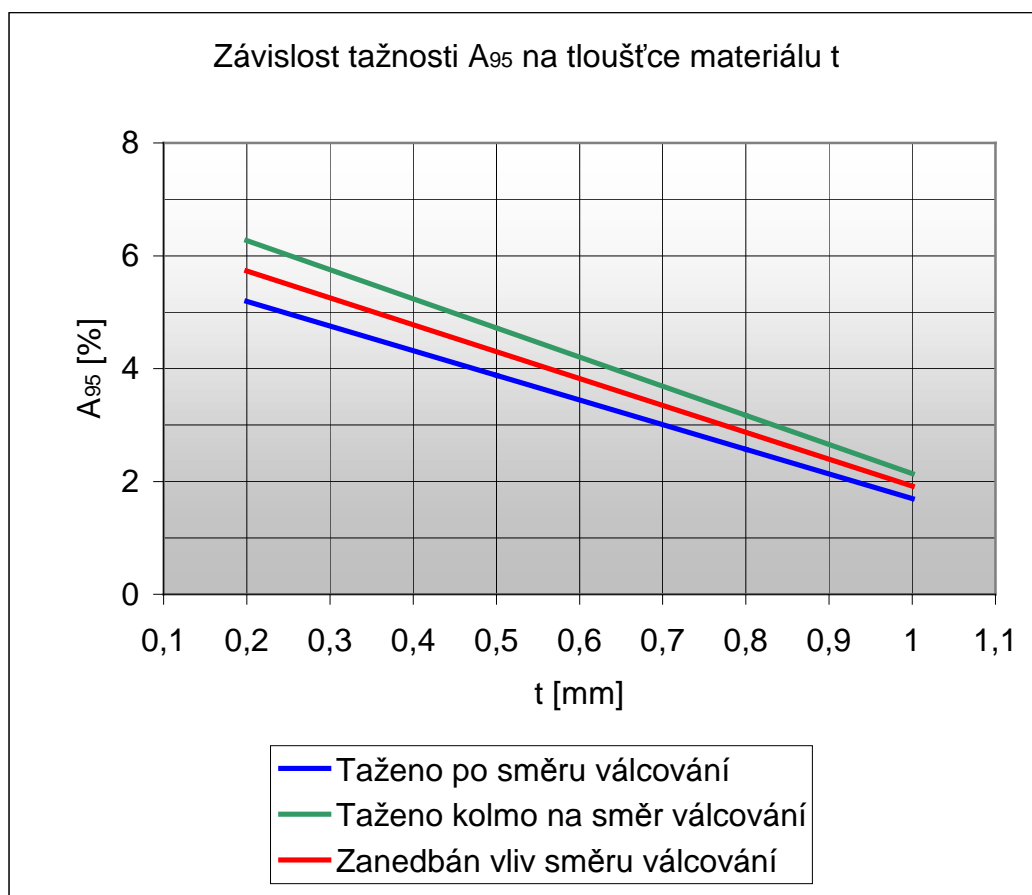
Výstup - lineární rovnice ve tvaru $y = ax + b$, vygenerovaném pomocí programu

Microsoft Excel:

- $y = - 14,533 x + 33,247$
- $y = - 1,1667 x + 27,173$
- $y = - 7,8499 x + 30,21$

Výstup - po přepisu do požadovaného tvaru a souřadnic a po zaokrouhlení koeficientů:

- $A_{95} = 33,2 - 14,5 t$
- $A_{95} = 27,2 - 1,2 t$
- $A_{95} = 30,2 - 7,8 t$



Graf č. 22: Závislost tažnosti A_{95} na tloušťce materiálu t – nopkované stlačené plechy

Vstup [t ; A_{95}] (viz. tabulka č. 1):

- [0,5 ; 3,88]
- [0,8 ; 2,57]
- [0,5 ; 4,72]
- [0,8 ; 3,17]

Výstup - lineární rovnice ve tvaru $y = ax + b$, vygenerovaném pomocí programu

Microsoft Excel:

- $y = - 4,3667 x + 6,0633$
- $y = - 5,1667 x + 7,3033$
- $y = - 4,7667 x + 6,6833$

Výstup - po přepisu do požadovaného tvaru a souřadnic a po zaokrouhlení koeficientů:

- $A_{95} = 6,1 - 4,4 \text{ t}$
- $A_{95} = 7,3 - 5,2 \text{ t}$
- $A_{95} = 6,7 - 4,8 \text{ t}$

V následující tabulce jsou přehledně shrnuty veškeré vztahy týkající se výpočtu tažnosti A_{95} pro libovolnou tloušťku použitého plechu. Platnost vztahů je omezena pouze pro plechy o tloušťkách od 0,2 mm do 1 mm.

	Hladký plech	Nopkovaný plech	Nopkovaný stlačený plech
Taženo po směru válcování	$A_{95} = 29,0 - 20,7 \text{ t}$	$A_{95} = 33,2 - 14,5 \text{ t}$	$A_{95} = 6,1 - 4,4 \text{ t}$
Taženo kolmo na směr válcování	$A_{95} = 35,1 - 27,6 \text{ t}$	$A_{95} = 27,2 - 1,2 \text{ t}$	$A_{95} = 7,3 - 5,2 \text{ t}$
Zanedbán vliv směru válcování	$A_{95} = 32,1 - 24,1 \text{ t}$	$A_{95} = 30,2 - 7,8 \text{ t}$	$A_{95} = 6,7 - 4,8 \text{ t}$

Tabulka č. 2: Souhrn vztahů mezi tažnostmi různých modifikací hliníkových plechů a jejich tloušťkou

Pro odvození vztahů (viz. Tabulka č. 2) bylo jako výchozího předpokladu použito lineární závislosti mezi tažnostmi A_{95} hliníkových plechů a jejich tloušťkou t . Vzhledem k tomu, že se jedná o nepodloženou domněnku, je nutné, před prohlášením vztahů za platné, provést doplňující tahové zkoušky plechů o jiných tloušťkách a tím výsledky verifikovat nebo zpochybnit.

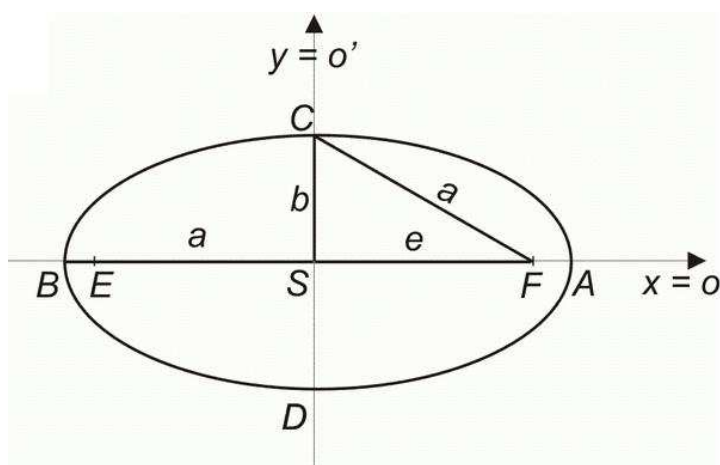
7.2 Stanovení tažnosti pro libovolnou orientaci směru válcování plechu vůči směru jeho tažení

Prakticky jen ve výjimečných případech dochází při tažení plechu v lisovacím nástroji k jeho namáhání ve směrech, ve kterých byly provedeny tahové zkoušky. Ve všech ostatních případech je plech tažen ve zcela obecném směru. Tento obecný směr může ležet někde v intervalu od 0° do 90°

(respektive od 0 do $\pi/2$ [rad]), přičemž za nulový úhel je považován směr tažení kolmý na směr válcování a za pravý úhel je považován směr tažení rovnoběžný se směrem válcování.

Základní předpoklad pro určení tažnosti A_{95} v libovolném směru byl následující: Pokud by byla tažnost A_{95} v základních, navzájem kolmých, směrech stejná, pak by koncové body úseček, vyjadřujících velikosti tažnosti pro libovolné úhly, tvořily kružnici. V obecném případě však platí, že tažnosti A_{95} v základních, navzájem kolmých, směrech stejné nejsou. Koncové body úseček, vyjadřujících velikosti tažnosti pro libovolné úhly, pak budou tvořit elipsu (viz. Obrázek č. 24), pro kterou platí rovnice (středová rovnice elipsy):

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (11)$$



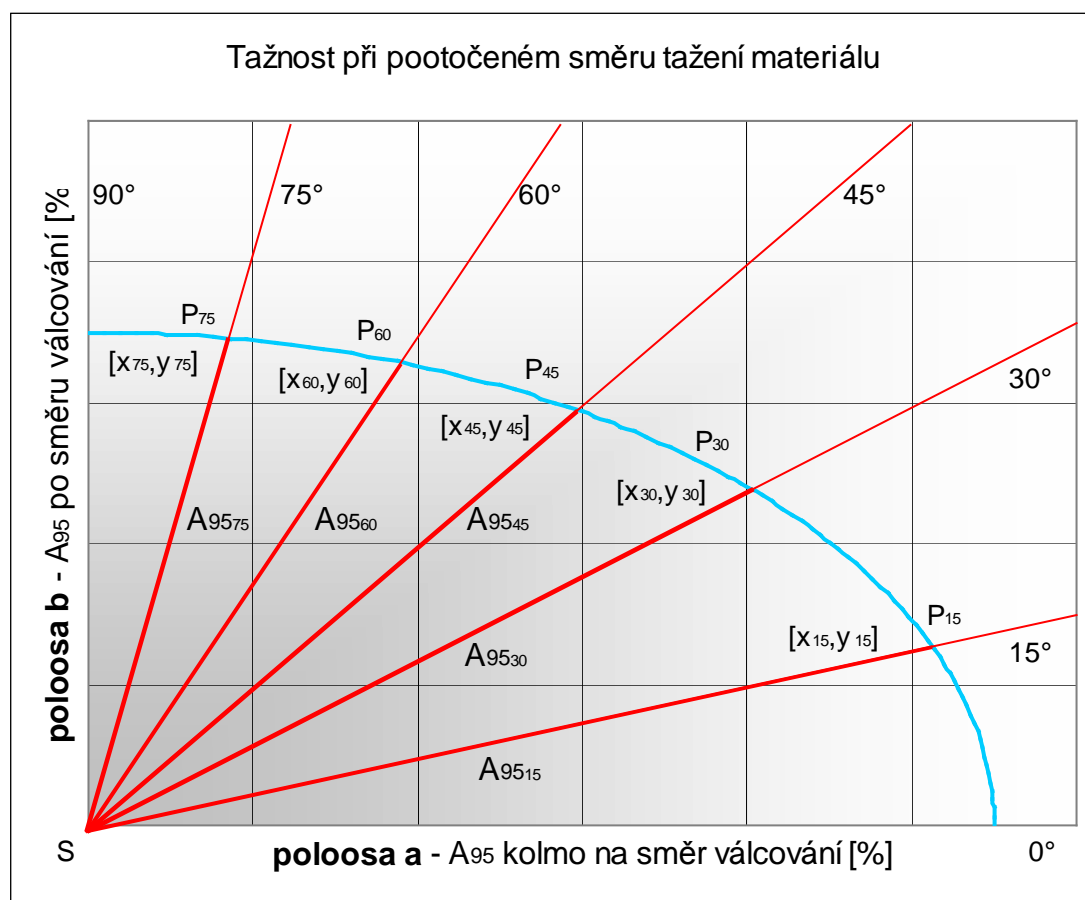
Obrázek č. 24: Elipsa

Pro určení souřadnic každého bodu elipsy, v závislosti na měnícím se úhlu průvodiče v intervalu od 0° do 90° , bylo využito znalosti parametrických rovnic elipsy.

$$x_\alpha = a \cdot \cos \alpha \quad (12)$$

$$y_\alpha = b \cdot \sin \alpha \quad (13)$$

Hodnoty koeficientů a, b jsou rovny tažnosti A_{95} v příslušných směrech. Pro snadnější pochopení poslouží následující graf č. 23, který je pouze ilustrační a nezobrazuje situaci v žádném konkrétním případě.



Graf č. 23: Princip stanovení tažnosti pro libovolnou vzájemnou orientaci směru vácování plechu a směru jeho tažení

V grafu jsou znázorněny průsečíky P_α elipsy s průvodiči skloněnými o základní hodnoty úhlu α . Souřadnice každého průsečíku P_α jsou $[x_\alpha, y_\alpha]$. Velikost tažnosti A_{95} pro libovolný úhel α je potom rovna délce příslušné úsečky $|SP_\alpha|$. Bod S je počátek souřadného systému a střed elipsy. Velikost tažnosti A_{95} pro libovolný úhel α lze tedy určit velmi jednoduše na základě znalosti Pythagorovy věty, jejíž vyjádření pro tento případ má tvar:

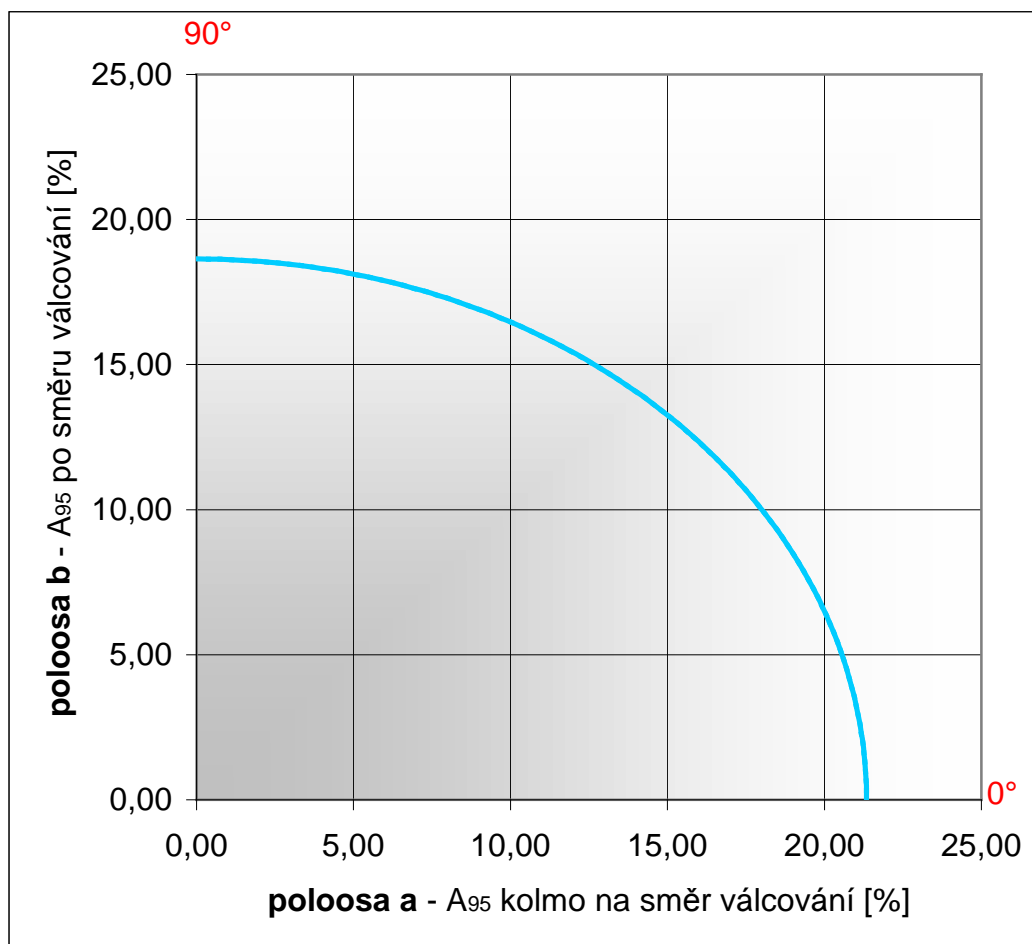
$$A_{95\alpha} = \sqrt{x_\alpha^2 + y_\alpha^2} \quad (14)$$

Dosazením vztahů (12) a (13) do vztahu (14) dostaneme výsledný vztah (15) pro výpočet tažnosti A_{95} pro libovolný úhel α v intervalu od 0° do 90° .

$$A_{95\alpha} = \sqrt{(a \cdot \cos \alpha)^2 + (b \cdot \sin \alpha)^2} \quad (15)$$

V následujících grafech č. 24 až 29 jsou znázorněny čtvrtelipsy odpovídající hodnotám zjištěným při zkouškách. Průvodiče zde již vykresleny nejsou, ale hodnoty tažnosti A_{95} pro daný materiál jsou pro každý graf tabelovány. Tabulace je provedena po 5° na intervalu od 0° do 90° . Hodnoty tažnosti $A_{95\alpha}$, pro jednotlivé úhly, byly vypočítány dosazením hodnot A_{95} v základních, navzájem kolmých, směrech, zjištěných při tažení daného materiálu (viz Tabulka č. 1), za koeficienty a, b do vztahu (15). Výpočet byl proveden pomocí programu Microsoft Excel.

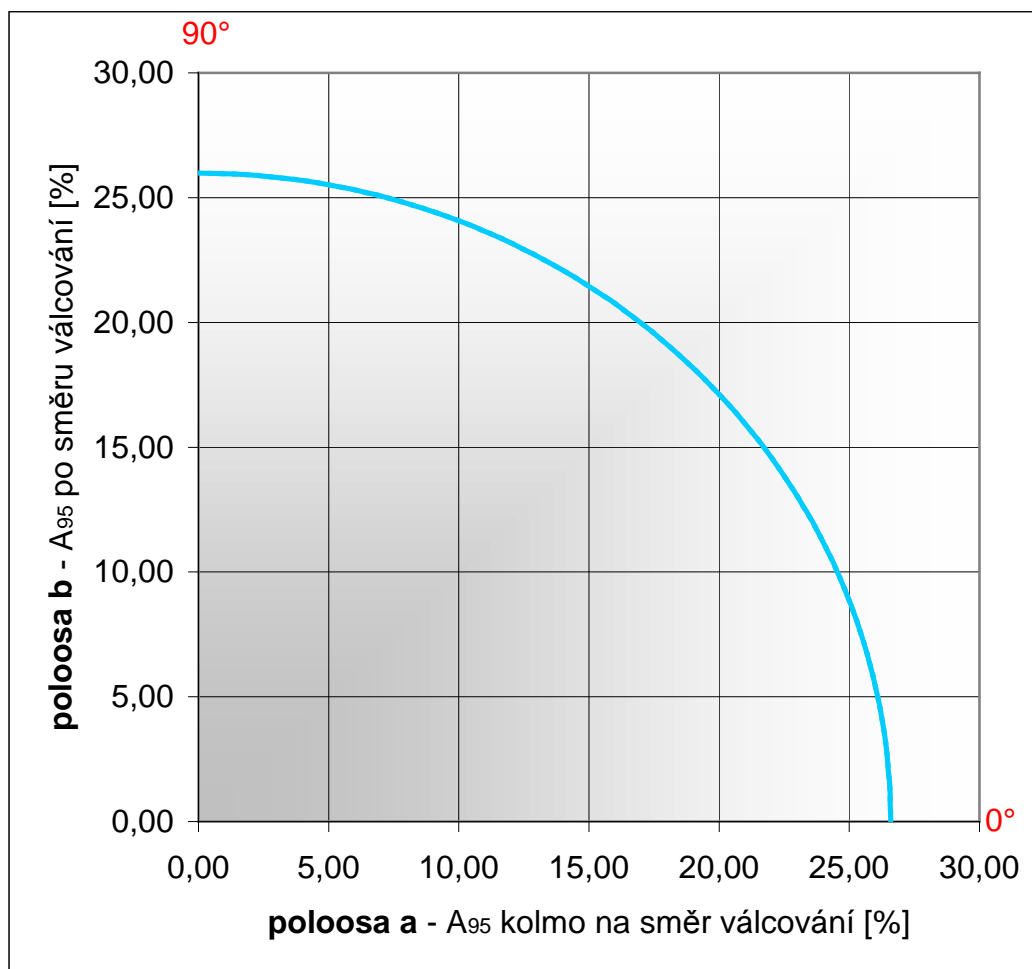
Podobně jako v případě výpočtu tažnosti A_{95} v závislosti na tloušťce materiálu je nutné i v tomto případě, pro verifikaci výsledků (viz. tabulka č. 3 – 8 a souhrnná tabulka č. 9), provést doplňující tahové zkoušky nebo je ověřit v praxi. Doplňující tahové zkoušky by mohly být provedeny na zkušebních tyčích, jejichž materiál bude mít směr válcování odkloněn od směru tažení o nějaký úhel, například 45° .



Graf č. 24: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, hladký

α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]	α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]
0	21,34	50	19,80
5	21,32	55	19,57
10	21,26	60	19,35
15	21,17	65	19,15
20	21,04	70	18,98
25	20,88	75	18,83
30	20,70	80	18,73
35	20,49	85	18,66
40	20,27	90	18,64
45	20,04		

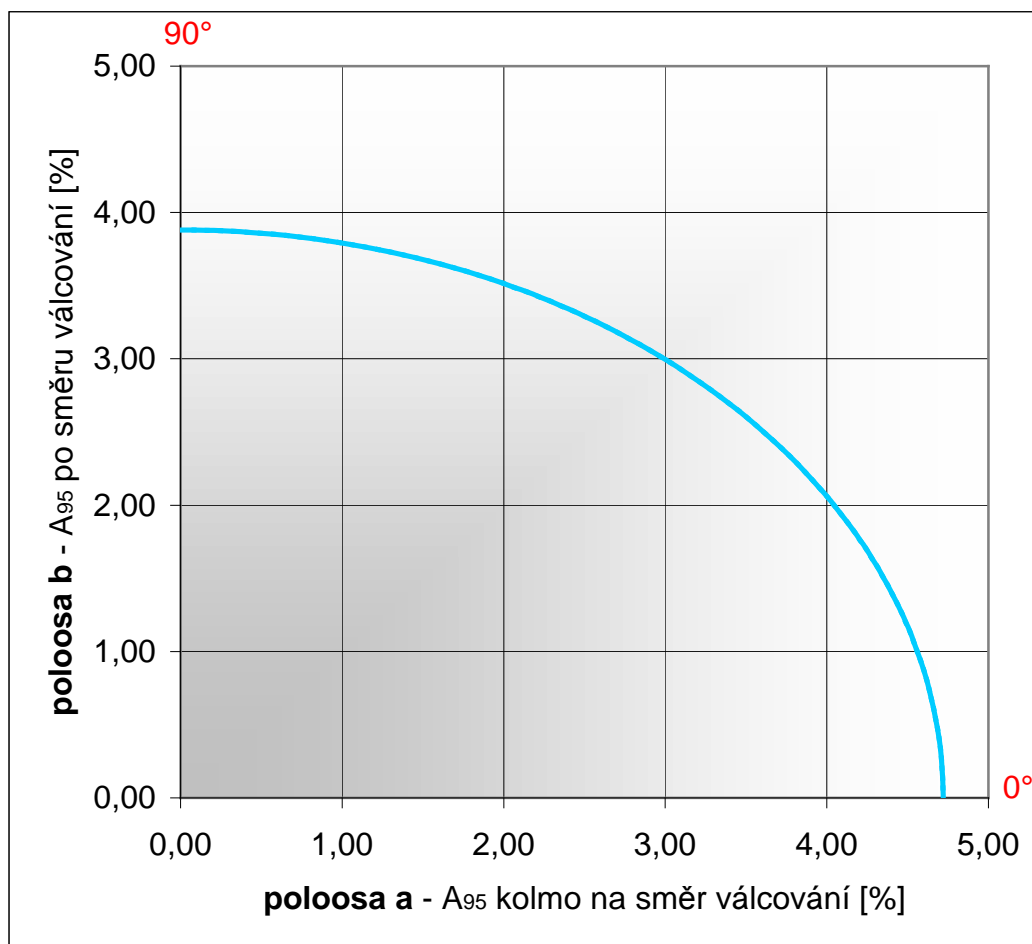
Tabulka č. 3: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, hladký



Graf č. 25: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, nopkovaný

α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]	α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]
0	26,59	50	26,23
5	26,59	55	26,18
10	26,58	60	26,13
15	26,56	65	26,09
20	26,53	70	26,05
25	26,50	75	26,02
30	26,46	80	26,00
35	26,39	85	25,98
40	26,34	90	25,98
45	26,29		

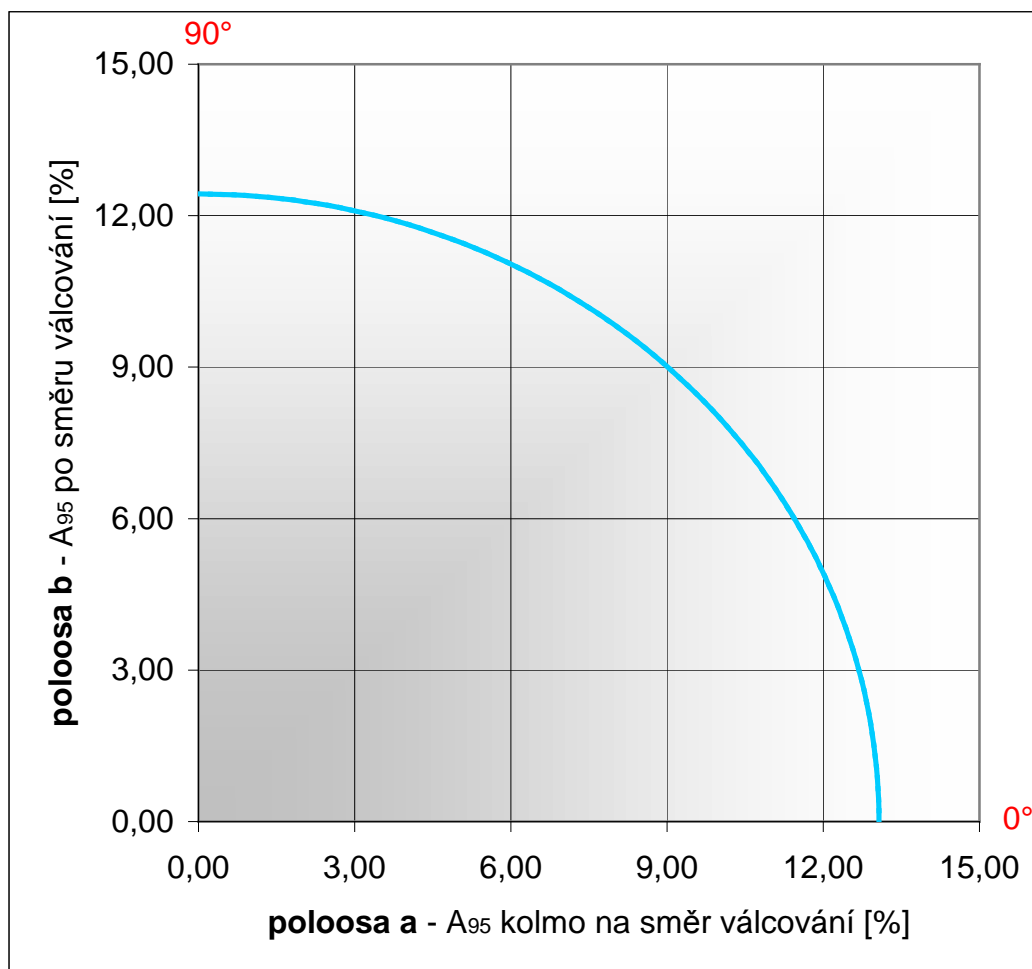
Tabulka č. 4: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, nopkovaný



Graf č. 26: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, nopkovaný stlačený

α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]	α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]
0	4,72	50	4,25
5	4,71	55	4,18
10	4,70	60	4,11
15	4,67	65	4,04
20	4,63	70	3,99
25	4,58	75	3,94
30	4,52	80	3,91
35	4,46	85	3,89
40	4,39	90	3,88
45	4,32		

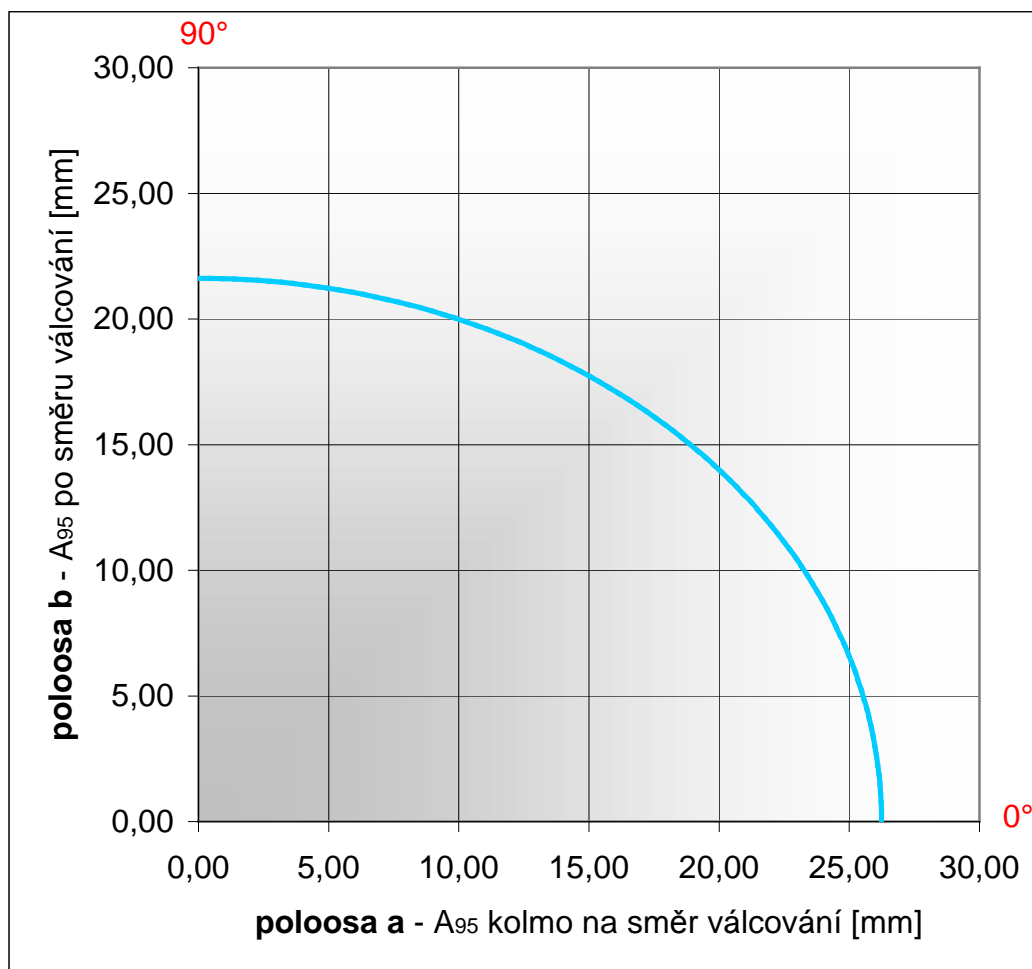
Tabulka č. 5: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, nopkovaný stlačený



Graf č. 27: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, hladký

α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]	α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]
0	13,07	50	12,70
5	13,07	55	12,64
10	13,05	60	12,59
15	13,03	65	12,55
20	13,00	70	12,51
25	12,96	75	12,47
30	12,91	80	12,45
35	12,86	85	12,43
40	12,81	90	12,43
45	12,75		

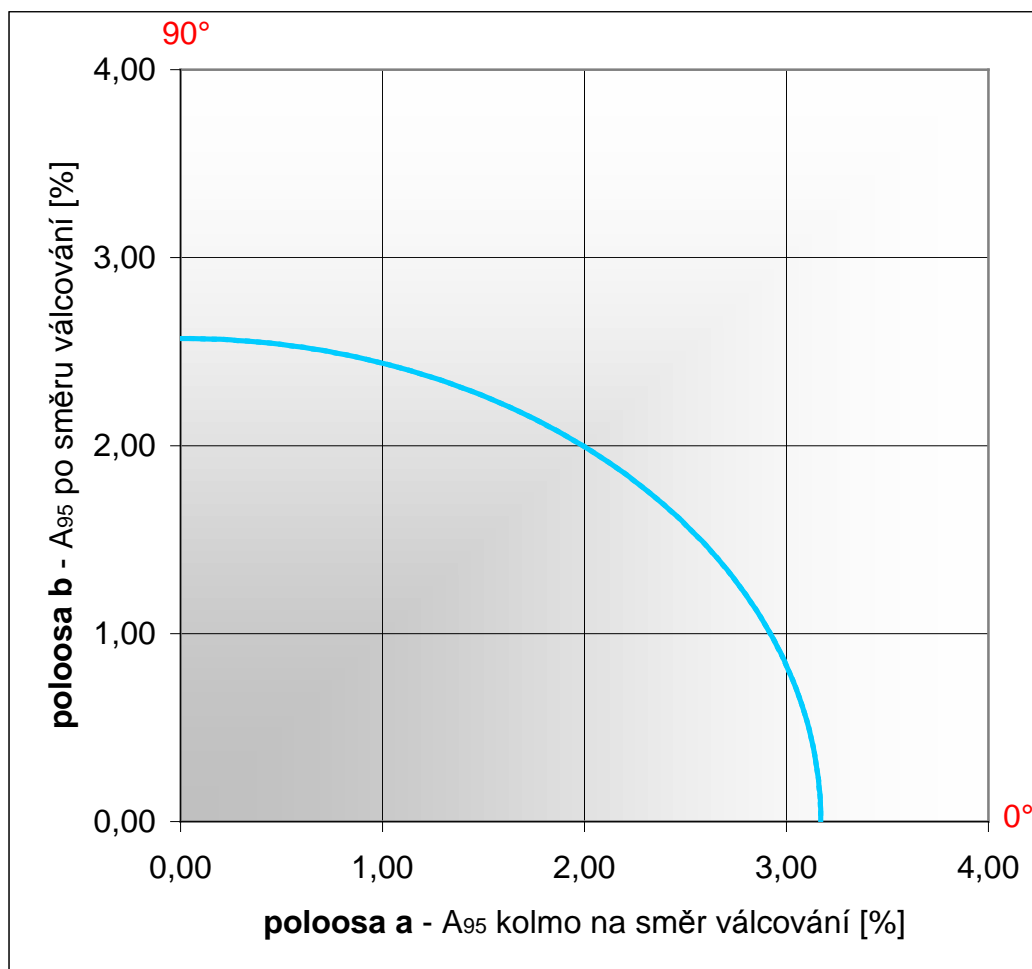
Tabulka č. 6: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, hladký



Graf č. 28: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, nopkovaný

α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]	α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]
0	26,24	50	23,64
5	26,21	55	23,24
10	26,11	60	22,86
15	25,96	65	22,51
20	25,74	70	22,21
25	25,48	75	21,96
30	25,16	80	21,77
35	24,82	85	21,66
40	24,44	90	21,62
45	24,04		

Tabulka č. 7: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, nopkovaný



Graf č. 29: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, nopakovaný stlačený

α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]	α [°]	$A_{95\alpha}$ [%]
0	3,17	50	2,83
5	3,17	55	2,78
10	3,15	60	2,73
15	3,13	65	2,69
20	3,11	70	2,65
25	3,07	75	2,61
30	3,03	80	2,59
35	2,99	85	2,58
40	2,94	90	2,57
45	2,89		

Tabulka č. 8: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, nopakovaný stlačený

α [°]	A95 α [%]					
	tloušťka plechu 0,5 mm			tloušťka plechu 0,8 mm		
	hladký	nopkovaný	nopkovaný stlačený	hladký	nopkovaný	nopkovaný stlačený
0	21,34	26,59	4,72	13,07	26,24	3,17
5	21,32	26,59	4,71	13,07	26,21	3,17
10	21,26	26,58	4,70	13,05	26,11	3,15
15	21,17	26,56	4,67	13,03	25,96	3,13
20	21,04	26,53	4,63	13,00	25,74	3,11
25	20,88	26,50	4,58	12,96	25,48	3,07
30	20,70	26,46	4,52	12,91	25,16	3,03
35	20,49	26,39	4,46	12,86	24,82	2,99
40	20,27	26,34	4,39	12,81	24,44	2,94
45	20,04	26,29	4,32	12,75	24,04	2,89
50	19,80	26,23	4,25	12,70	23,64	2,83
55	19,57	26,18	4,18	12,64	23,24	2,78
60	19,35	26,13	4,11	12,59	22,86	2,73
65	19,15	26,09	4,04	12,55	22,51	2,69
70	18,98	26,05	3,99	12,51	22,21	2,65
75	18,83	26,02	3,94	12,47	21,96	2,61
80	18,73	26,00	3,91	12,45	21,77	2,59
85	18,66	25,98	3,89	12,43	21,66	2,58
90	18,64	25,98	3,88	12,43	21,62	2,57

Tabulka č. 9: Změna tažnosti A₉₅ v závislosti na směru tažení – souhrn pro všechny druhy materiálu základních tloušťek

8 Příklad

Nastane-li situace, kdy je potřeba zjistit tažnost hliníkového hladkého plechu o tloušťce 0,65 mm, jehož směr válcování je vzhledem ke směru tažení odkloněn například o úhel $\alpha = 45^\circ$, pak lze, na základě vztahů stanovených v této práci, postupovat následovně.

V tabulce č. 2 nalezneme rovnice, které odpovídají našemu materiálu, v tomto případě hladkému plechu. Pro směr tažení po směru válcování tedy platí rovnice:

$$A_{95} = 29,0 - 20,7 t$$

ze které po dosazení tloušťky $t = 0,65$ dostaneme hodnotu tažnosti $A_{95} = 15,55 \%$. Pro směr tažení kolmý na směr válcování pak platí rovnice:

$$A_{95} = 35,1 - 27,6 t$$

ze které po dosazení tloušťky $t = 0,65$ dostaneme hodnotu tažnosti $A_{95} = 17,16 \%$.

Dále je potřeba určit hodnotu tažnosti v závislosti na směru tažení. K tomu použijeme vztah (15):

$$A_{95\alpha} = \sqrt{(a \cdot \cos \alpha)^2 + (b \cdot \sin \alpha)^2}$$

Koeficient a je roven tažnosti A_{95} ve směru kolmém na směr válcování a koeficient b je roven tažnosti A_{95} po směru válcování. Úhel α je v tomto případě 45° . Po dosazení dostaneme pro zadané podmínky výslednou hodnotu tažnosti:

$$A_{95\alpha} = 16,37 \%$$

9 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zjistit, na základě provedení tahových zkoušek, chování vybraných základních plechů pro výrobu tepelných štítů a získané poznatky zobecnit pro širší škálu používaných plechů.

Na základě analýzy naměřených hodnot se podařilo odvodit obecné vztahy, pomocí kterých je možné stanovit tažnost plechů o různých tloušťkách a libovolné orientaci směru tažení plechu vůči směru jeho válcování. Jak již bylo napsáno výše (viz. Kapitola 6), je pro verifikaci poznatků nutné zkontrolovat jejich platnost doplňujícími tahovými zkouškami, popřípadě pozorováním chování při tažení plechů v praxi.

Seznam pramenů a odborné literatury

- [1] Historie firmy. In *Manuál ke dni otevřených dveří*. Hnátnice. [2008]. 15 s.
- [2] Rieter CZ s.r.o.. *REN 22-1000 : Heatshield*. [200-?]. 98 s.
- [3] KRYŠTŮFEK, Pavel. *Strojírenská technologie : Nauka o materiálu* [online]. 6. října 2000 [cit. 2009-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://mujweb.atlas.cz/www/pk80/pub/st/menu1.htm>>.
- [4] *Matematika online : Řešené příklady z matematiky a vzorce* [online]. 11. května 2009 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.aristoteles.cz/matematika/matematika.php>>.
- [5] Rieter. *Group - Rieter* [online]. 11. května 2009 [cit. 2009-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.rieter.com/>>.
- [6] *SMAPS Opava* [online]. 23. ledna 2006 [cit. 2009-04-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.smaps.cz/>>.

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Referenční pracovní diagramy – přehled hodnot.....	50
Tabulka č. 2: Souhrn vztahů mezi tažnostmi různých modifikací hliníkových plechů a jejich tloušťkou.....	60
Tabulka č. 3: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, hladký.....	64
Tabulka č. 4: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, nopkovaný.....	65
Tabulka č. 5: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, nopkovaný stlačený.....	66
Tabulka č. 6: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, hladký.....	67
Tabulka č. 7: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, nopkovaný.....	68
Tabulka č. 8: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, nopkovaný stlačený.....	69
Tabulka č. 9: Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – souhrn pro všechny druhy materiálu základních tloušťek.....	70

Seznam grafů

Graf č. 1:	Referenční pracovní diagram 1-1 (hladký 0,5 mm; po směru válcování).....	38
Graf č. 2:	Referenční pracovní diagram 1-2 (nopkovaný 0,5 mm; po směru válcování).....	39
Graf č. 3:	Referenční pracovní diagram 1-3 (nopkovaný - stlačený 0,5 mm; po směru válcování).....	40
Graf č. 4:	Referenční pracovní diagram 2-1 (hladký 0,5 mm; kolmo na směr válcování).....	41
Graf č. 5:	Referenční pracovní diagram 2-2 (nopkovaný 0,5 mm; kolmo na směr válcování).....	42
Graf č. 6:	Referenční pracovní diagram 2-3 (nopkovaný - stlačený 0,5 mm; kolmo na směr válcování).....	43
Graf č. 7:	Referenční pracovní diagram 3-1 (hladký 0,8 mm; po směru válcování).....	44
Graf č. 8:	Referenční pracovní diagram 3-2 (nopkovaný 0,8 mm; po směru válcování).....	45
Graf č. 9:	Referenční pracovní diagram 3-3 (nopkovaný – stlačený 0,8 mm; po směru válcování).....	46
Graf č. 10:	Referenční pracovní diagram 4-1 (hladký 0,8 mm; kolmo na směr válcování).....	47
Graf č. 11:	Referenční pracovní diagram 4-2 (nopkovaný 0,8 mm; kolmo na směr válcování).....	48
Graf č. 12:	Referenční pracovní diagram 4-3 (nopkovaný - stlačený 0,8 mm; kolmo na směr válcování).....	49
Graf č. 13:	Referenční pracovní diagramy (0,5 mm; po směru válcování).....	52
Graf č. 14:	Referenční pracovní diagramy (0,5 mm; kolmo na směr válcování).....	52
Graf č. 15:	Referenční pracovní diagramy (0,8 mm; po směru válcování).....	53
Graf č. 16:	Referenční pracovní diagramy (0,8 mm; kolmo na směr válcování).....	53
Graf č. 17:	Referenční pracovní diagramy (hladké plechy).....	54
Graf č. 18:	Referenční pracovní diagramy (nopkované plechy).....	54

Graf č. 19:	Referenční pracovní diagramy (nopkované stlačené plechy).....	55
Graf č. 20:	Závislost tažnosti A_{95} na tloušťce materiálu t – hladké plechy.....	57
Graf č. 21:	Závislost tažnosti A_{95} na tloušťce materiálu t – nopkované plechy.....	58
Graf č. 22:	Závislost tažnosti A_{95} na tloušťce materiálu t – nopkované stlačené plechy.....	59
Graf č. 23:	Princip stanovení tažnosti pro libovolnou vzájemnou orientaci směru válcování plechu a směru jeho tažení.....	62
Graf č. 24:	Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, hladký.....	64
Graf č. 25:	Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, nopkovaný.....	65
Graf č. 26:	Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,5 mm, nopkovaný stlačený.....	66
Graf č. 27:	Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, hladký.....	67
Graf č. 28:	Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, nopkovaný.....	68
Graf č. 29:	Změna tažnosti A_{95} v závislosti na směru tažení – plech 0,8 mm, nopkovaný stlačený.....	69

Seznam obrázků

Obrázek č. 1:	Závod Nástrojárna v Hnátnici.....	10
Obrázek č. 2:	Nopkování v řezu (schematicky).....	11
Obrázek č. 3:	Nopkovaný plech.....	12
Obrázek č. 4:	Hladký plech.....	13
Obrázek č. 5:	Nopkovaný plech – stlačený.....	13
Obrázek č. 6:	Příklad uspořádání lisovacího nástroje.....	14
Obrázek č. 7:	Princip stříhacího nástroje.....	15
Obrázek č. 8:	Princip stavěcího nástroje.....	16
Obrázek č. 9:	Princip lemovacího nástroje.....	16
Obrázek č. 10:	Příklad dílce z nopkovaného plechu.....	17
Obrázek č. 11:	Příklad dílce z hladkého plechu.....	17
Obrázek č. 12:	Příklady provedení zkušebních tyčí.....	18
Obrázek č. 13:	Příklad pracovního diagramu.....	20
Obrázek č. 14:	Tvary pracovních diagramů základních materiálů.....	21
Obrázek č. 15:	Základní rozměry zkušebních tyčí.....	23
Obrázek č. 16:	Nopkovací stolice UMT 406 (UniMaTec GmbH).....	25
Obrázek č. 17:	Pákové nůžky NTP 1000/2,5B (ZTS Košice).....	26
Obrázek č. 18:	Lis TUS 100 (Reis GmbH&Co).....	27
Obrázek č. 19:	Drátovka AGIECUT 370 (AGIE Losone - Locarno, Švýcarsko).....	28
Obrázek č. 20:	Popis okna měřicího software v pohotovostním režimu.....	29
Obrázek č. 21:	Trhačka ZDM 5 po repasi.....	30
Obrázek č. 22:	Čelisti trhačky s upnutou zkušební tyčí.....	31
Obrázek č. 23:	Porovnání různých typů řezů.....	33
Obrázek č. 24:	Elipsa.....	61

Seznam příloh

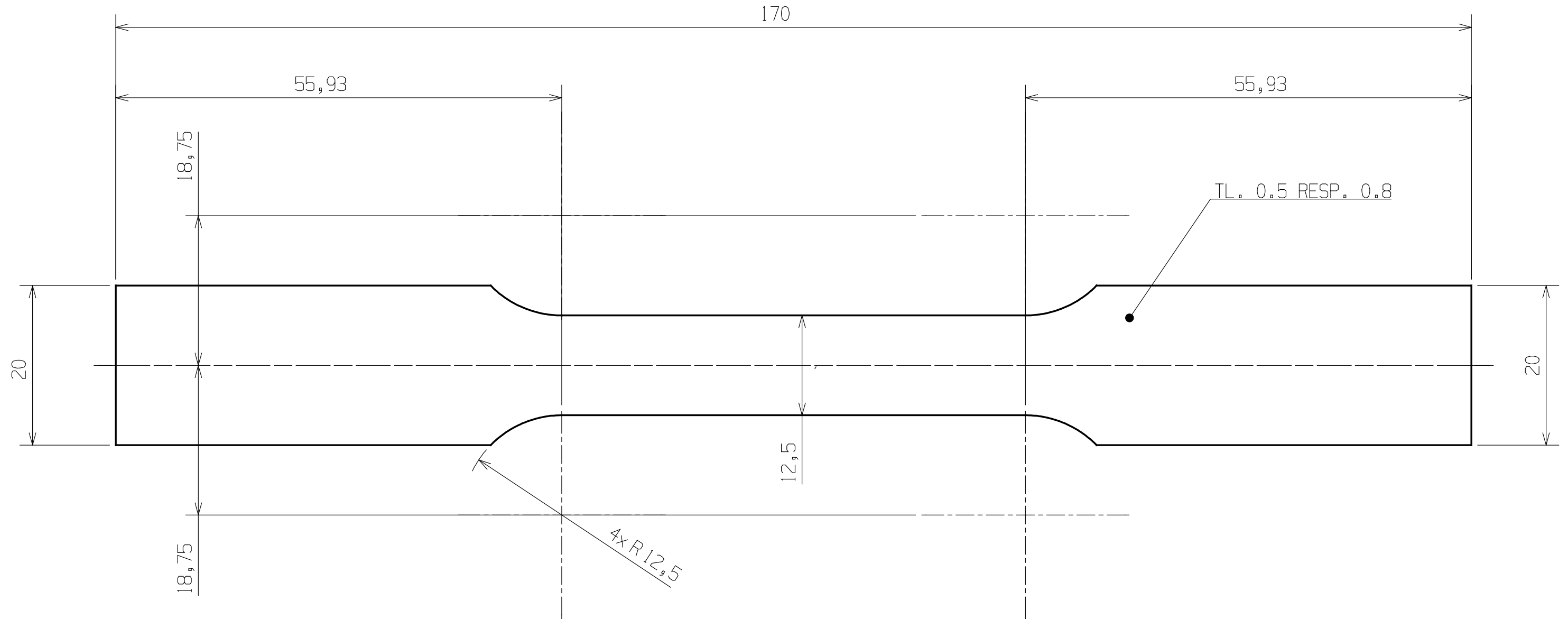
Příloha č. 1: Výkres zkušební tyče

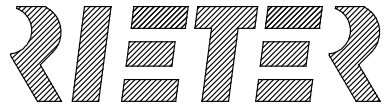
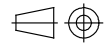
Příloha č. 2: Pokyny pro nopkování

Příloha č. 3: Technologický postup

Příloha č. 4: Pracovní diagramy

Příloha č. 1: Výkres zkušební tyče:



01	A	PRVNI VYDANI	02-Dec-2008	Jlunak	
Typový Index	Změnový Index	Změna-popis	Datum	Podpis	
	Čistý rozměr 170x20-TL.	Hmotnost v g WEIGHT	 Rieter Tooling, Hrátnice, CZ		
Polotovár - Hrubý rozměr	Material AL 99.5	Meřítko SCALE			
Typ nástroje	Methode 1 ISO 128	2:1	ISO 2768-m	Datum	Jméno/Name
Zakázka č. 18108169			Kreslil	02-Dec-2008	Jlunak
PART NAME, NO.		Schvátil PL			
Název / Title ZKUSEBNI_TYC	Schvátil AVOR				
	Zákazník a projekt / CUSTOMER AND PROJECT ZKOUSKY AL PLECHU				
	Číslo výk./DRAWING NO. 08169190_001_00		List Sheet 1 Listů 1	Formát SIZE A3	

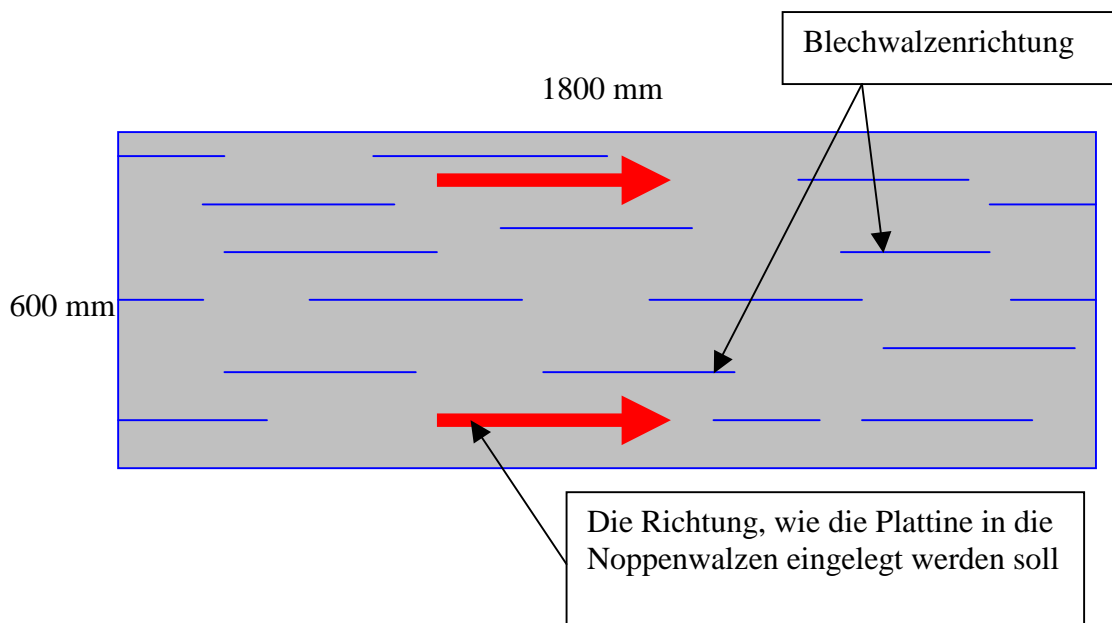
Noppen der Platten für Versuchszwecke

Wir bitten um eine Markierung folgender Merkmale:

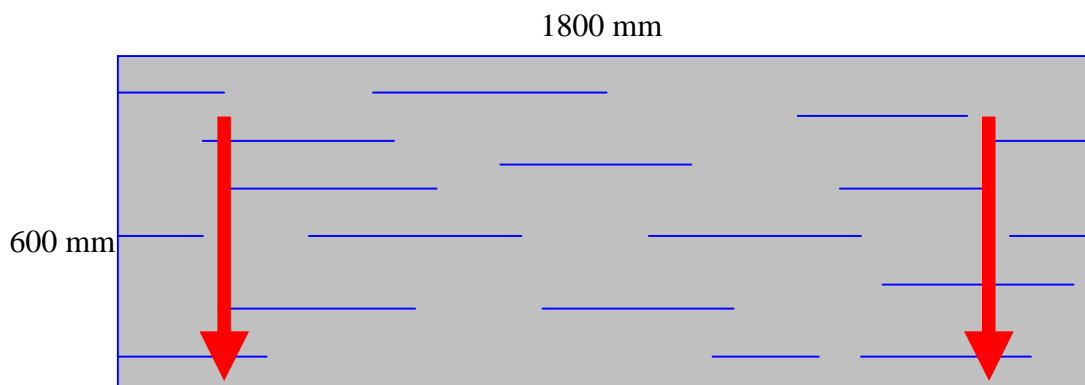
- Blechwalzenrichtung: es sind kleine Riefen auf dem Blech sichtbar – bitte mit blauer Farbe markieren
- Die Richtung, wie die Plattine in die Noppenwalzen eingelegt wurde - bitte mit roter Farbe markieren

Al 99.5 - 0.5 mm

2 Stück



2 Stück

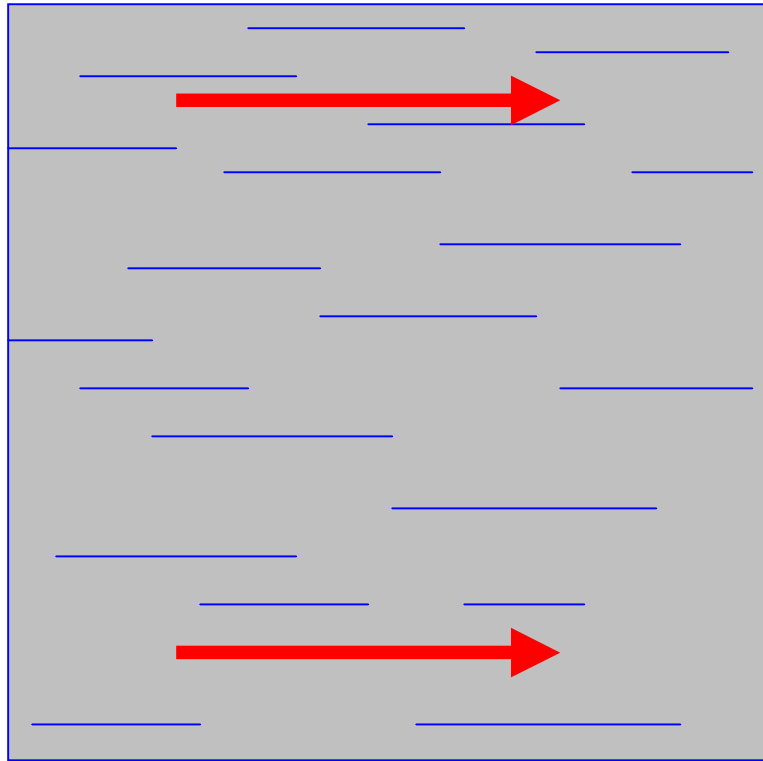


Al 99.5 - 0.8 mm

1000 mm

2 Stück

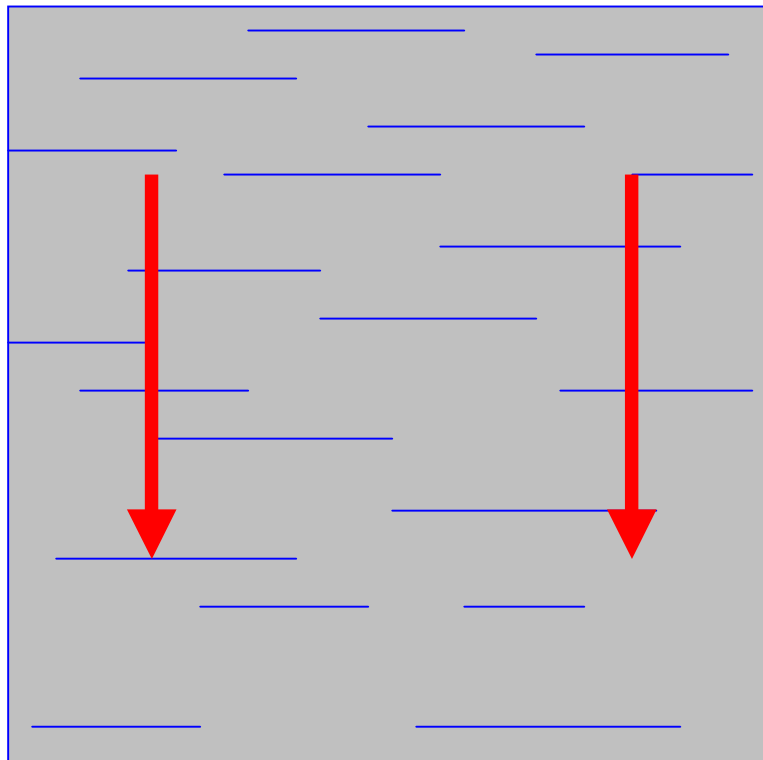
1000 mm



1000 mm

2 Stück

1000 mm



Příloha č. 3: Technologický postup:

***** TECHNOLOGICKÝ POSTUP *****

Strana 1
02.12.08 14:12

Zakázka: **18108169** ZKOUSKY AL PLECHU
Index: **01** O - OSTATNI
Linie: **190** TRHACI ZKOUSKY

Celek: **08169190**

Pozice: //

Termín dodání k zákazníkovi:

Díl:

Množství: **1**

Technolog: LUDĚK JANSA

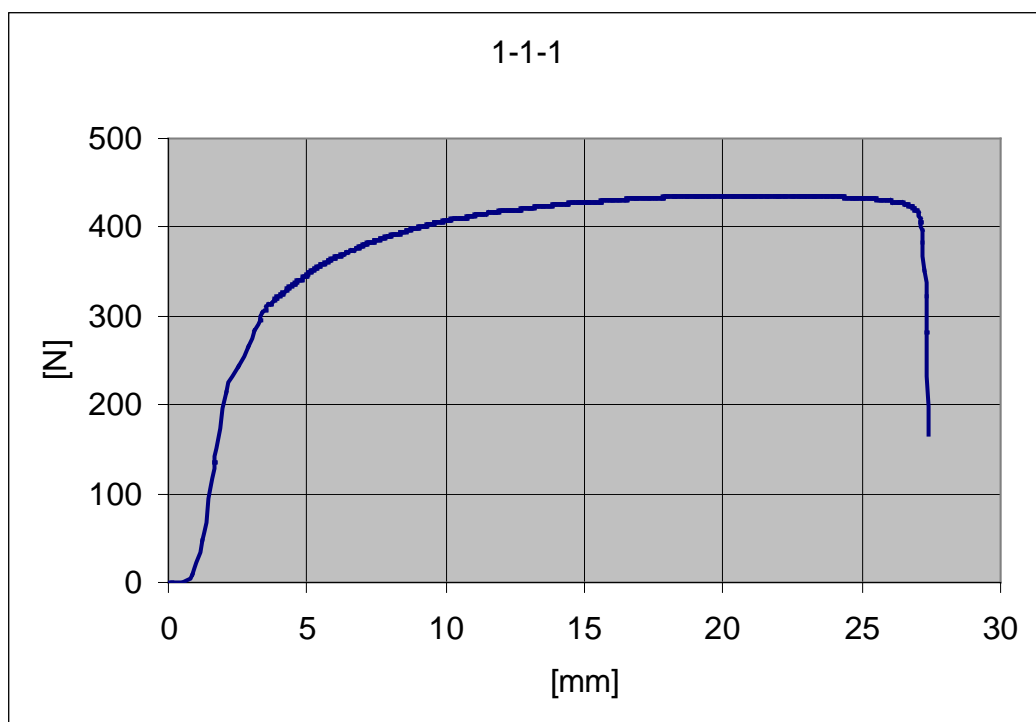
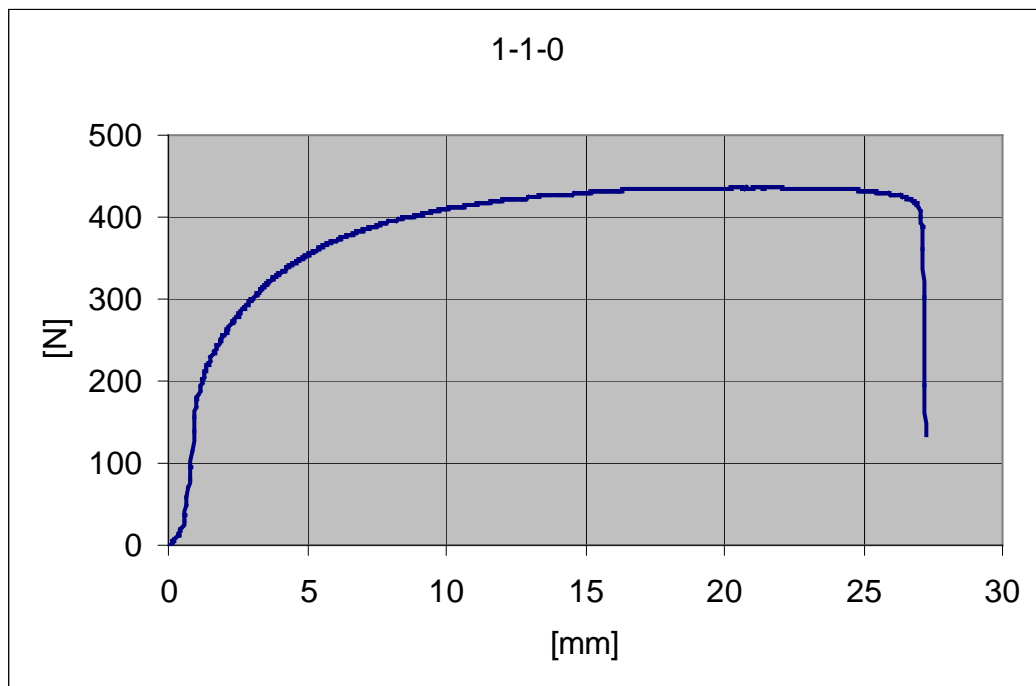
PL: BEDŘICH, ING. FRIEDL

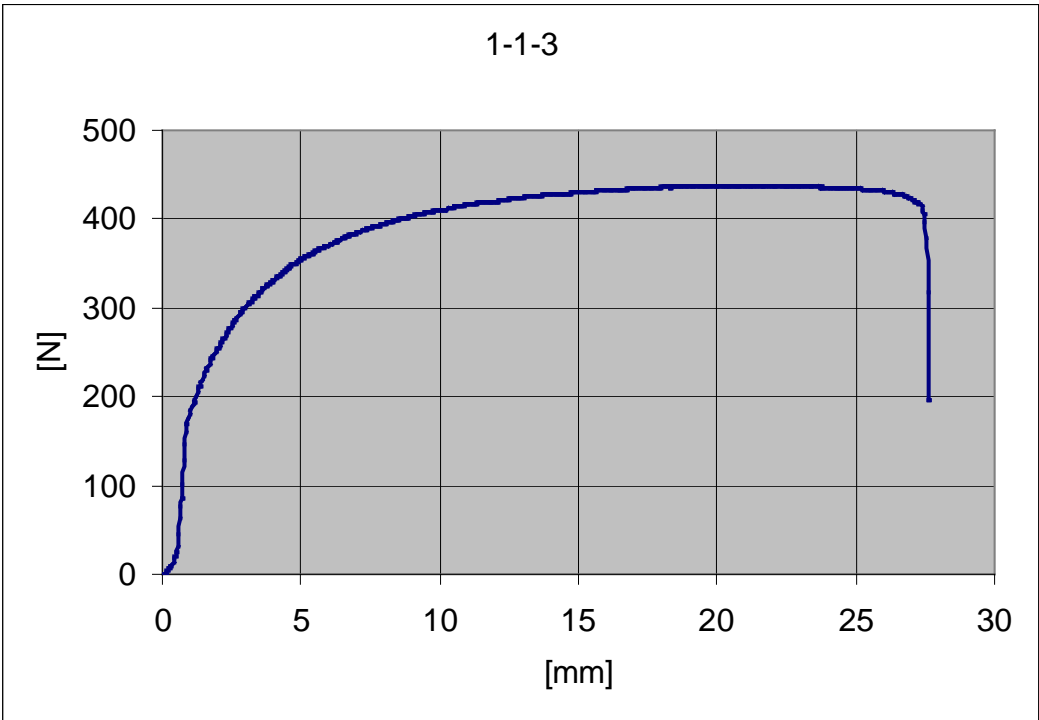
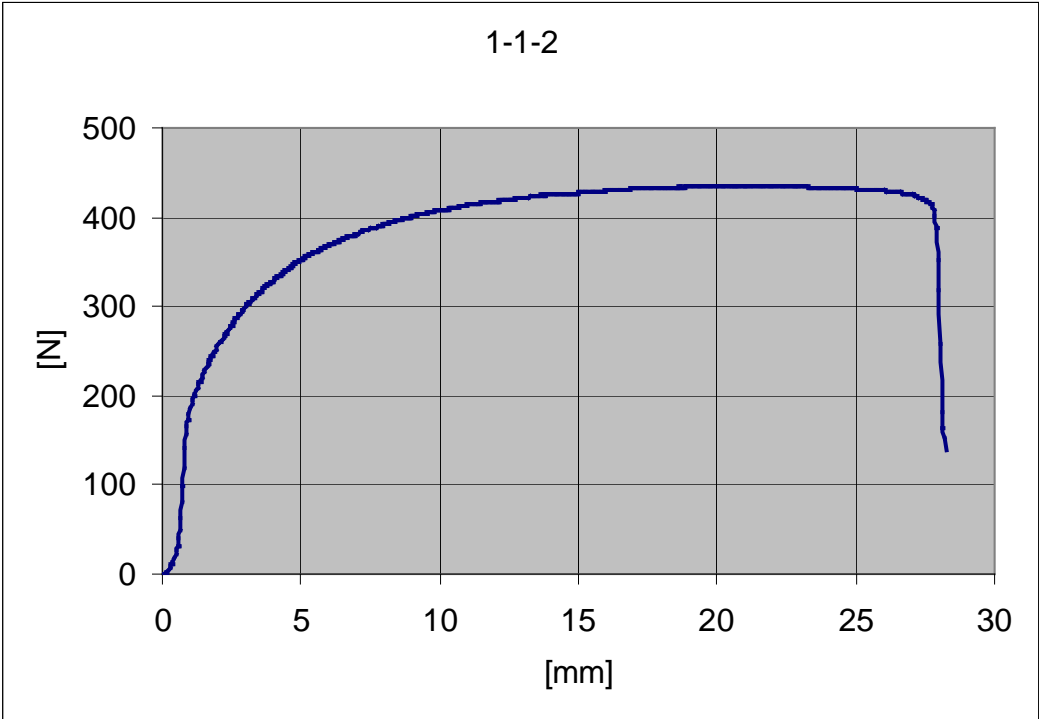
OP.	Kód operace	Název operace	Výkon	Pracoviště	Datum	Jméno
Výdej materiálu						
10	OP422778	Lisovat - Lis malý 100t	213	METM		
			Tušívání - malé 100 t			
						Operaci ukončil
Milníky	Start:					
	Konec:					
20	OP422777	Řezat drátem	275	ELOR		
			Agie - drátovka			
					2.12.08	VYČIŠTAL M.
					9.12.08	<i>Průběh -</i>
					14.12.08	<i>Průběh -</i>
						Operaci ukončil
Milníky	Start:					
	Konec:				15.12.08	<i>Průběh -</i>

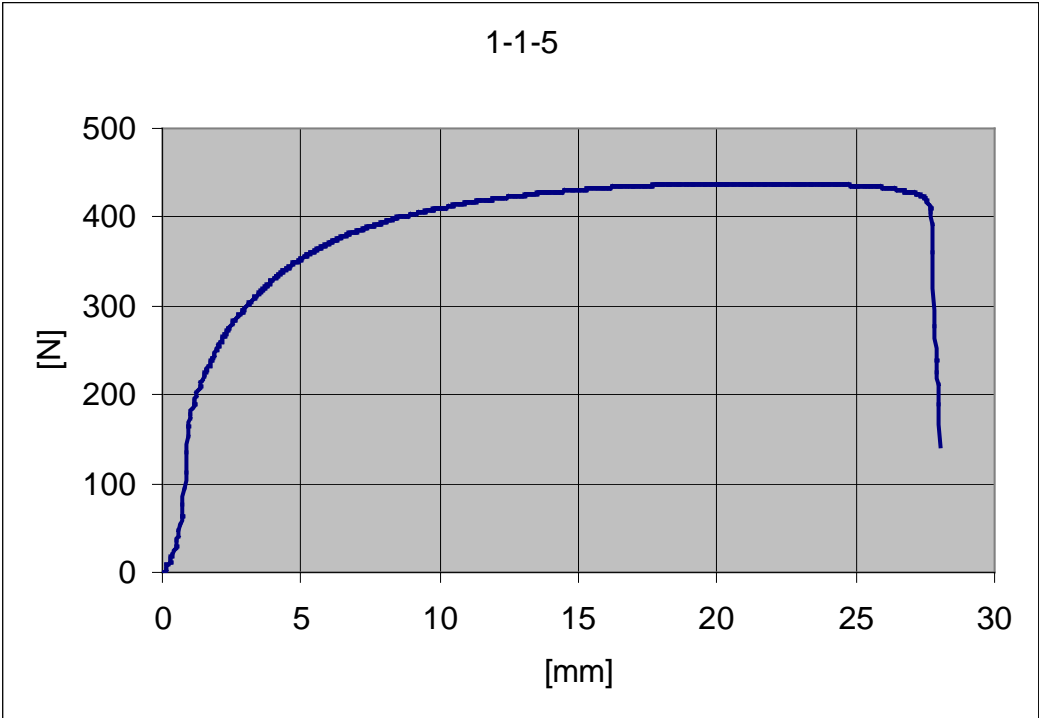
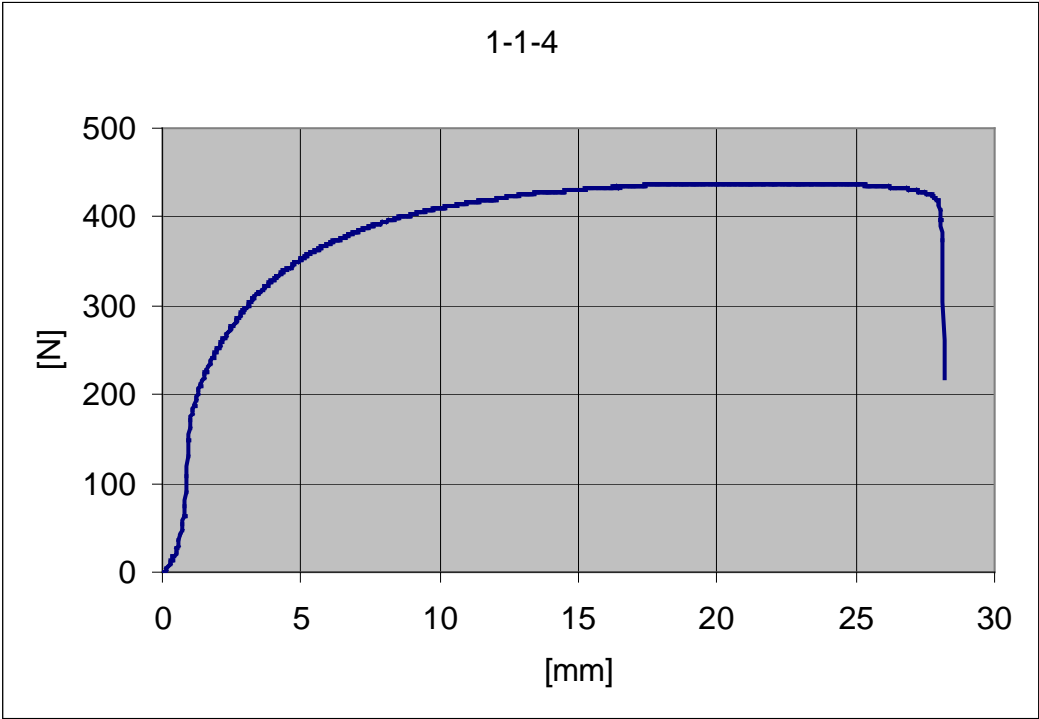
(116SWP04.wde)

*****Konec postupu*****

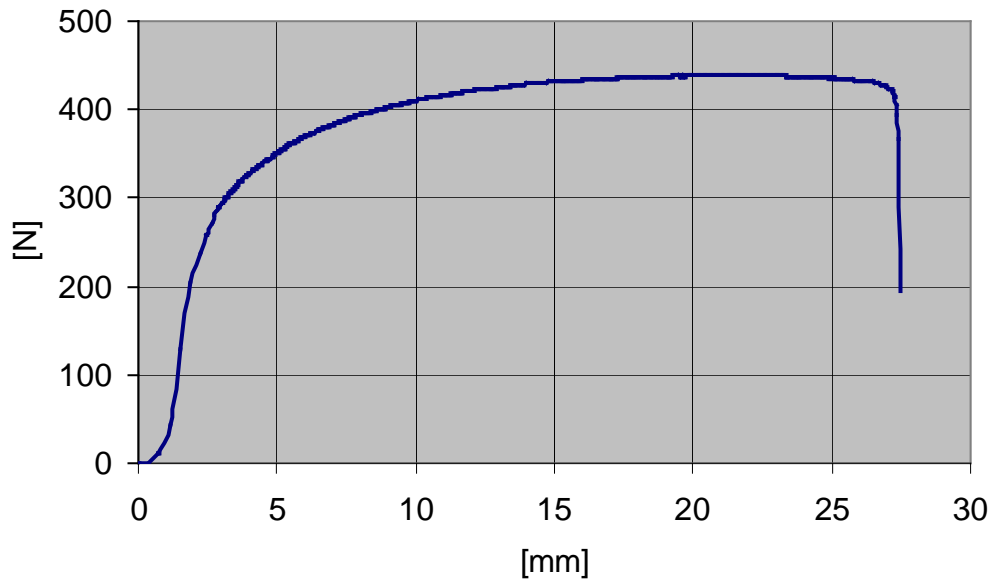
Příloha č. 4: Pracovní diagramy:



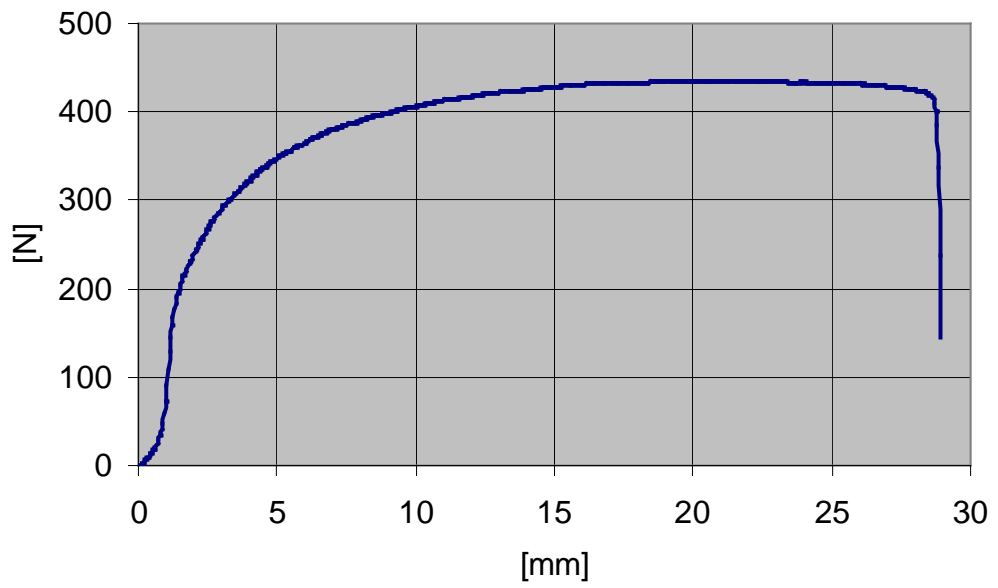




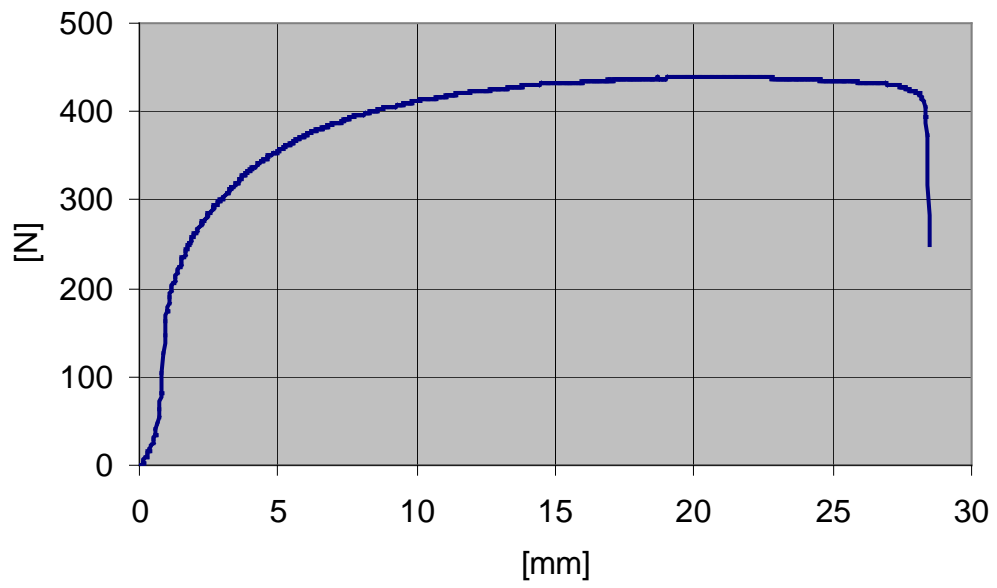
1-1-6



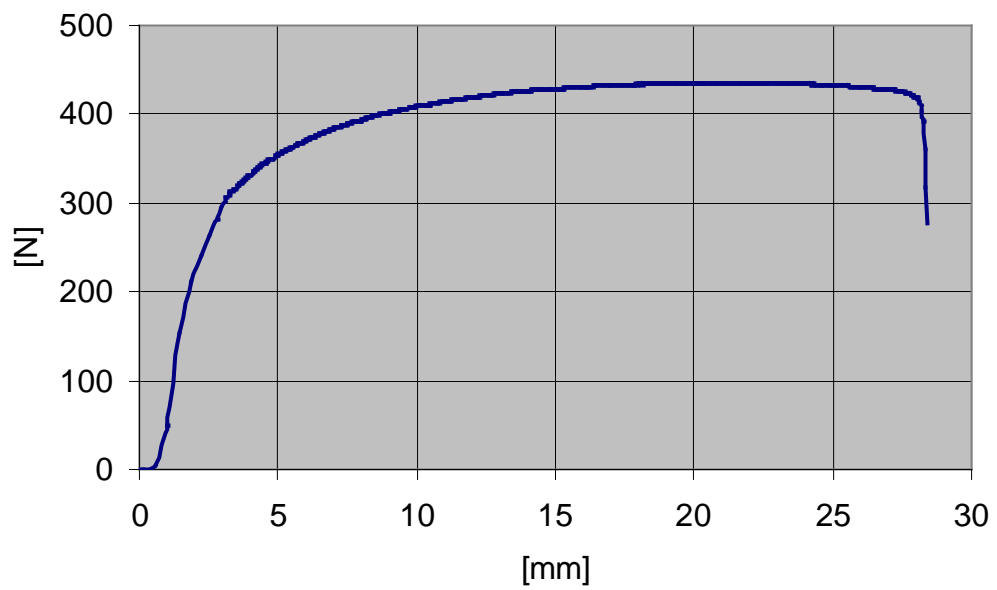
1-1-7

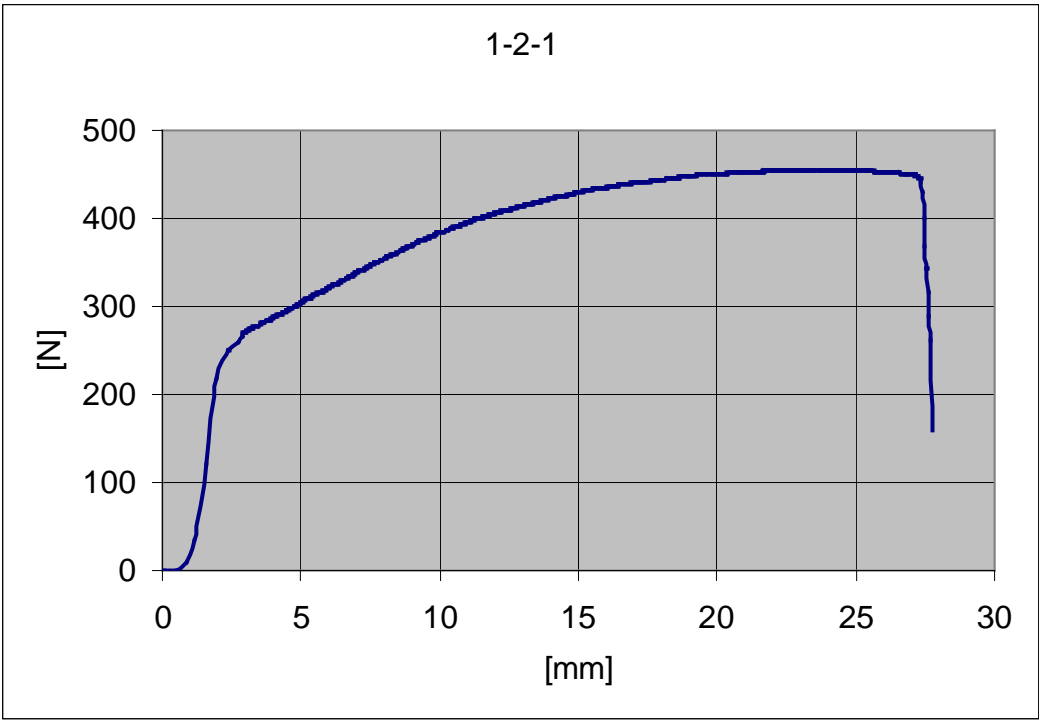
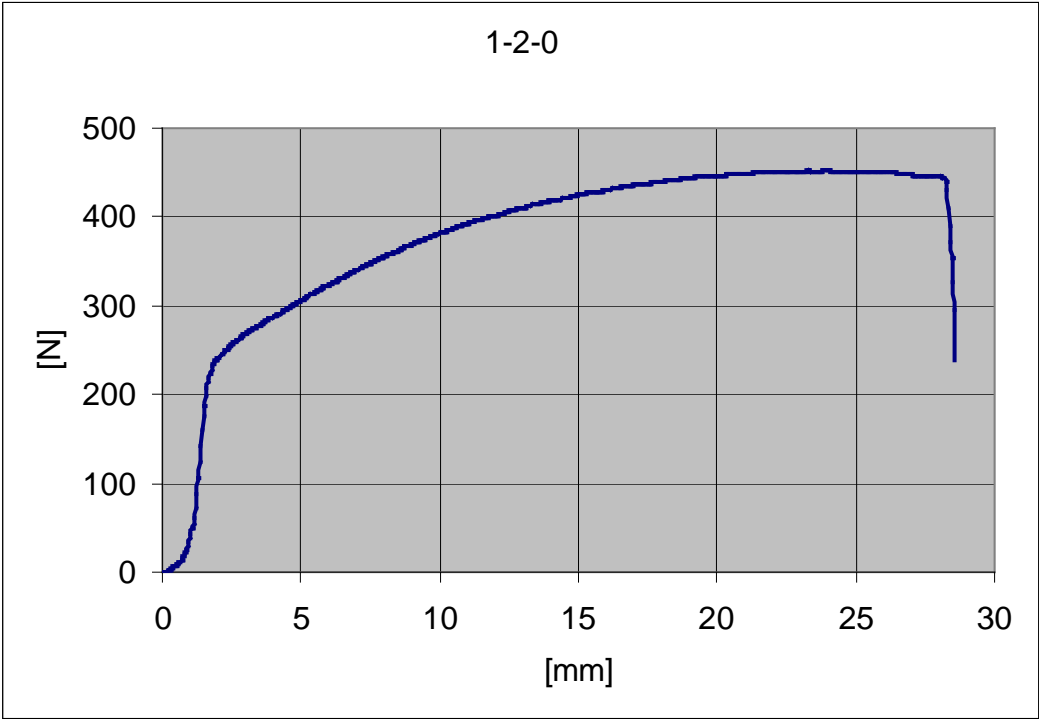


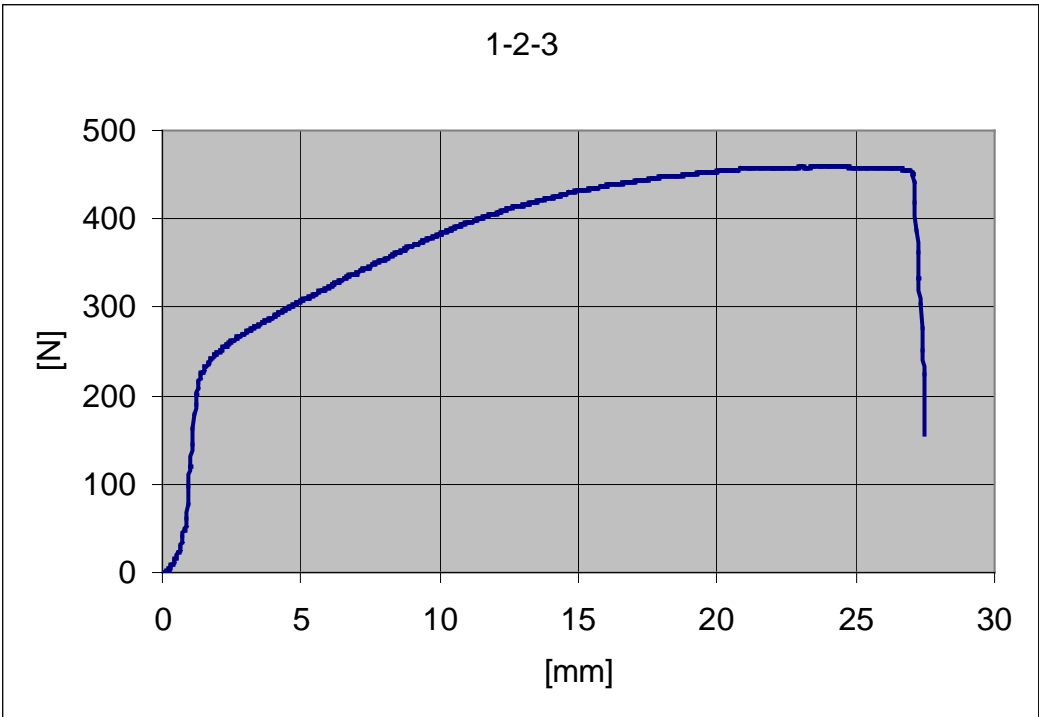
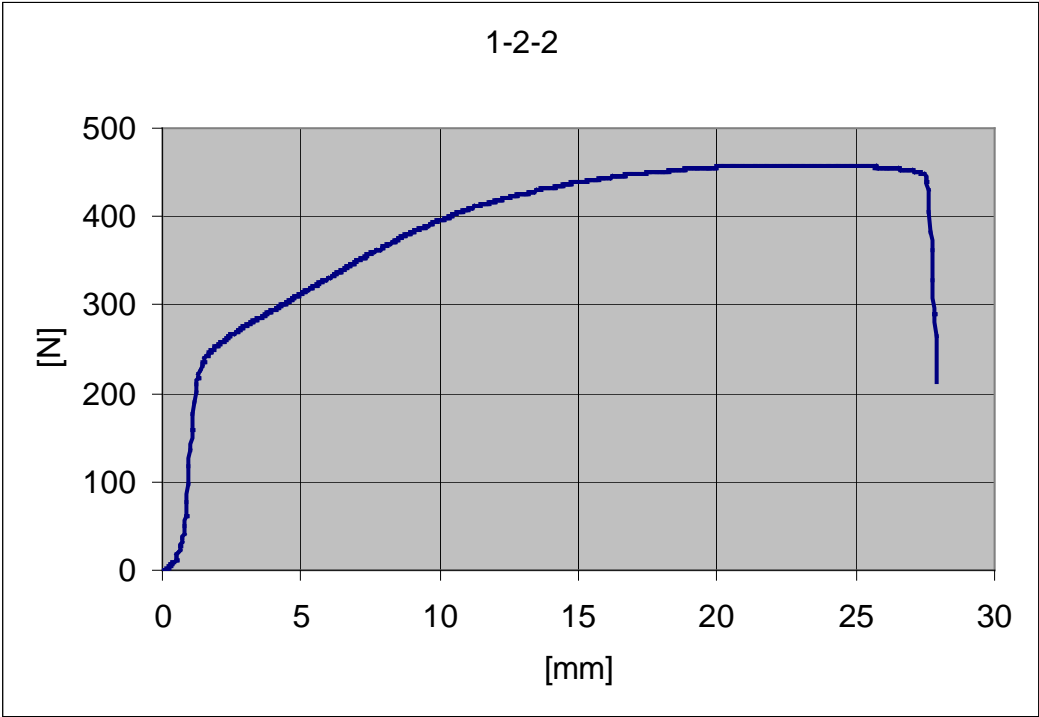
1-1-8

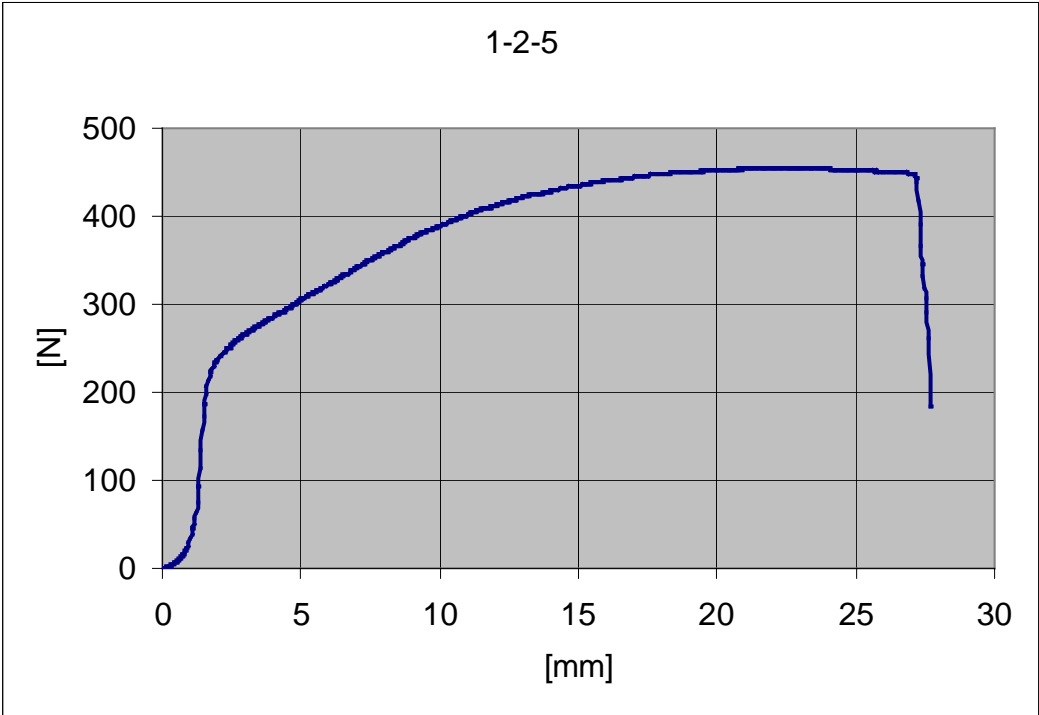
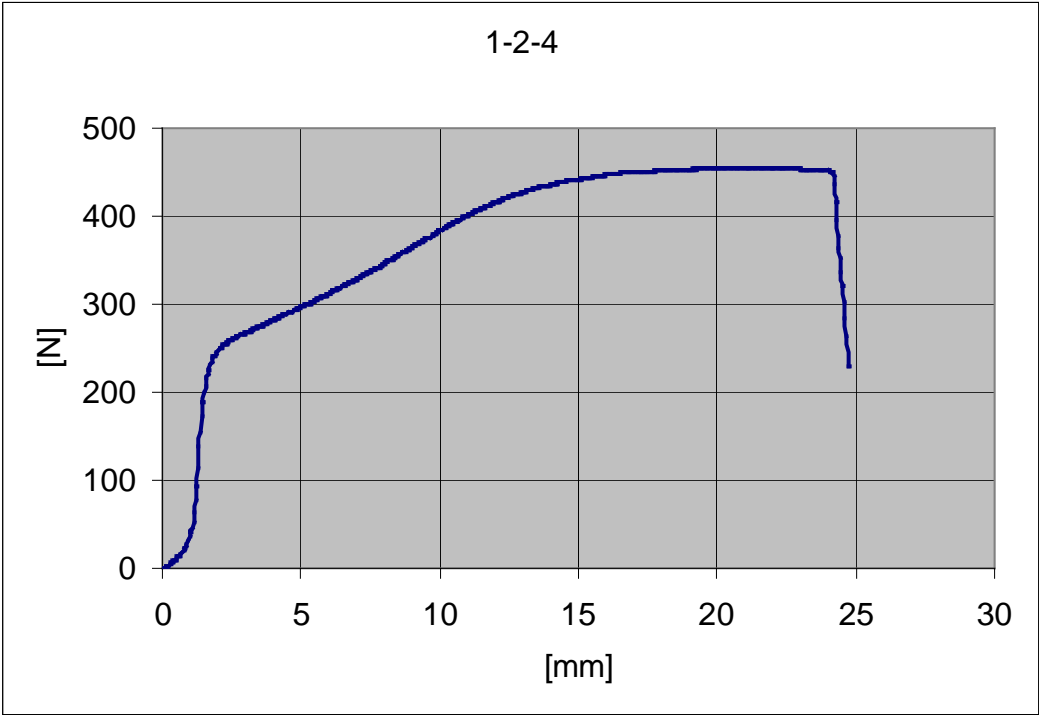


1-1-9

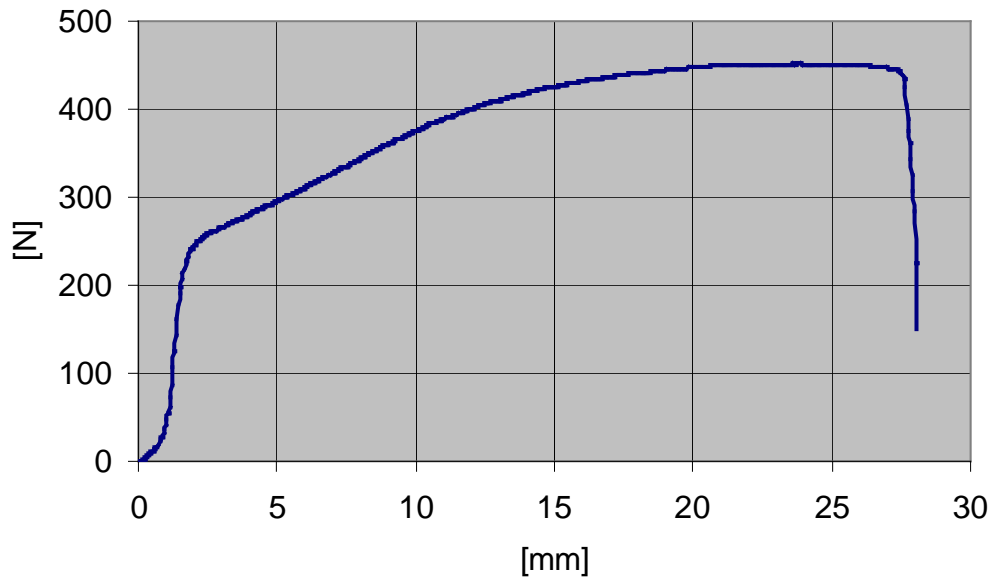




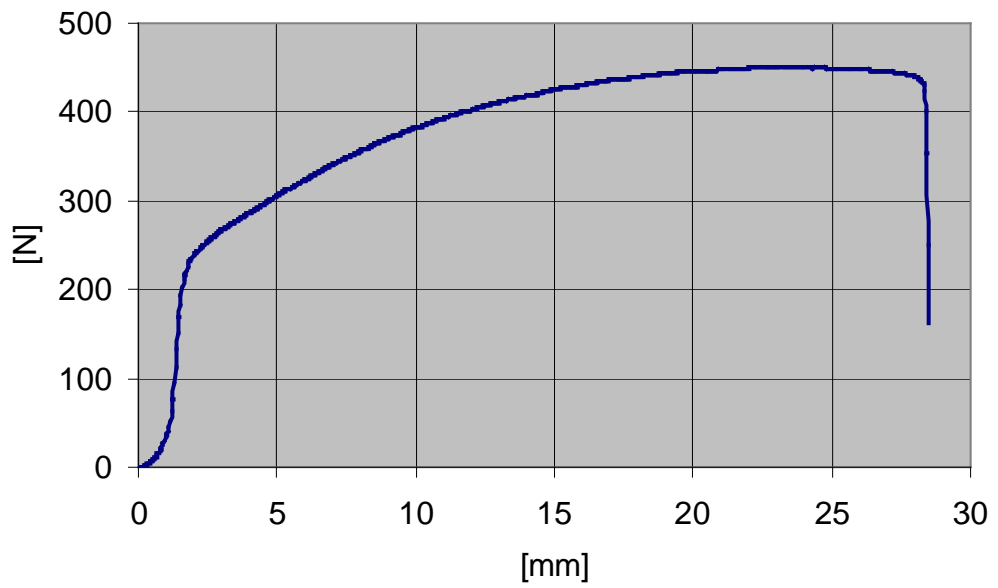


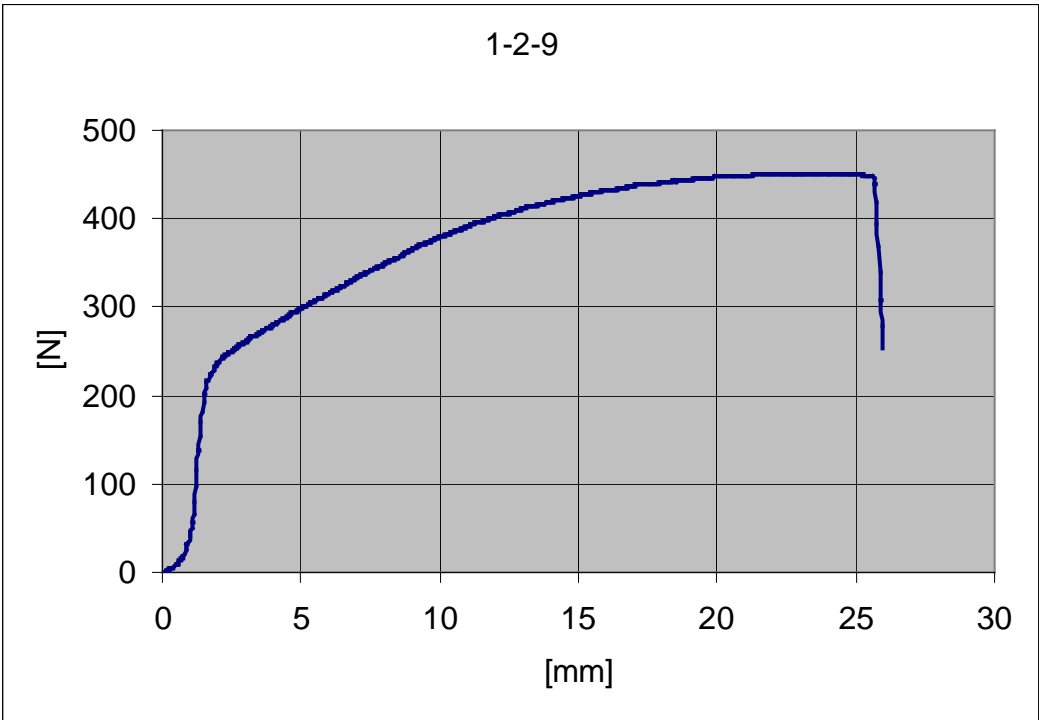
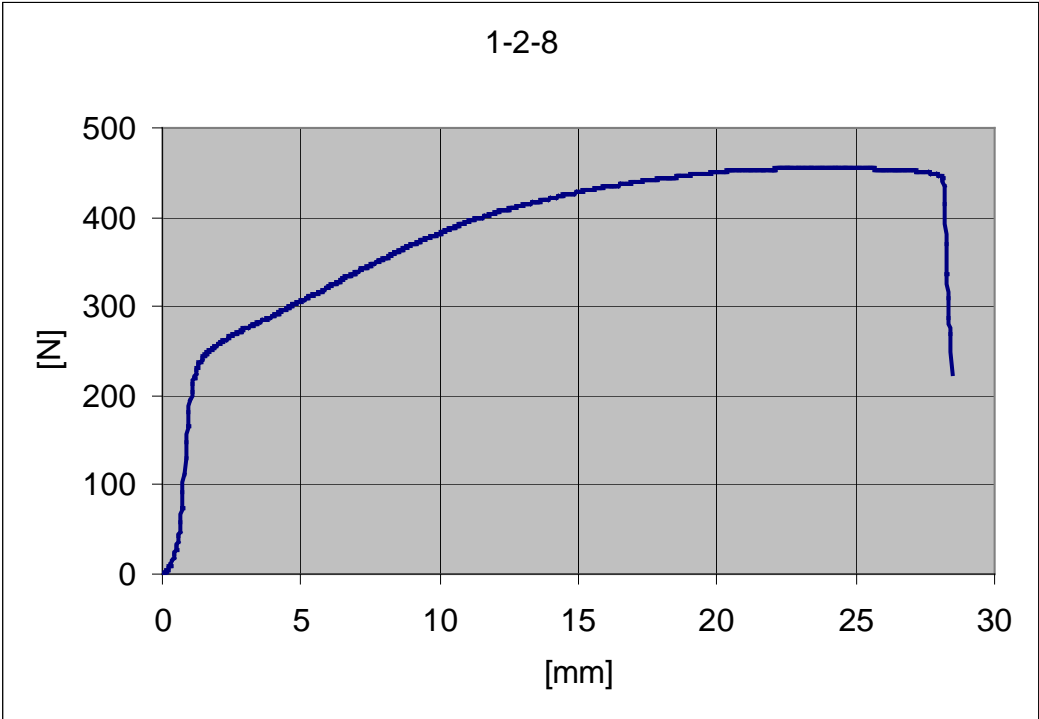


1-2-6

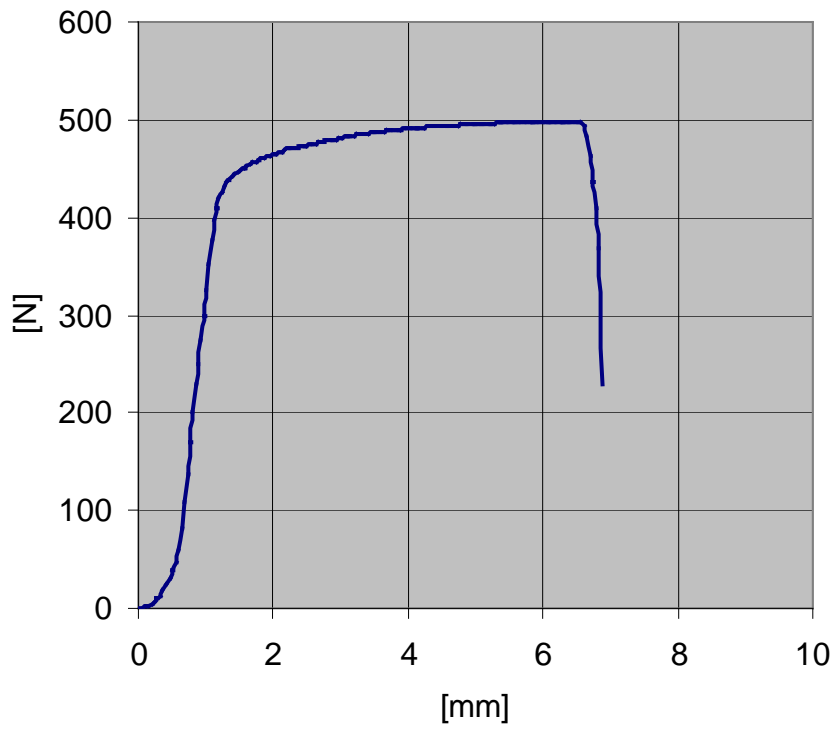


1-2-7

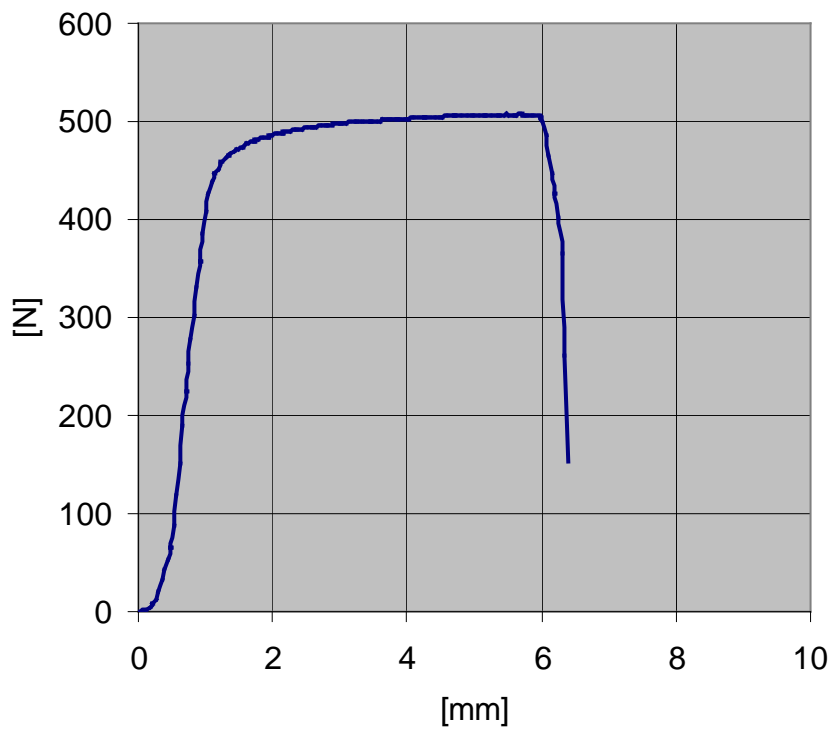




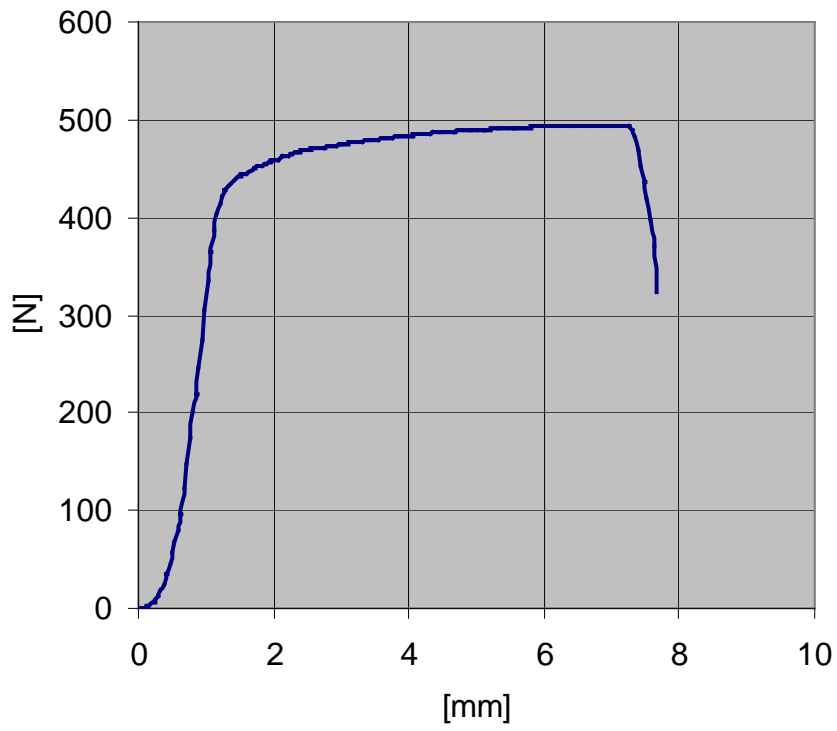
1-3-0



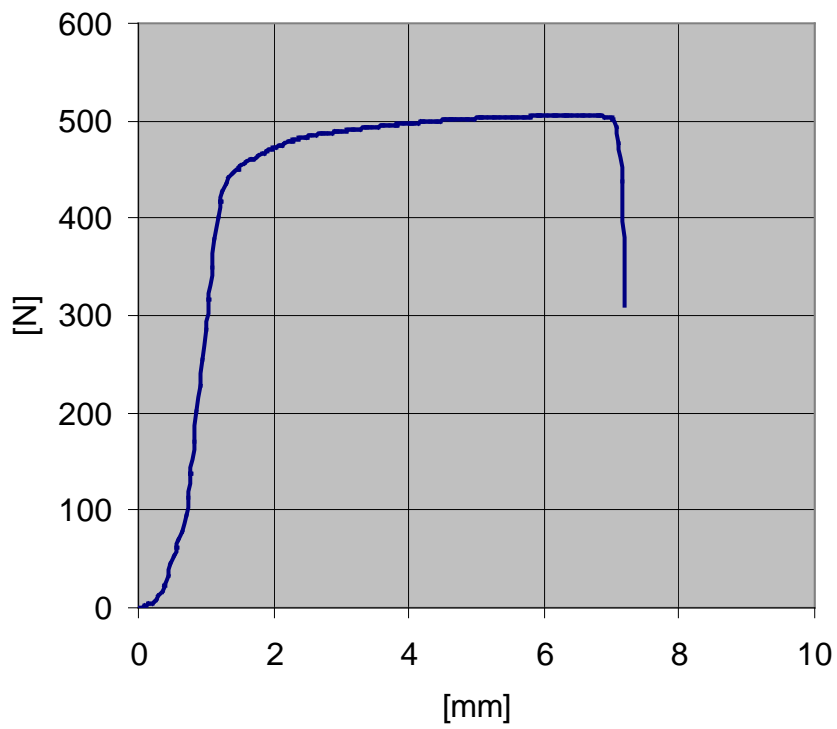
1-3-1



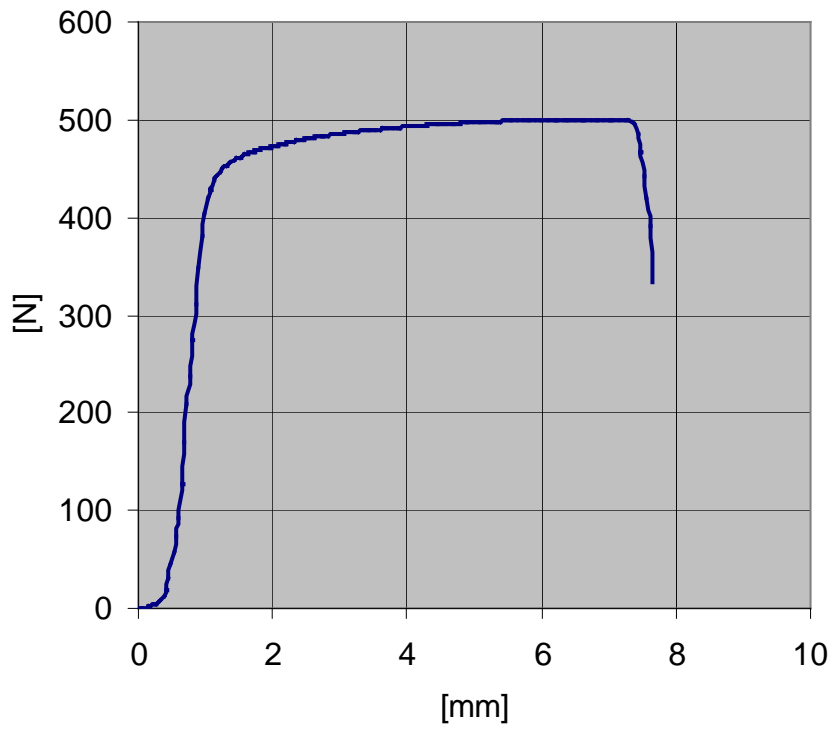
1-3-2



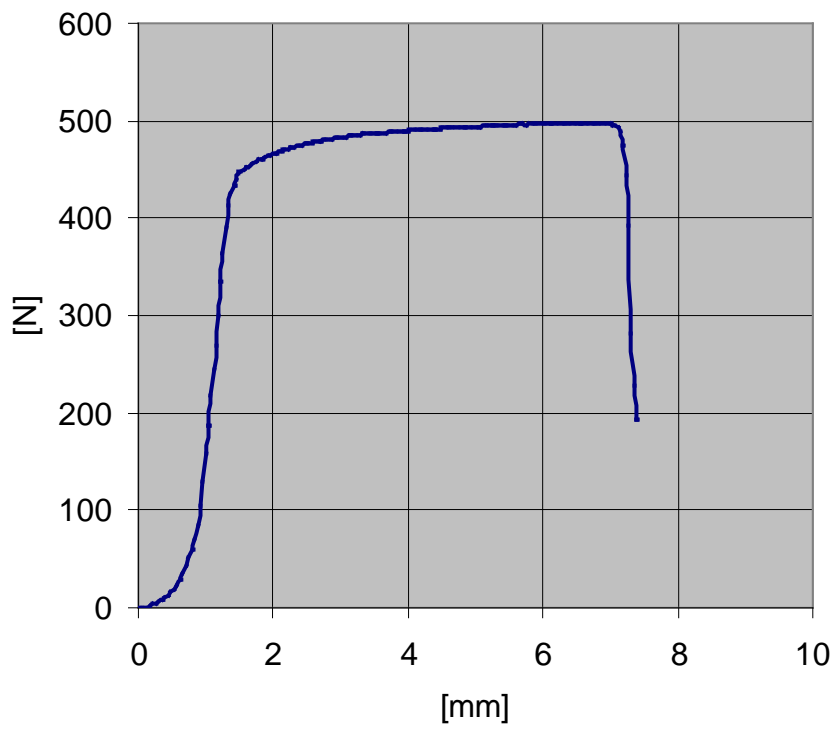
1-3-3



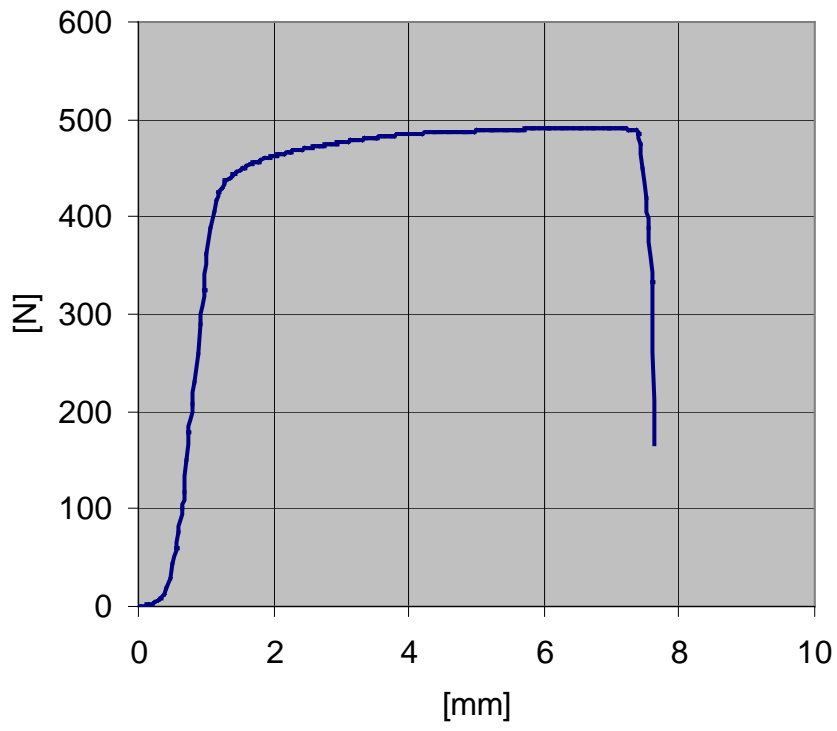
1-3-4



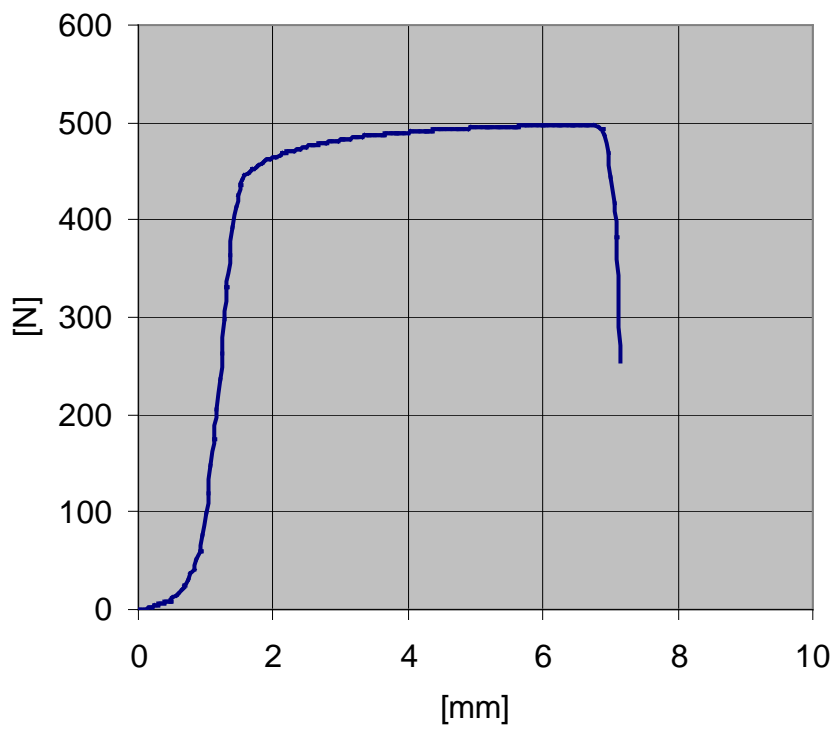
1-3-5



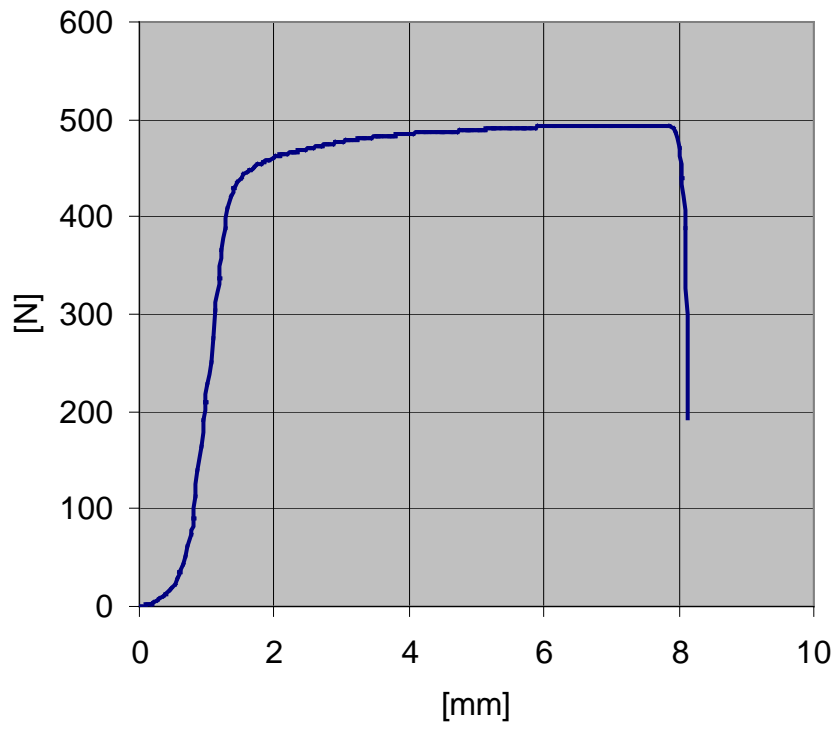
1-3-6



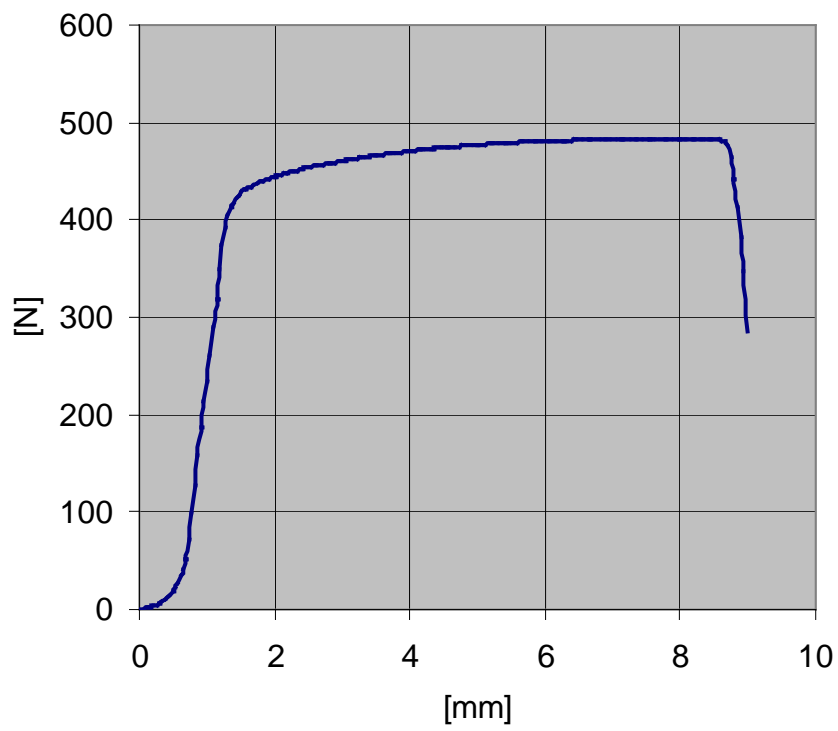
1-3-7



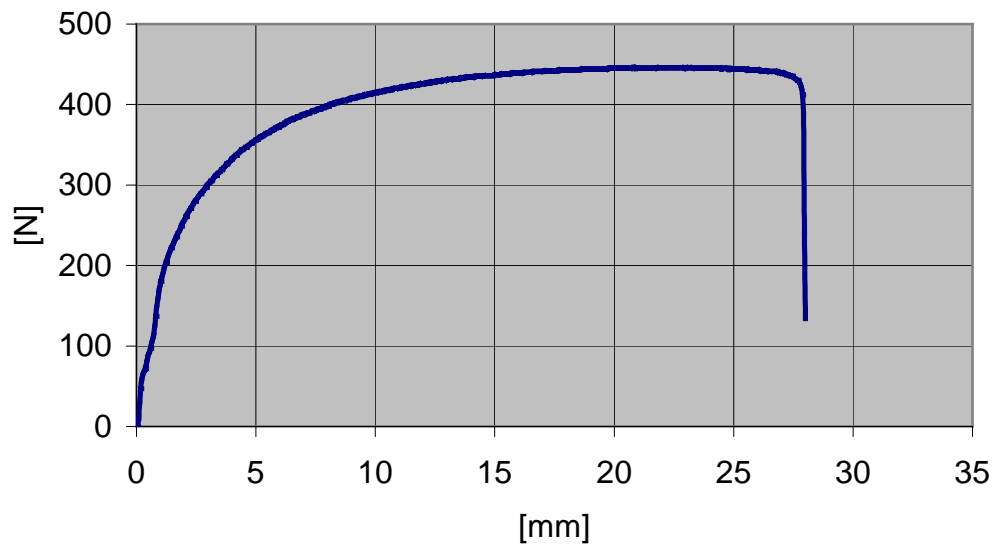
1-3-8



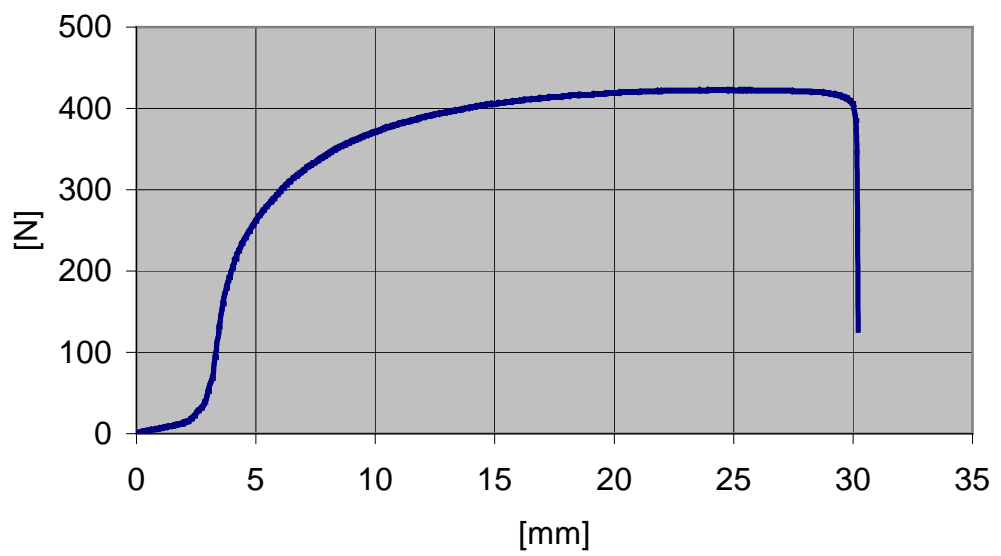
1-3-9



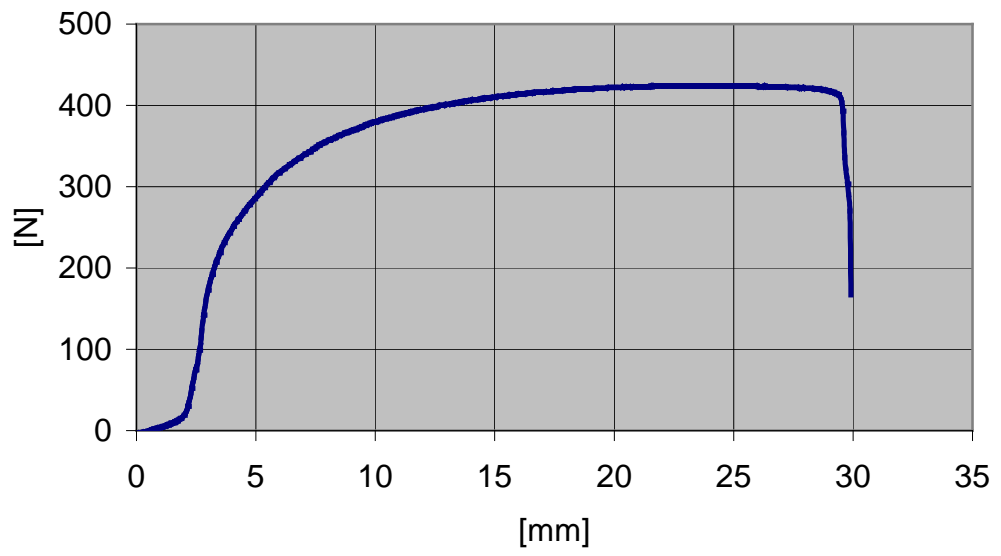
2-1-0



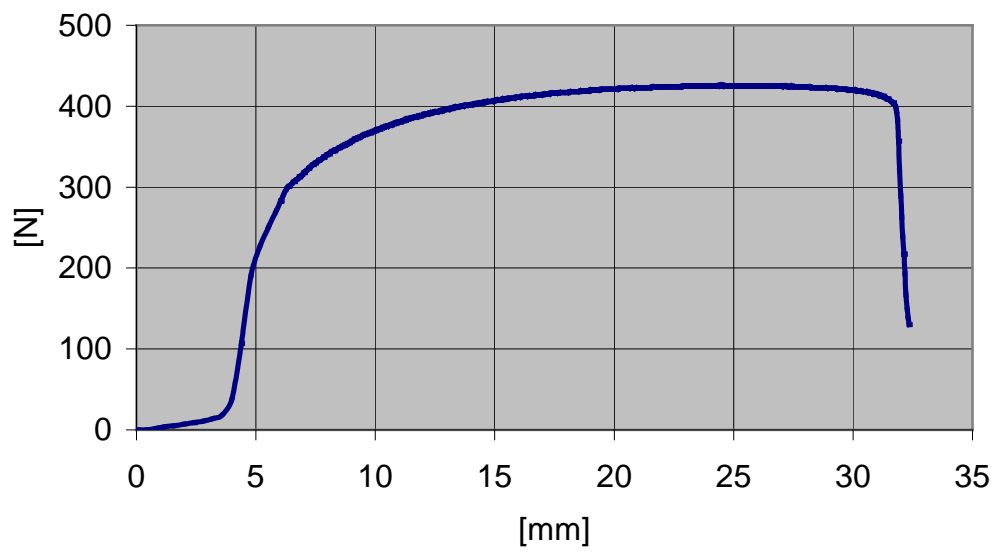
2-1-1



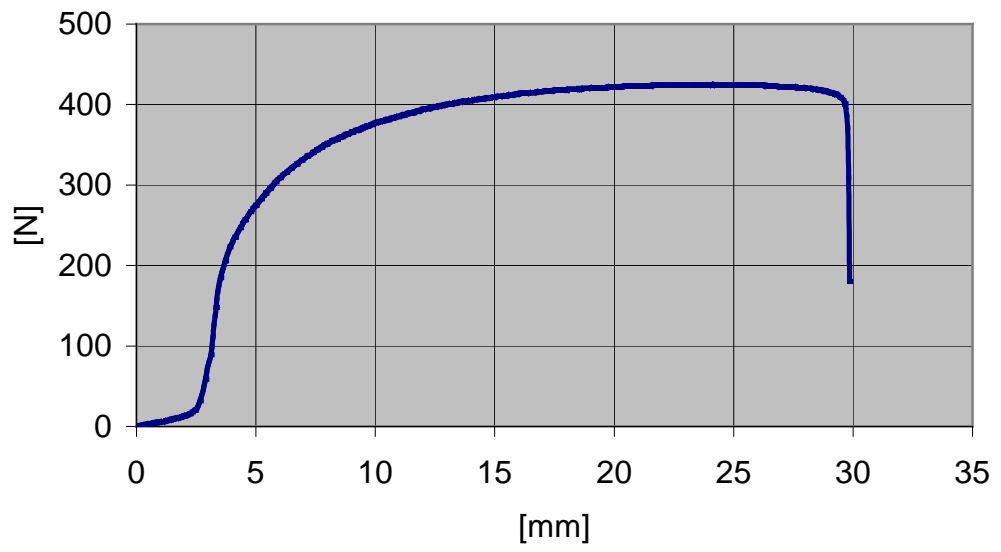
2-1-2



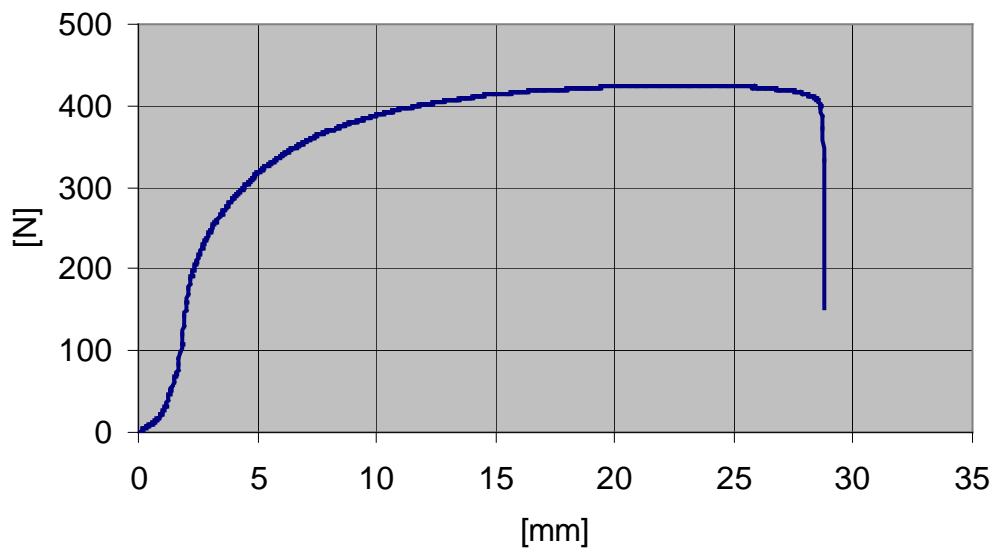
2-1-3



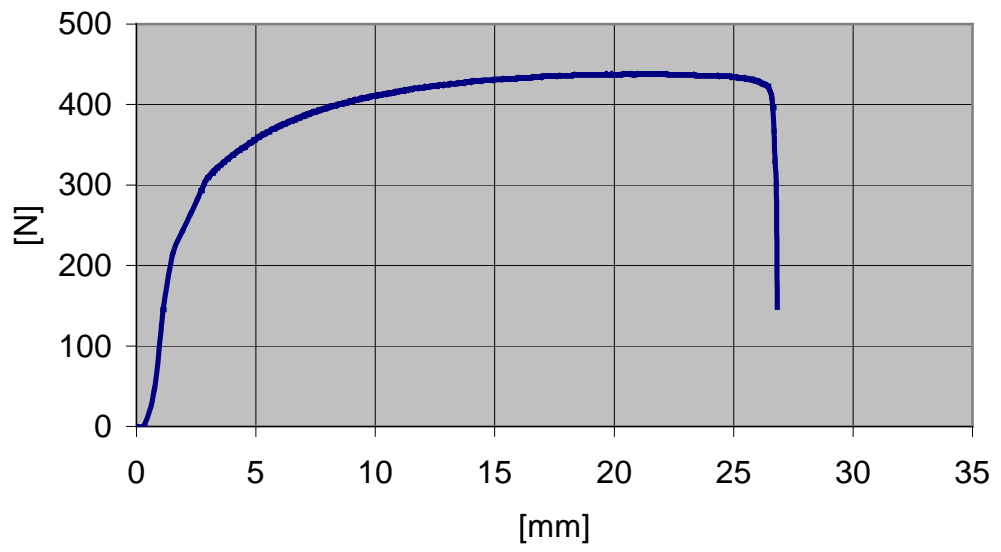
2-1-4



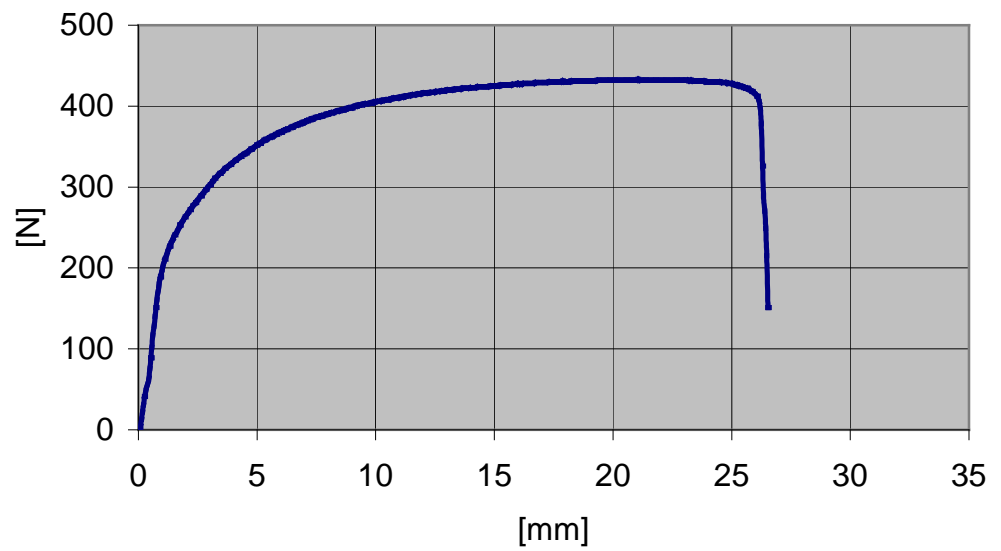
2-1-5



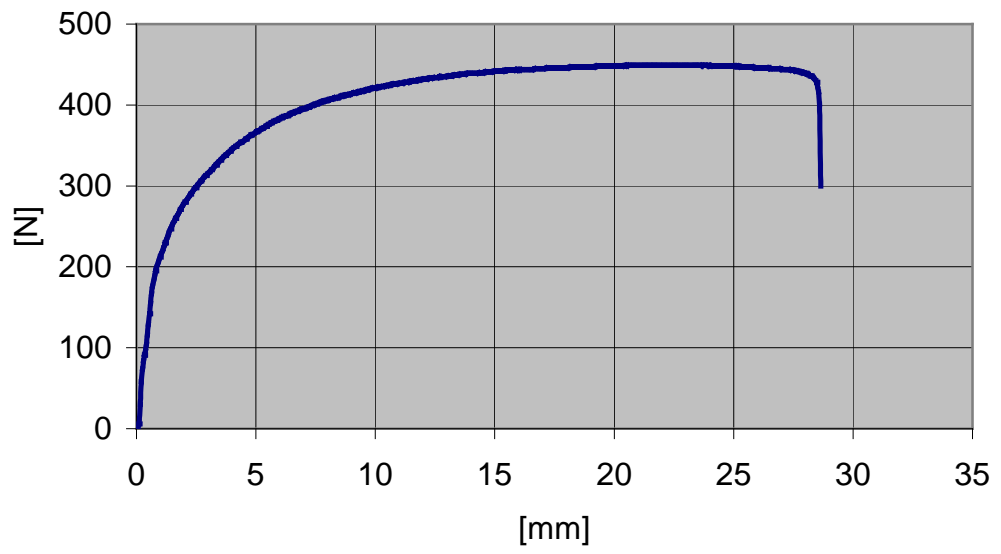
2-1-6



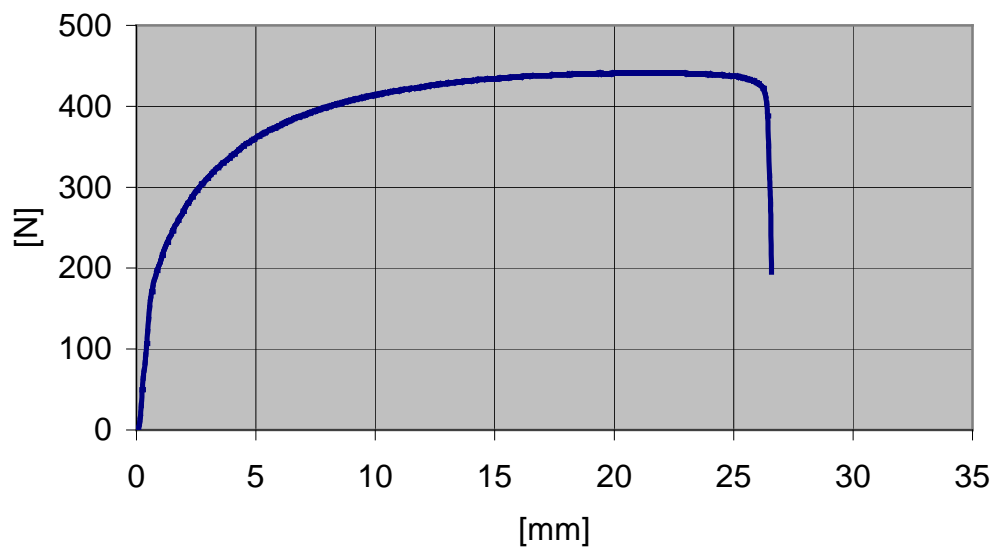
2-1-7

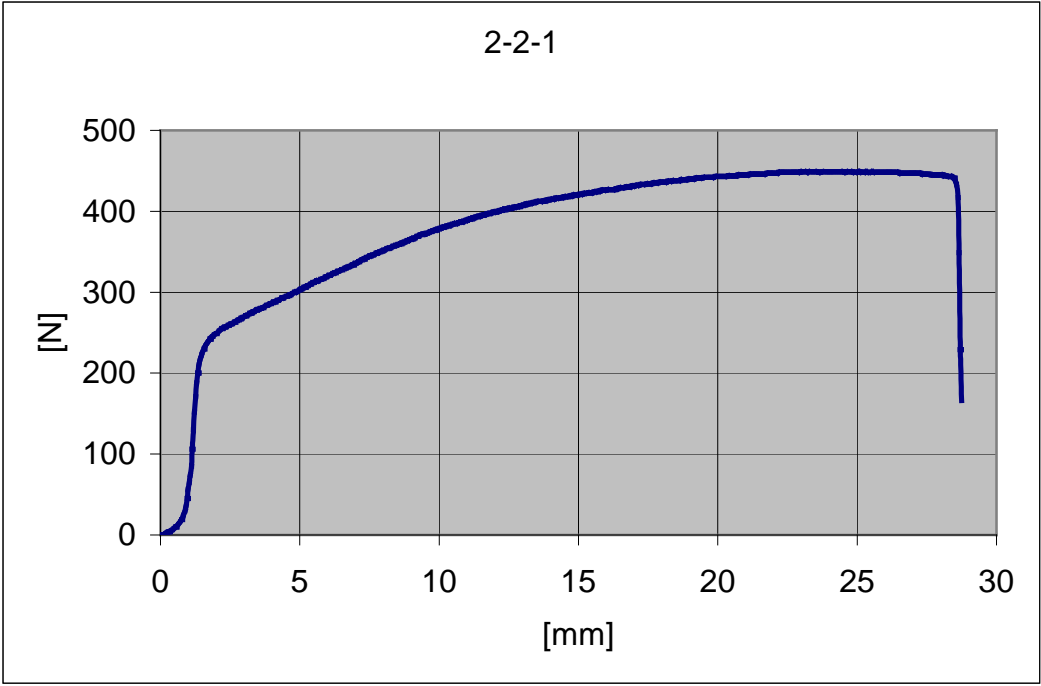
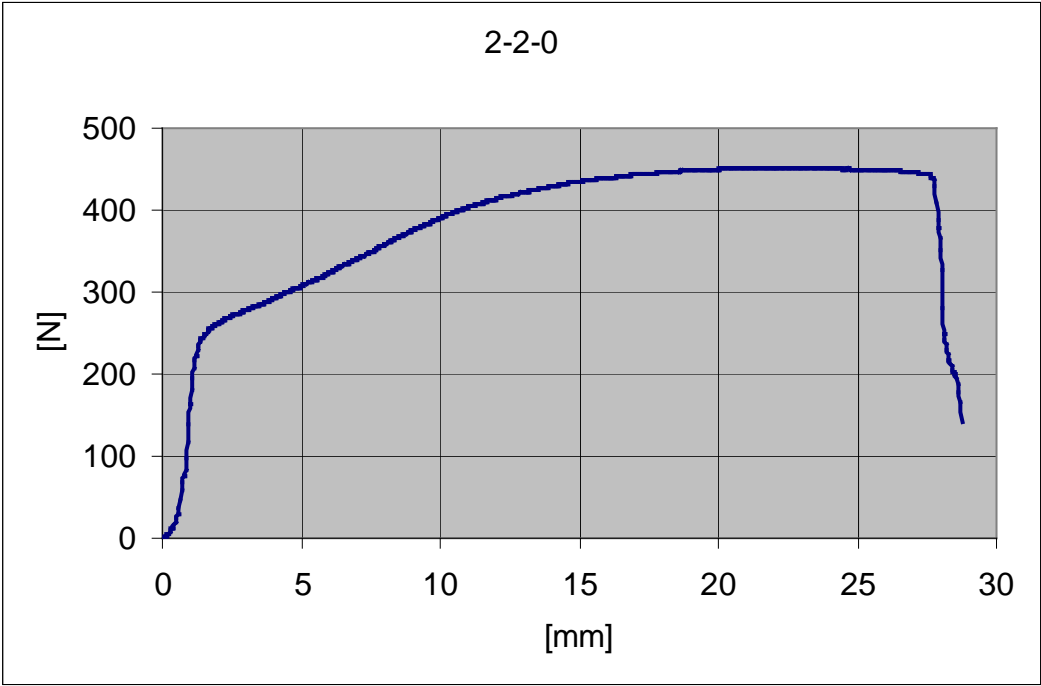


2-1-8

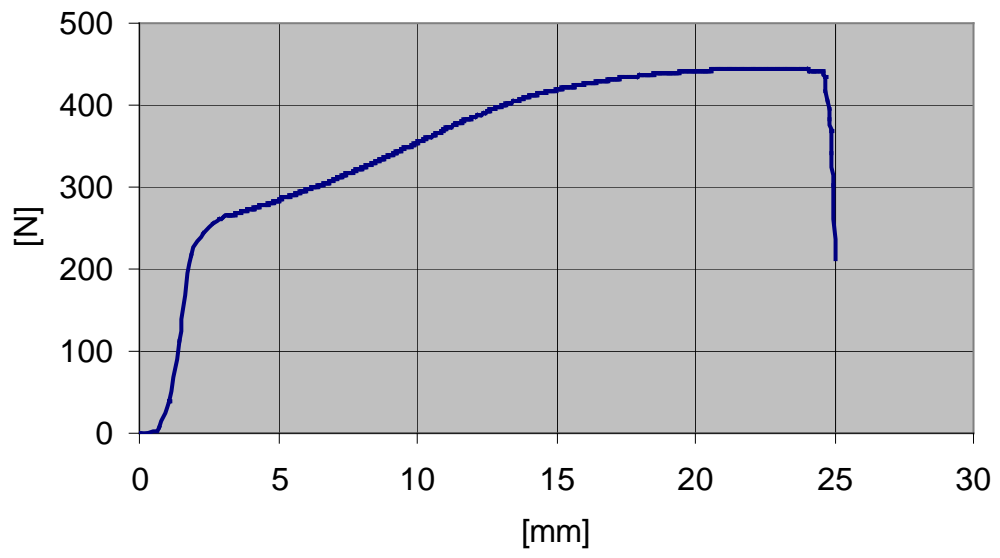


2-1-9

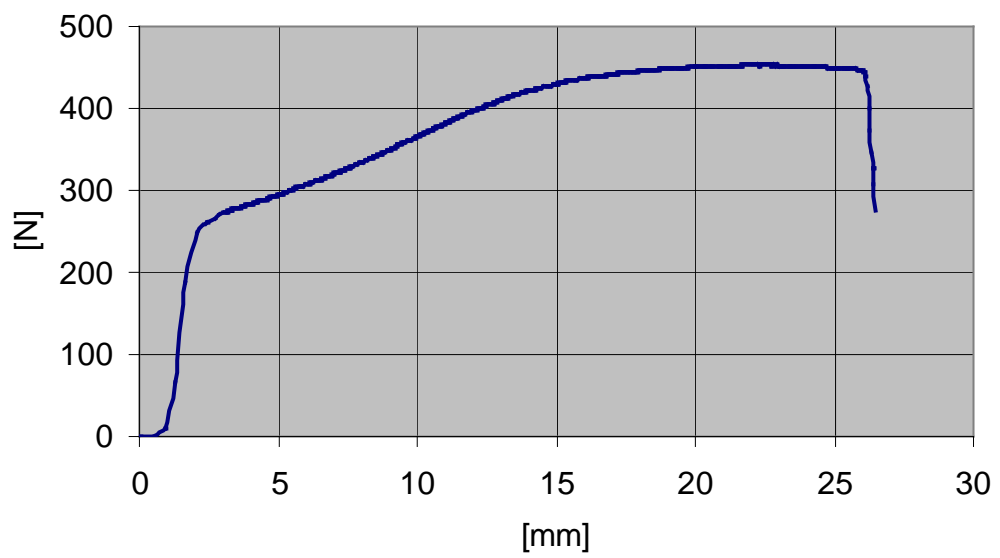




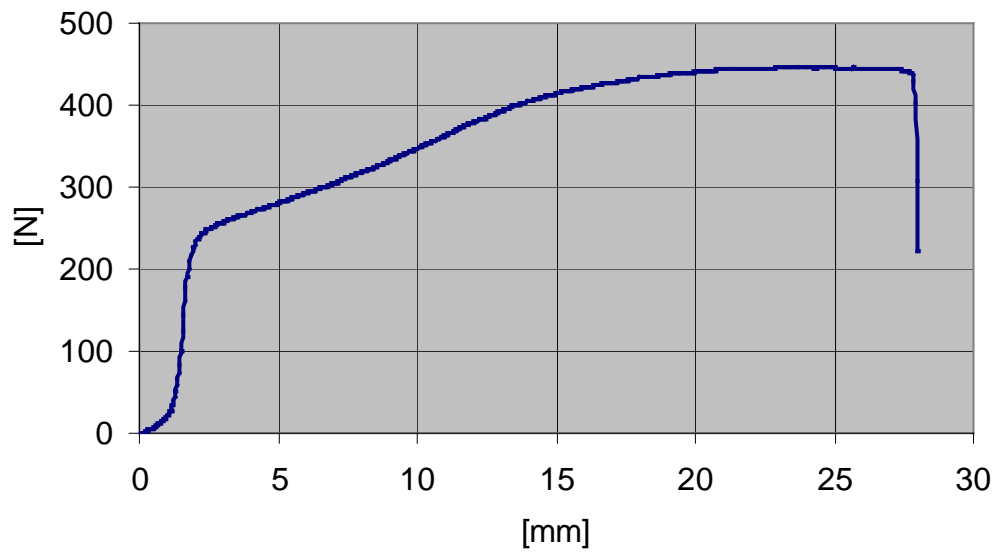
2-2-2



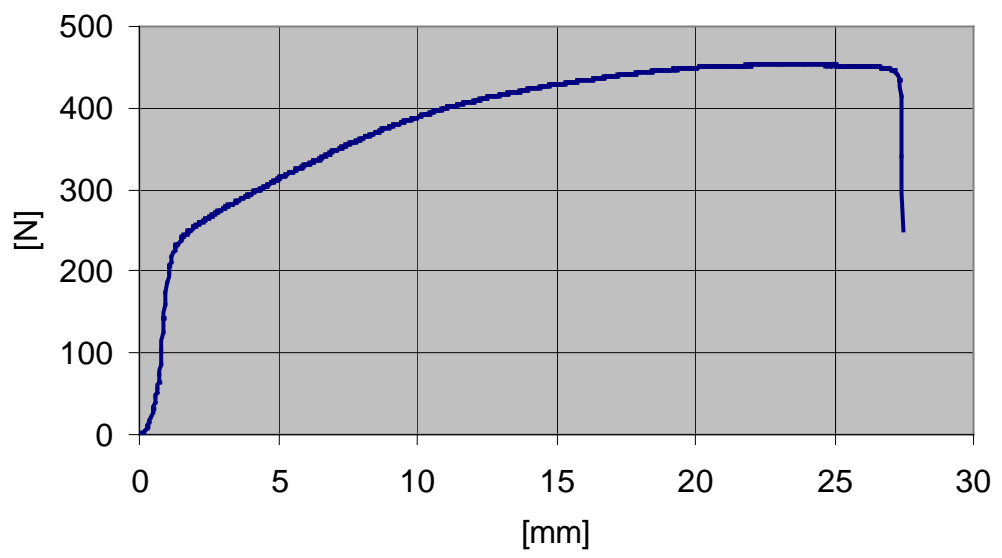
2-2-3



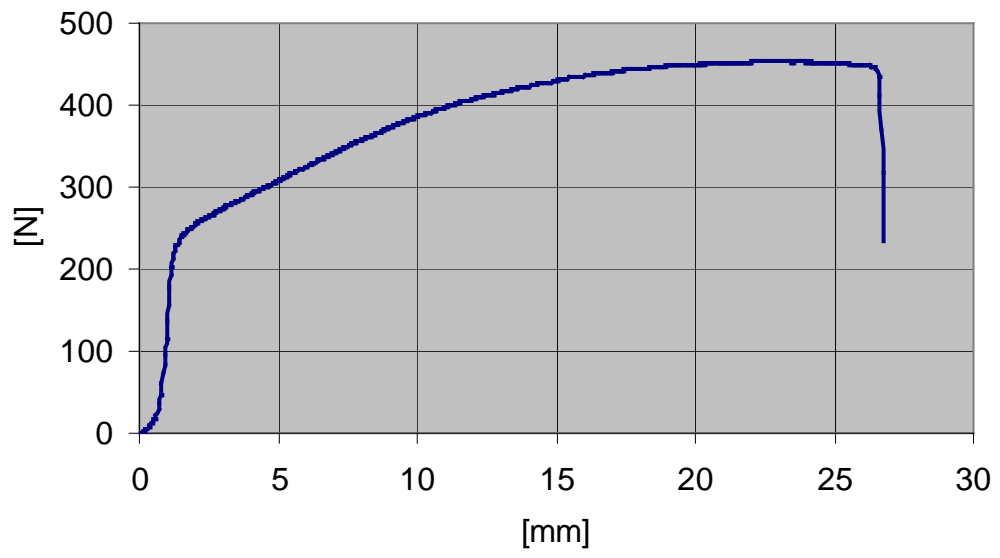
2-2-4



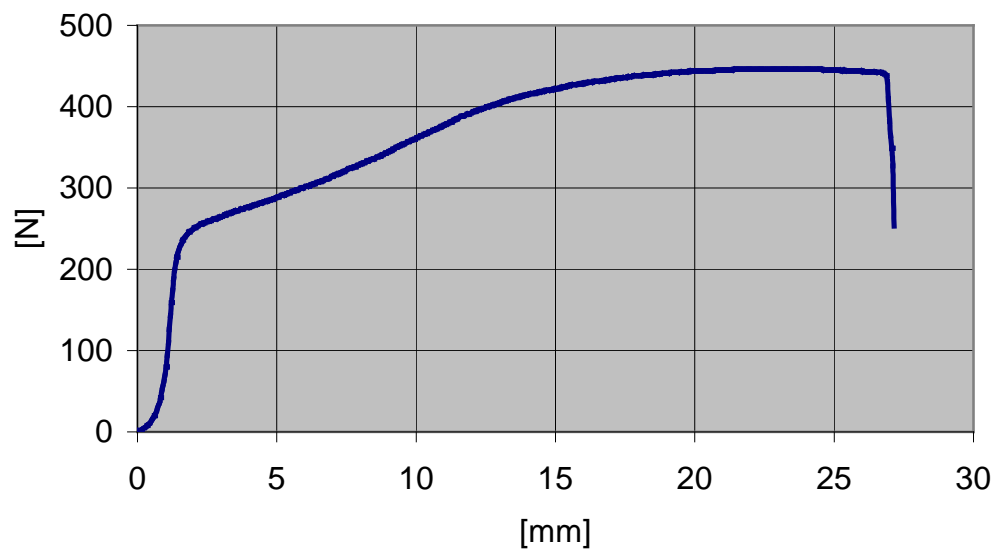
2-2-5



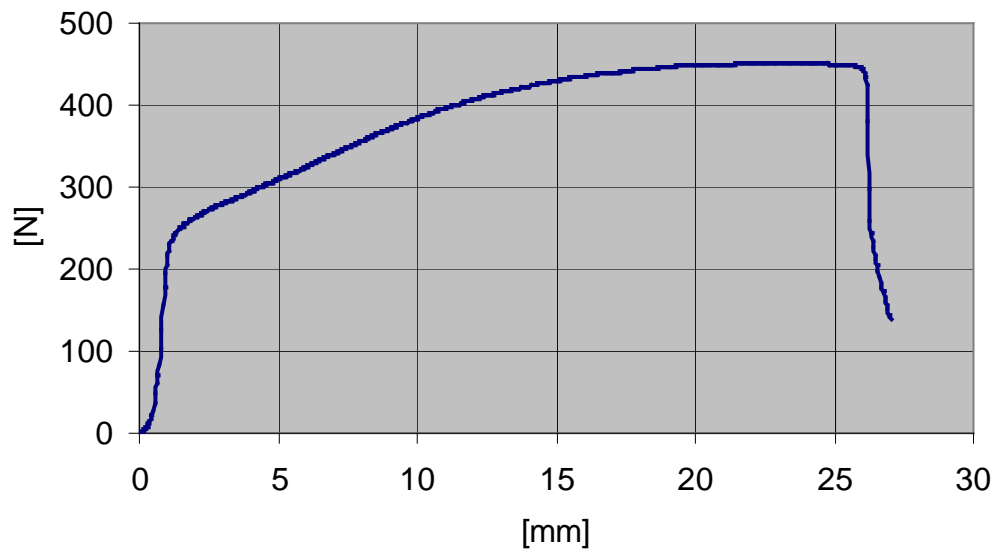
2-2-6



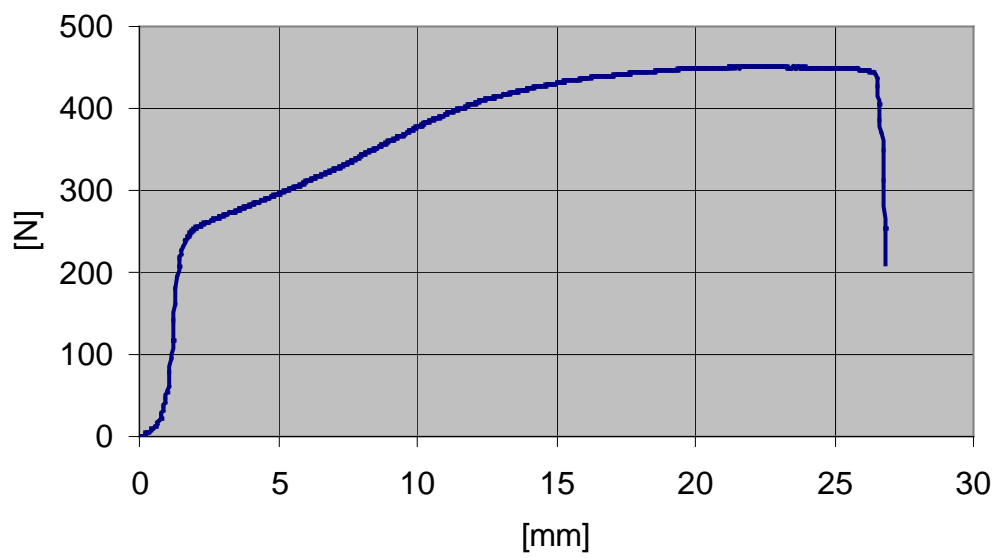
2-2-7



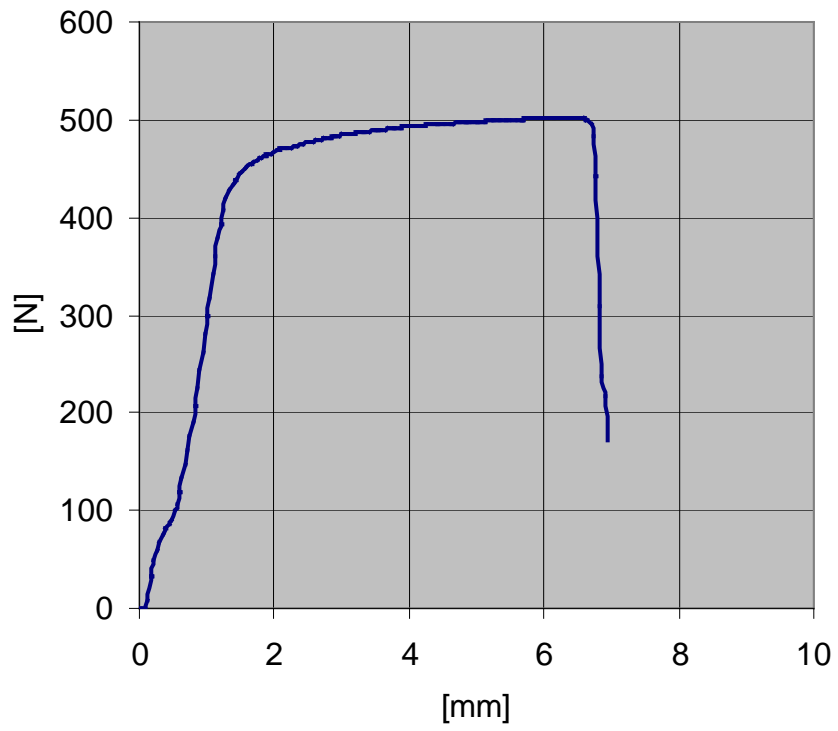
2-2-8



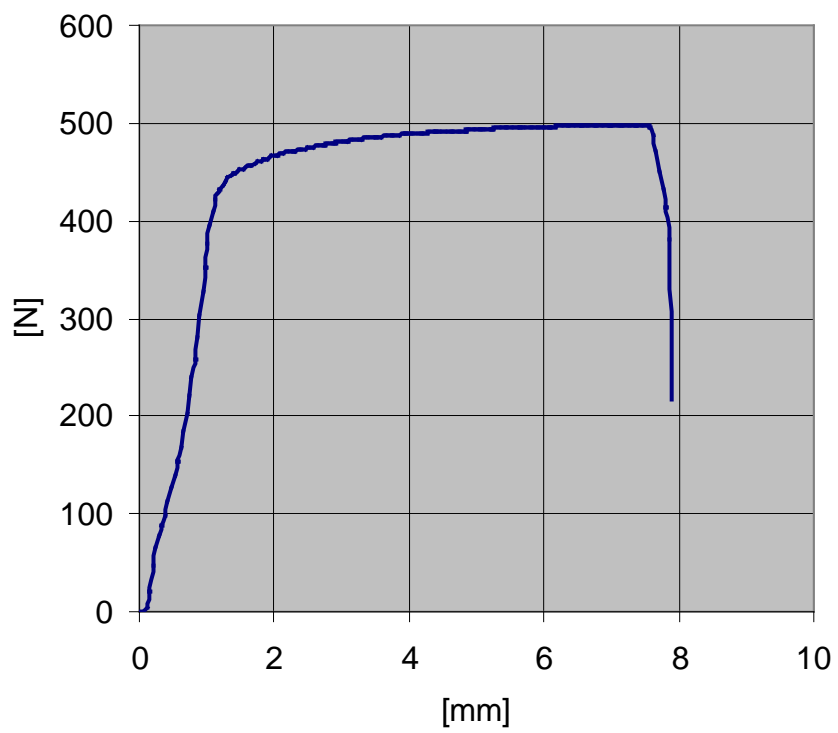
2-2-9



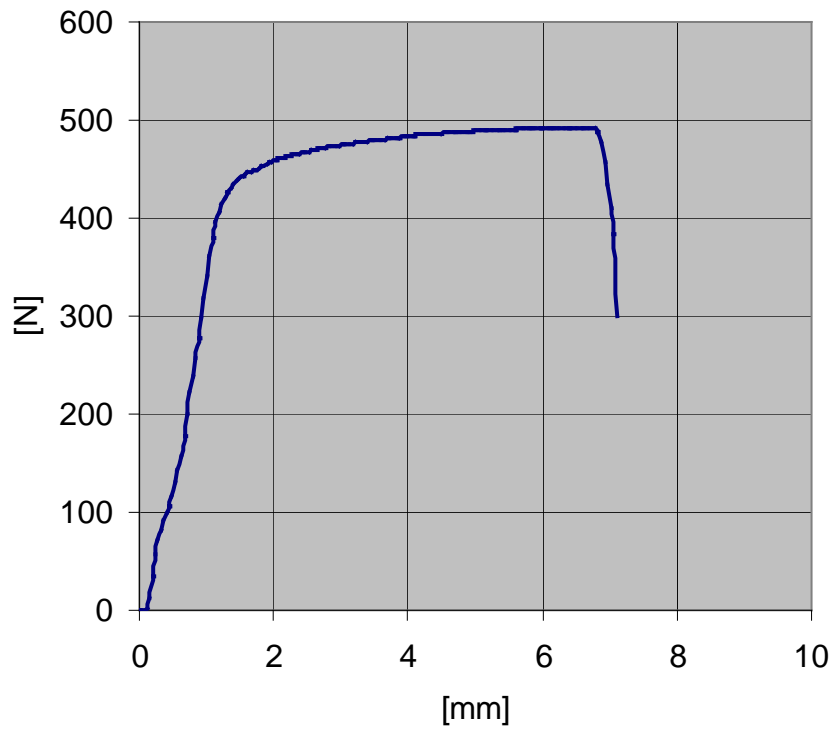
2-3-0



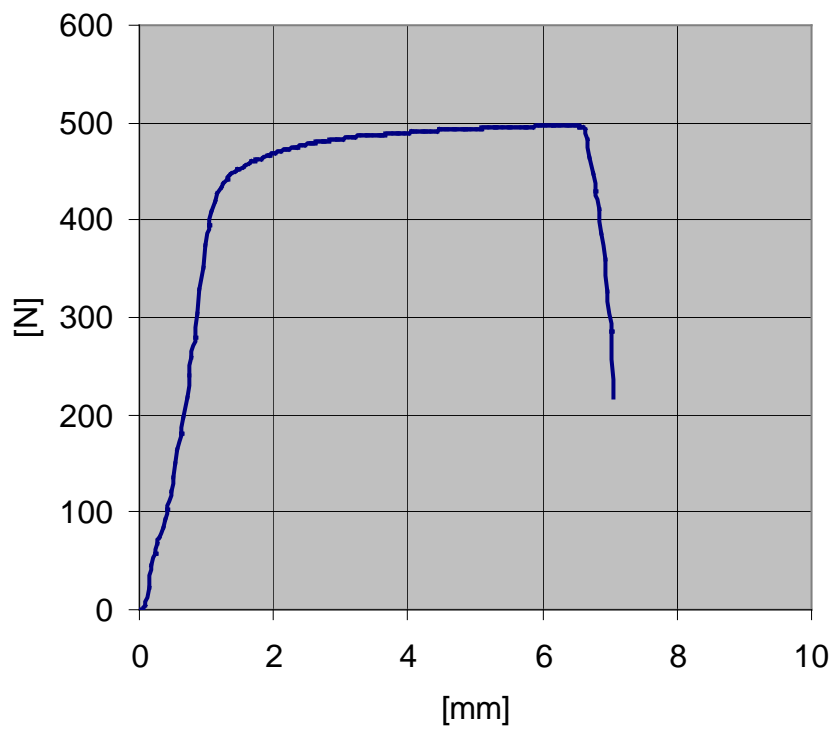
2-3-1



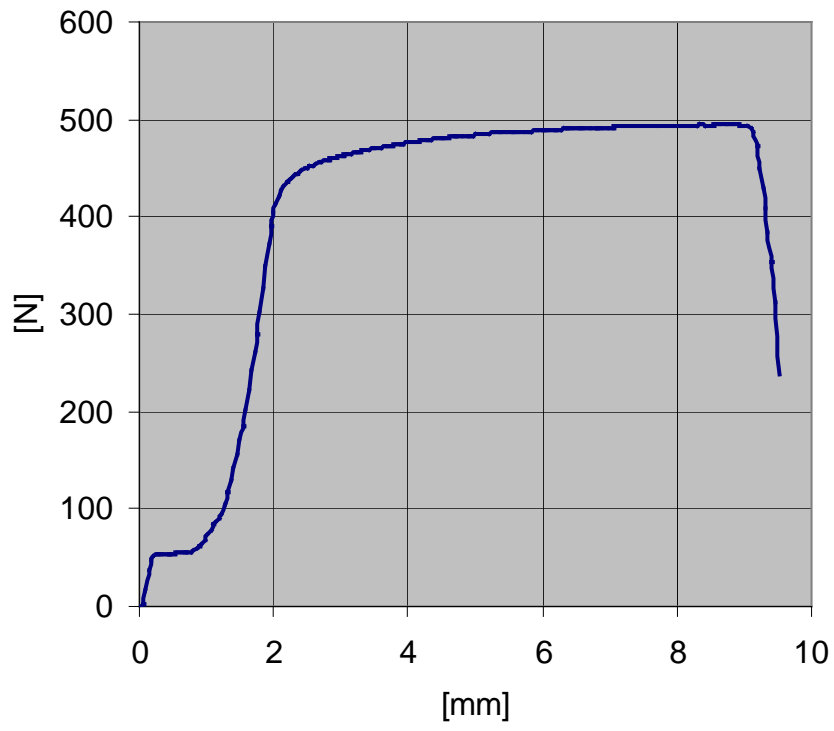
2-3-2



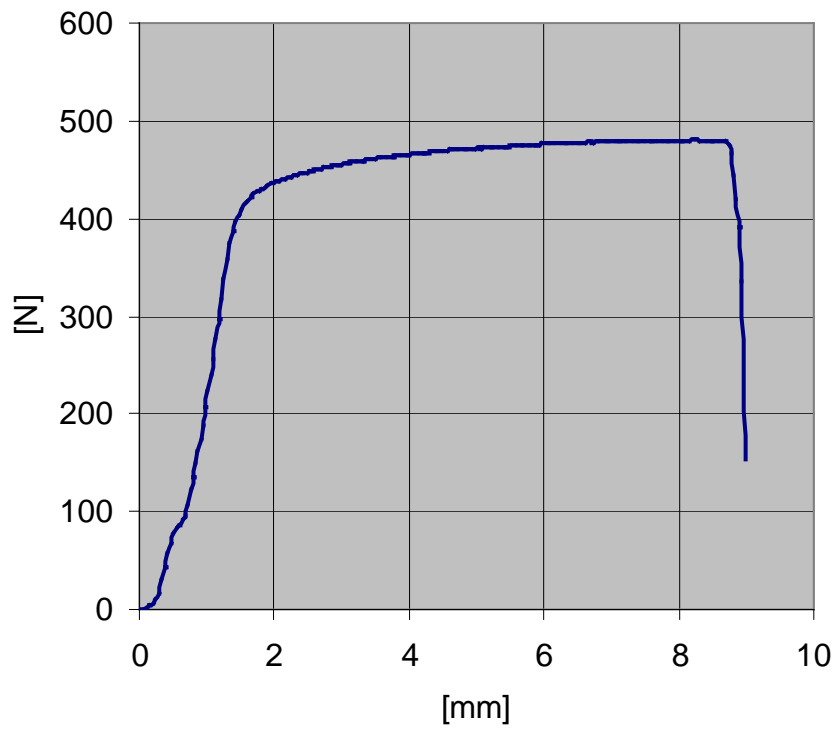
2-3-3



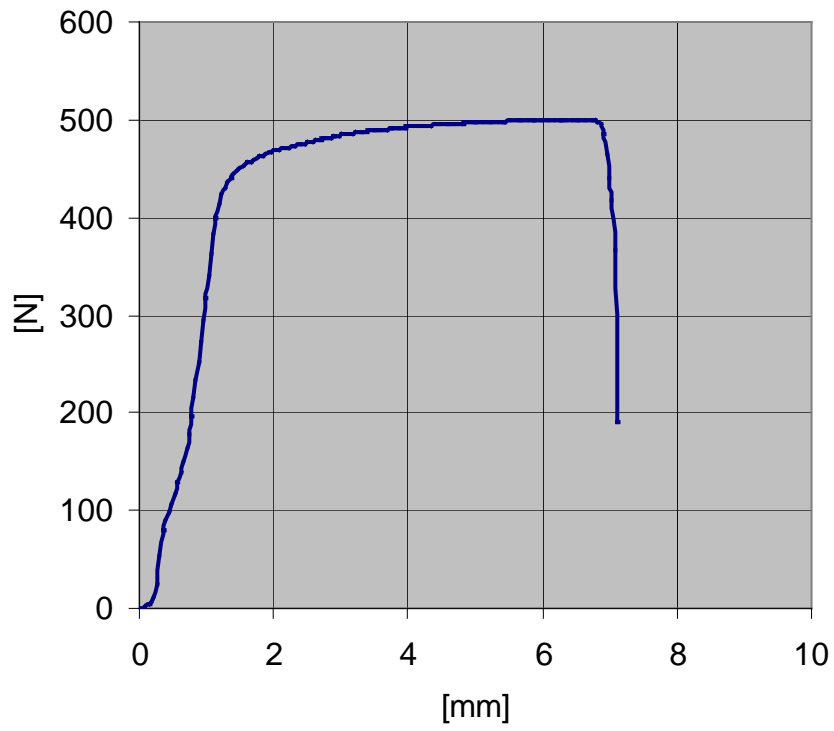
2-3-4



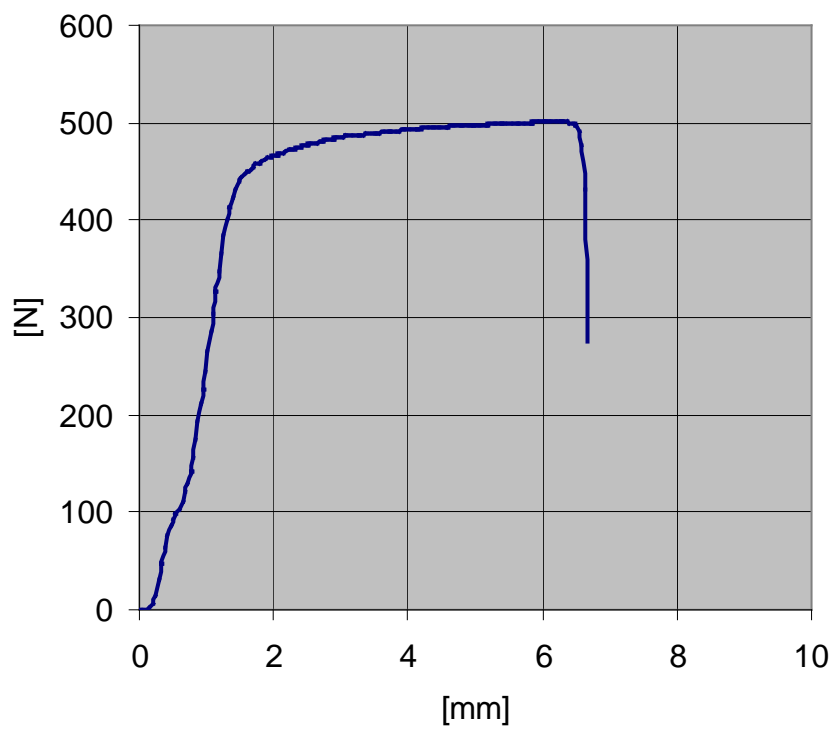
2-3-5



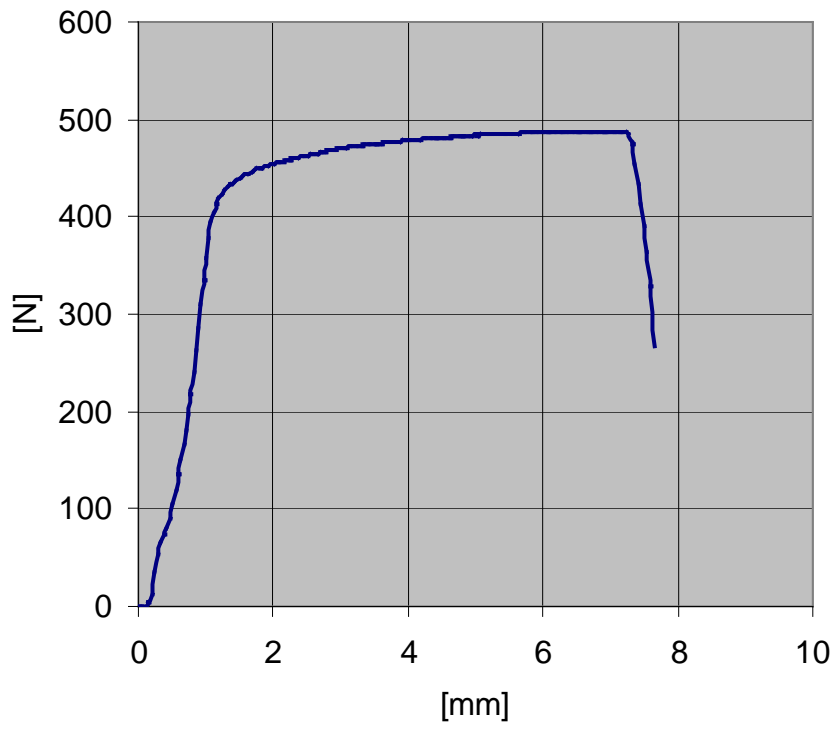
2-3-6



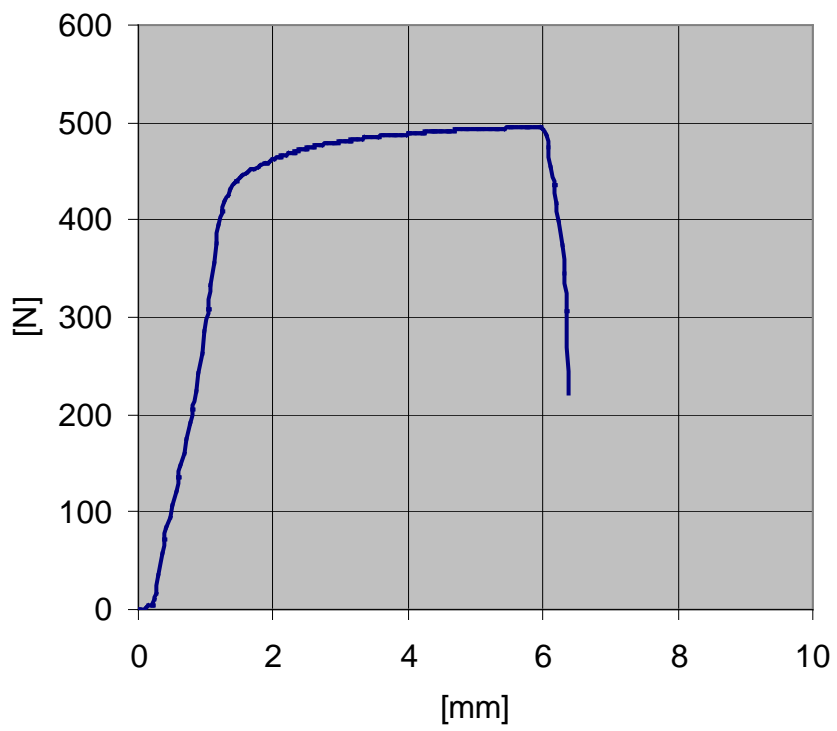
2-3-7



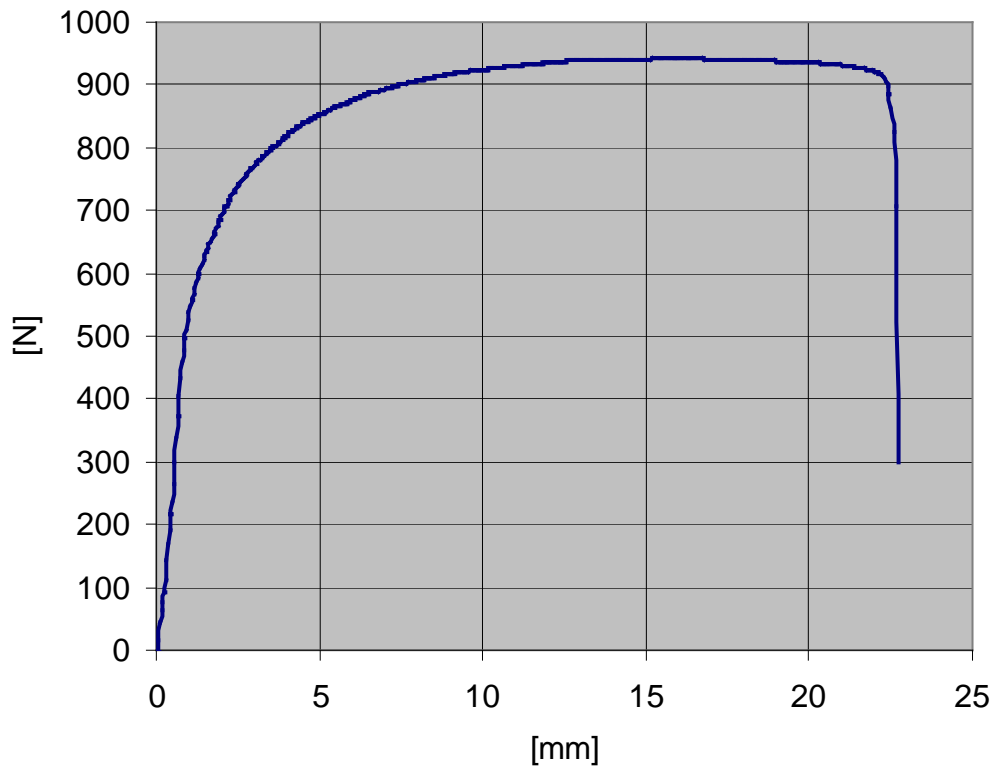
2-3-8



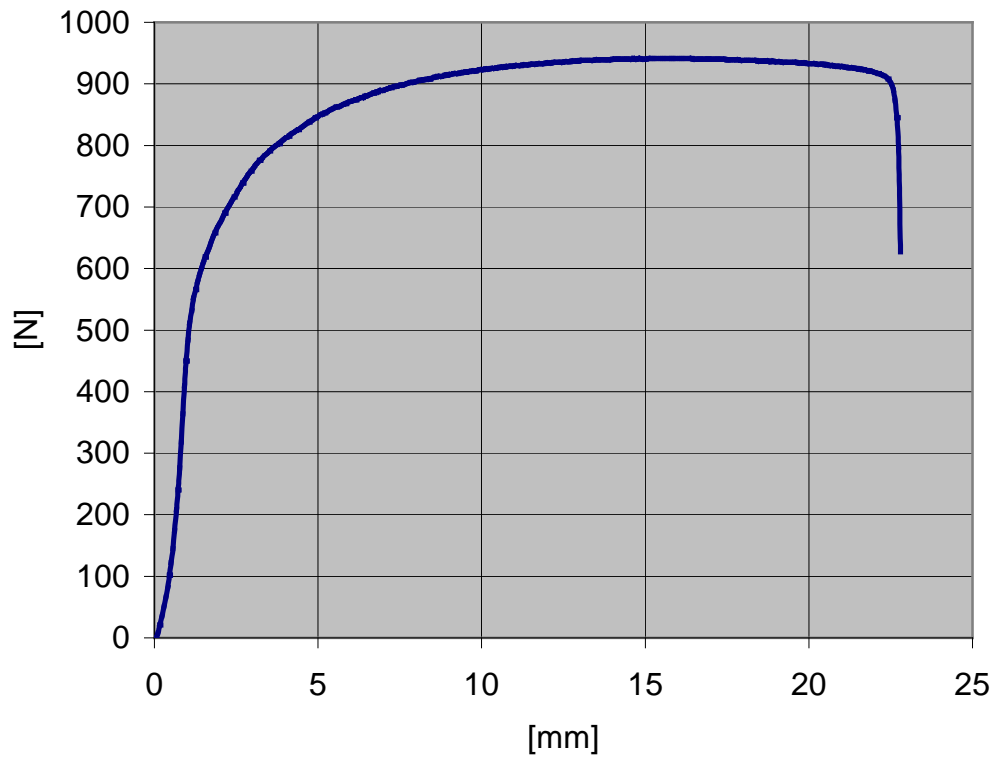
2-3-9



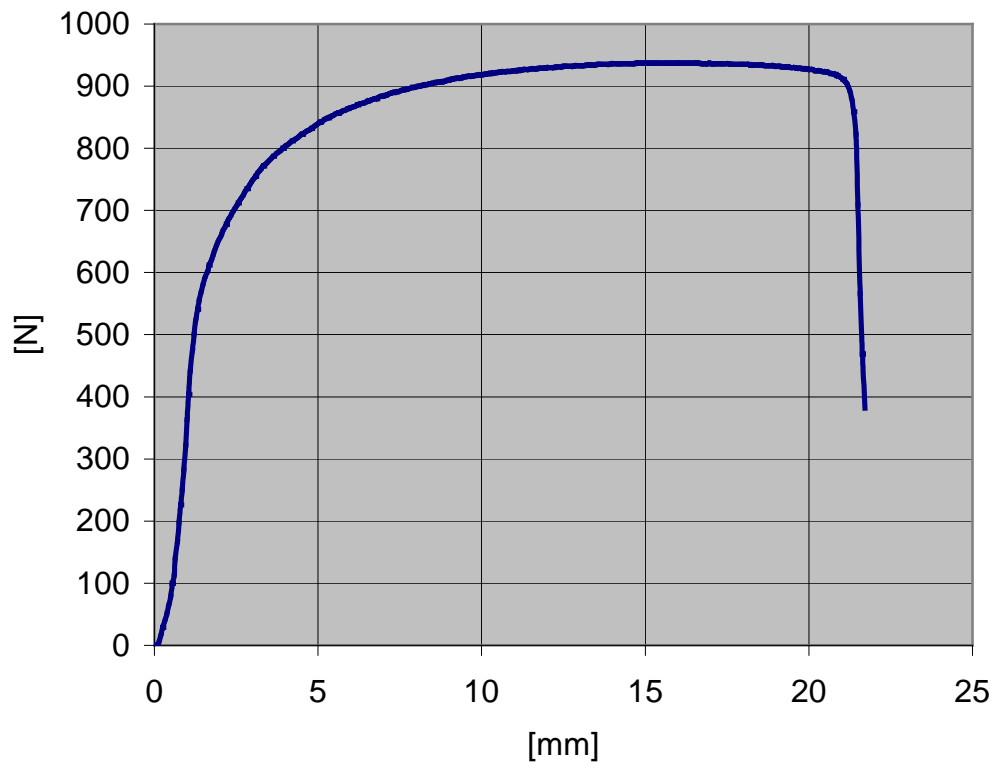
3-1-0



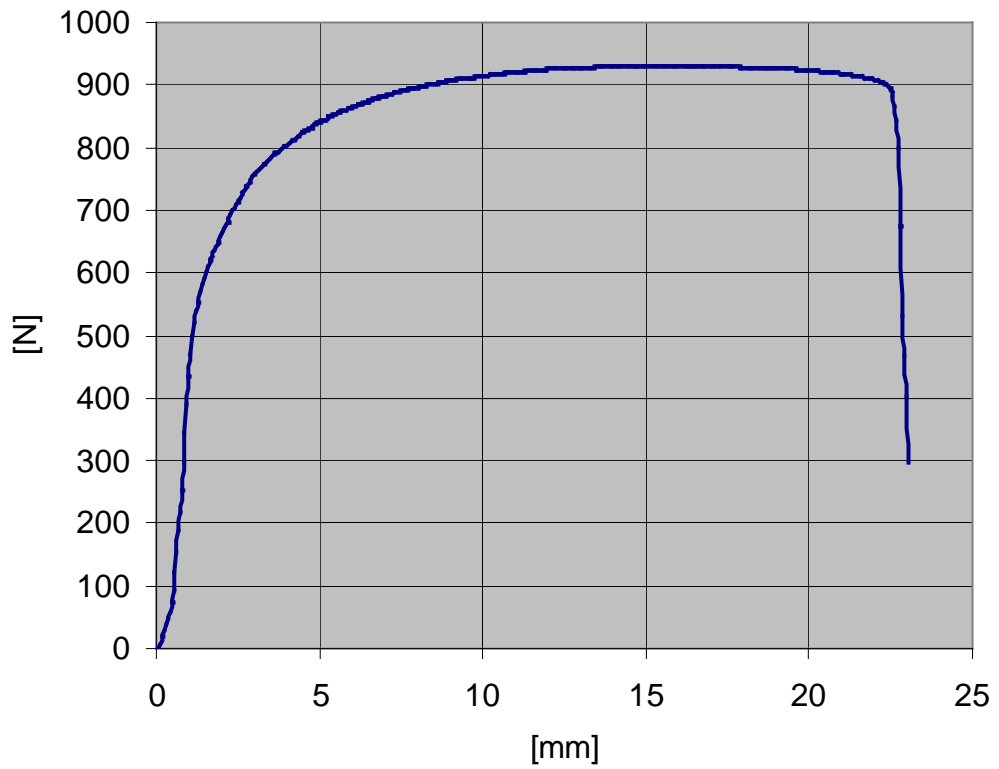
3-1-1



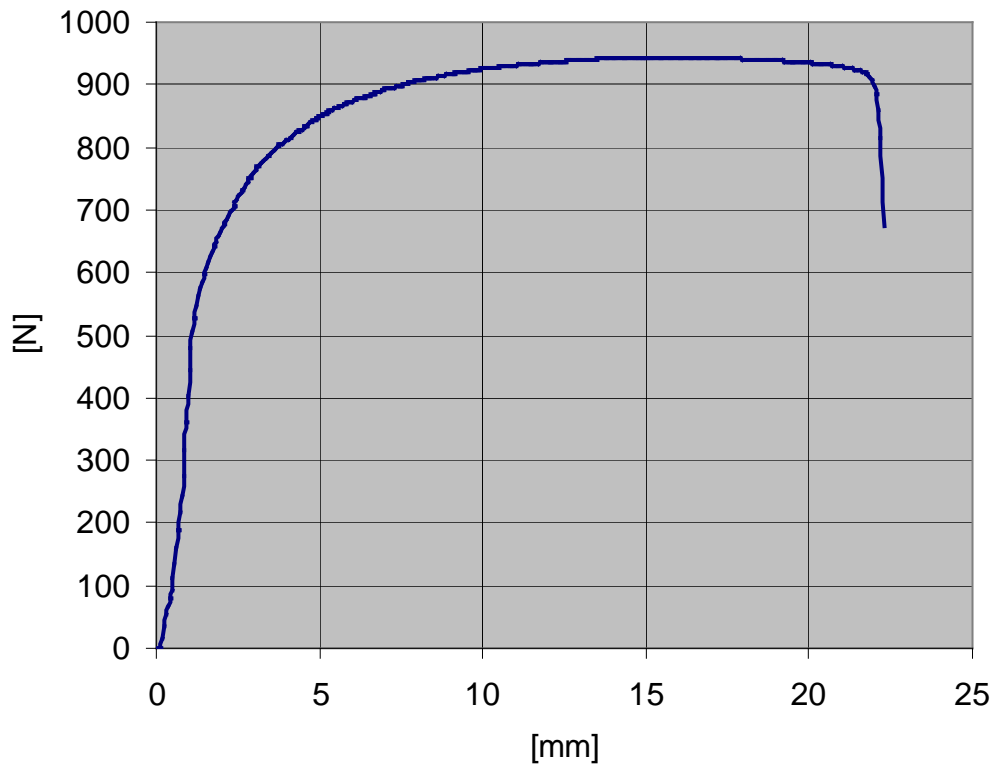
3-1-2



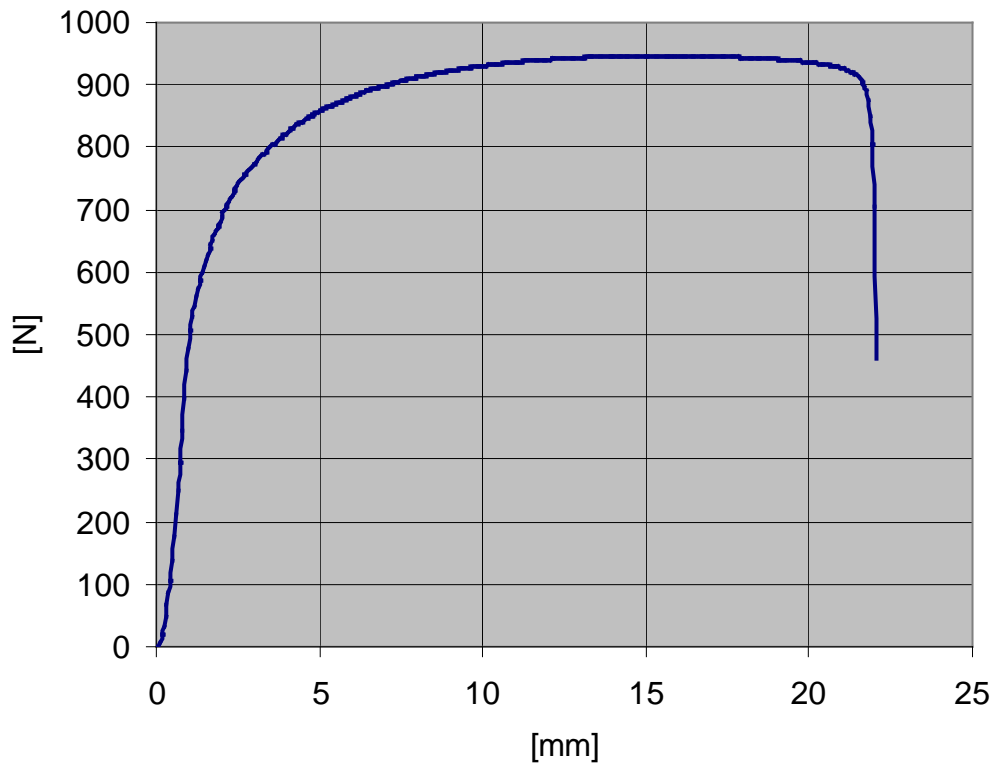
3-1-3



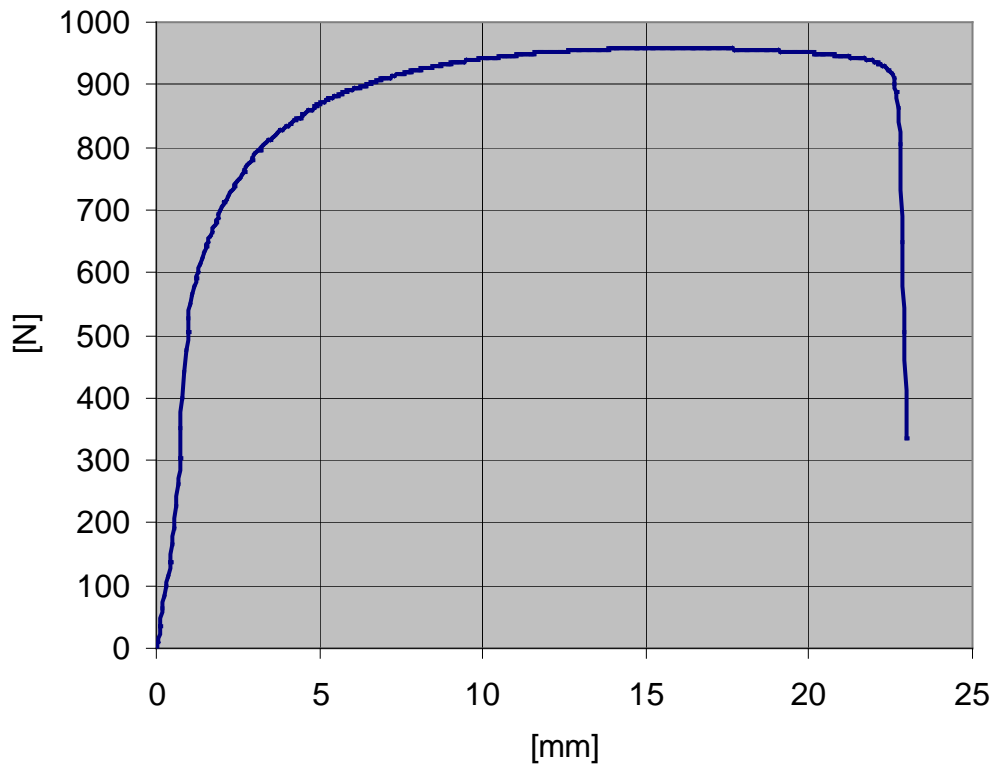
3-1-4



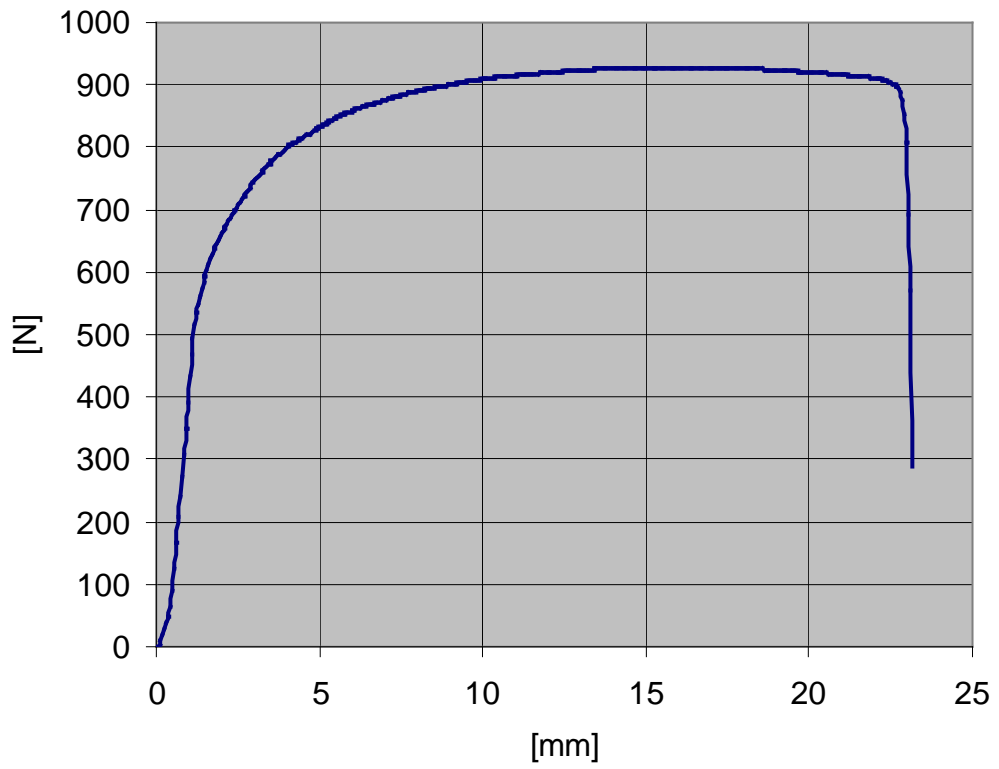
3-1-5



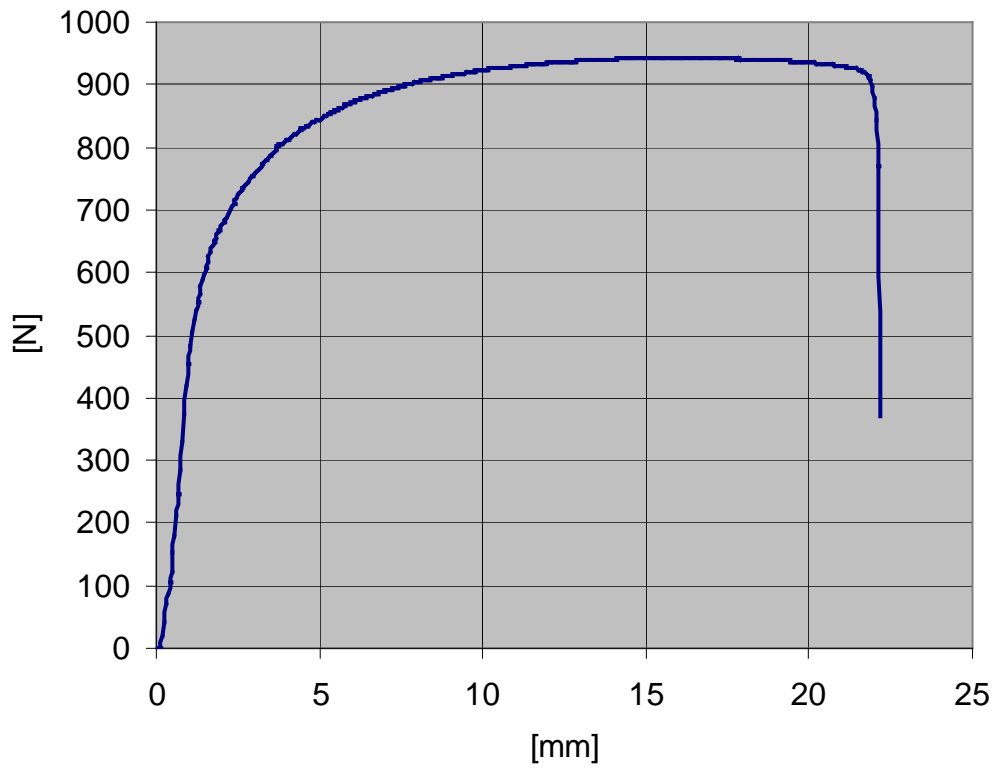
3-1-6



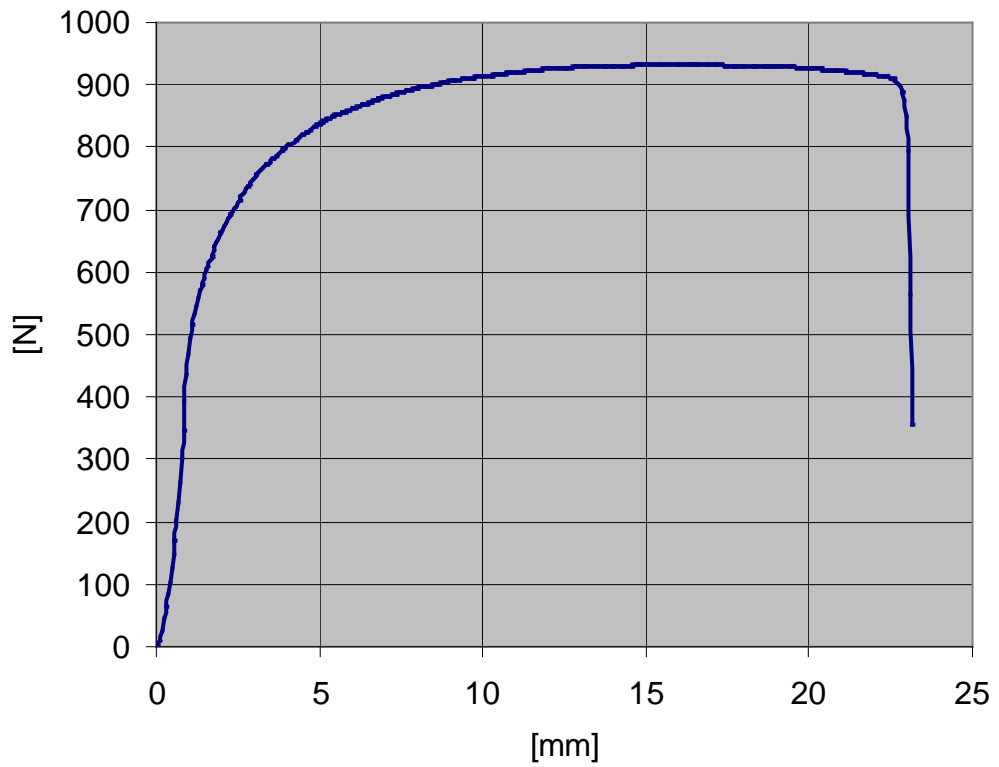
3-1-7



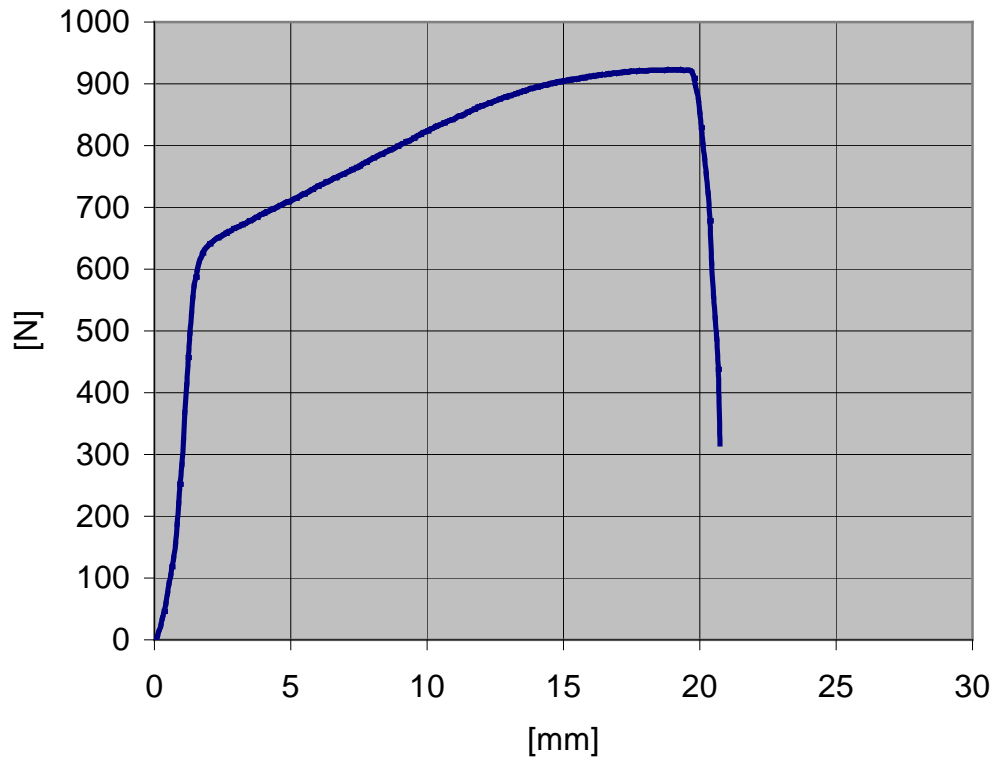
3-1-8



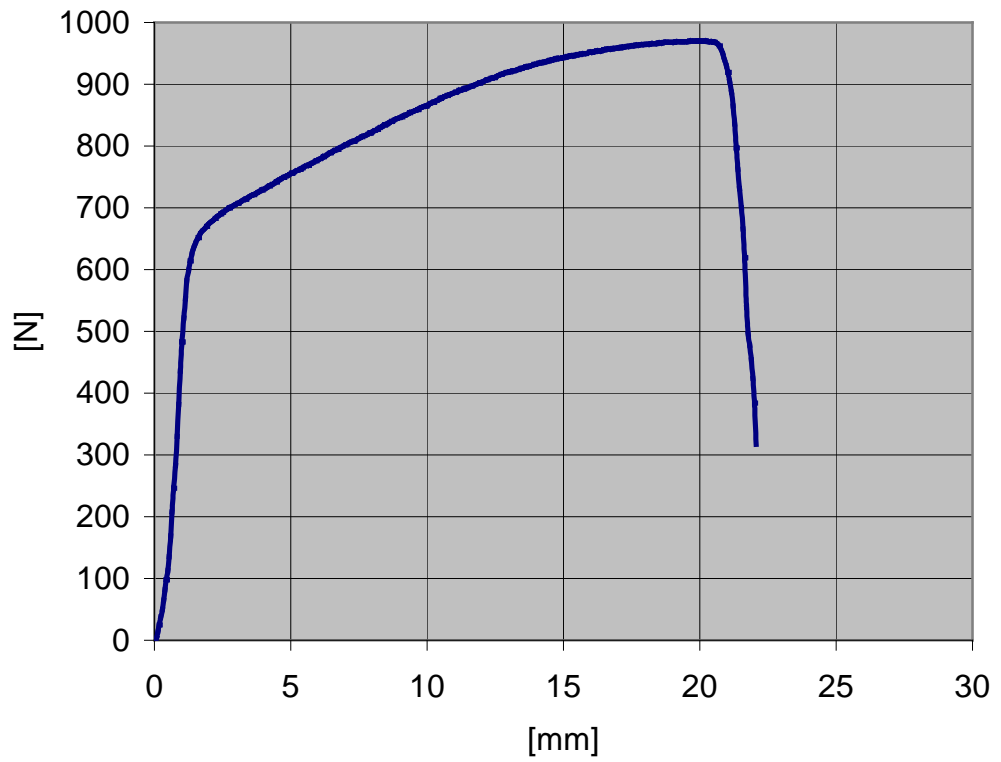
3-1-9



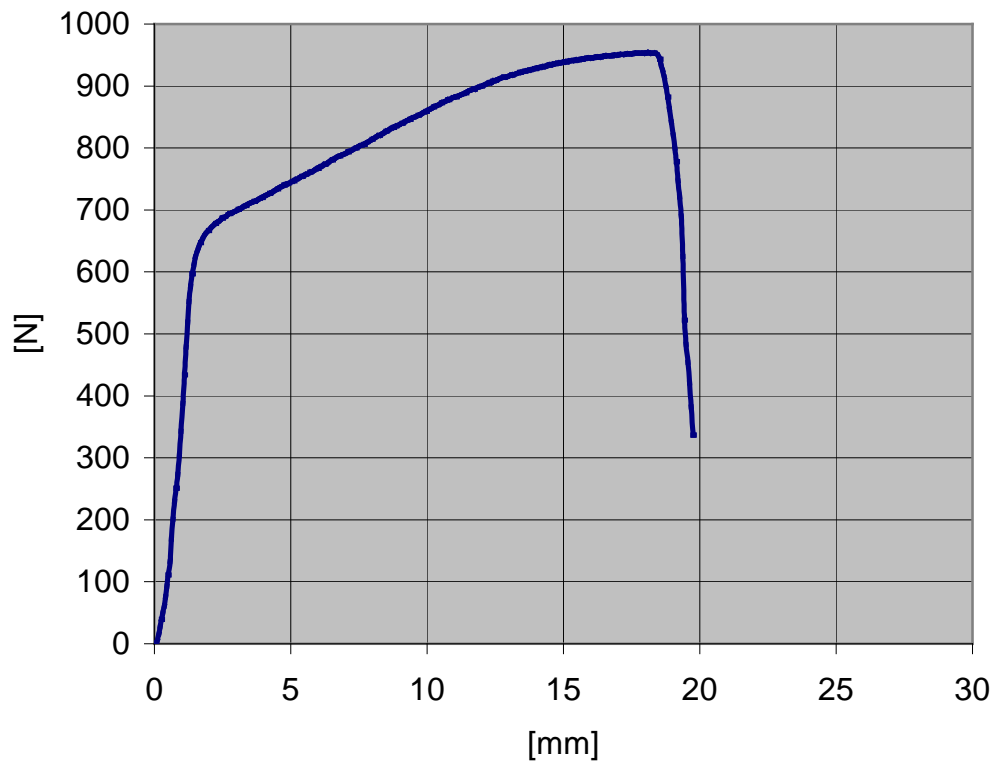
3-2-0



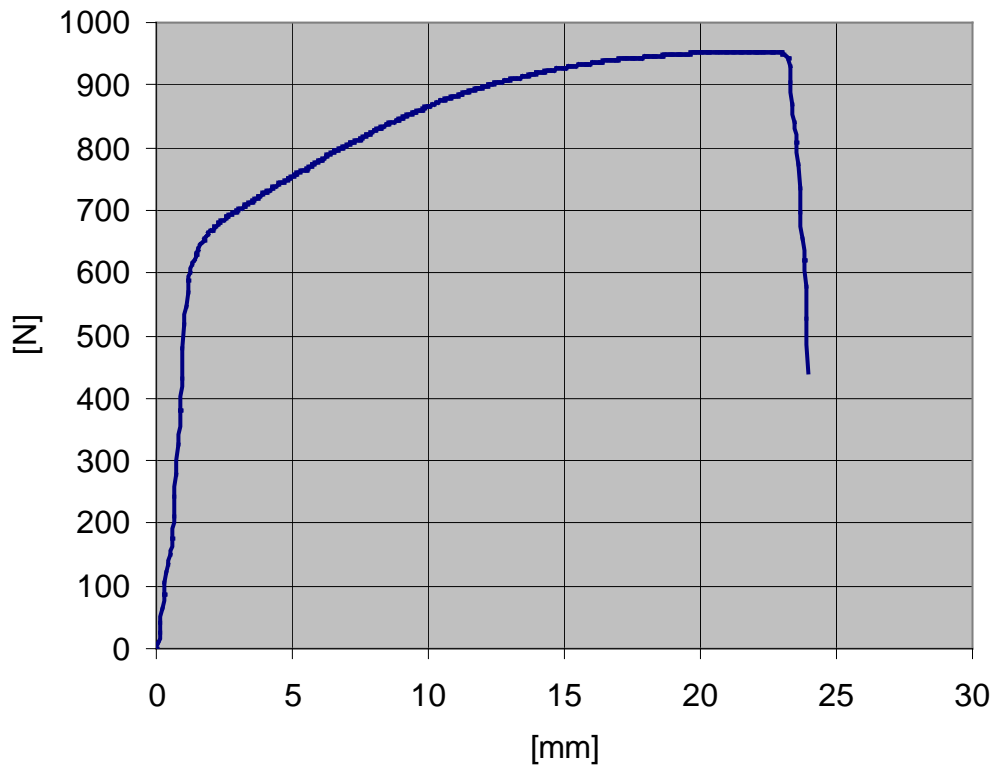
3-2-1



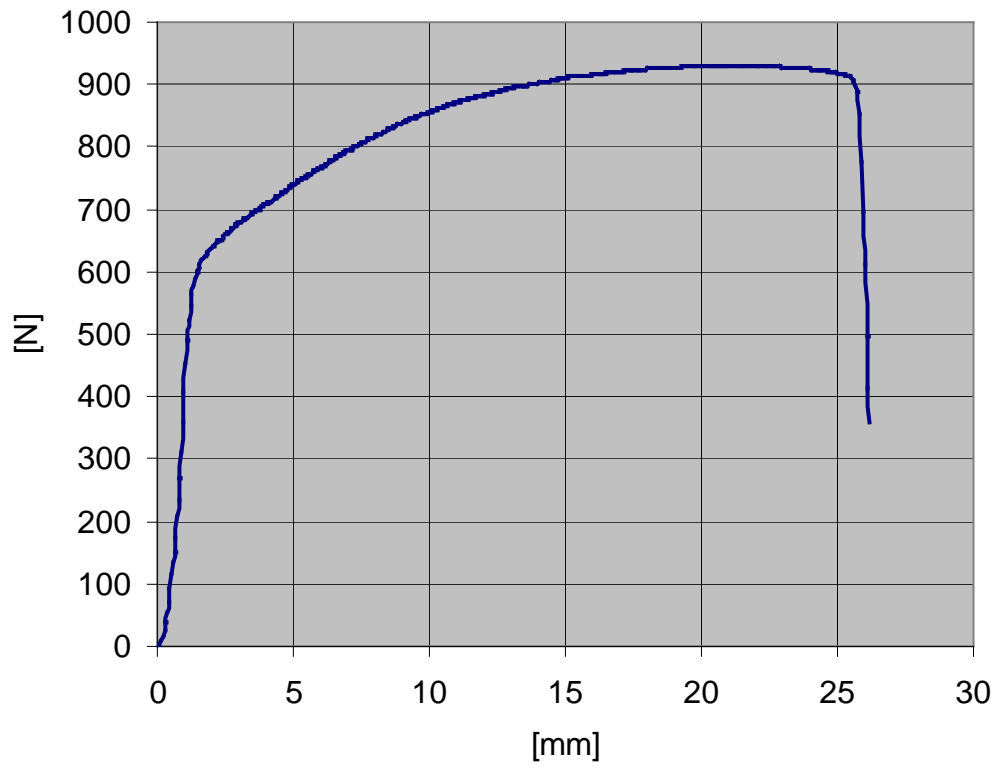
3-2-2



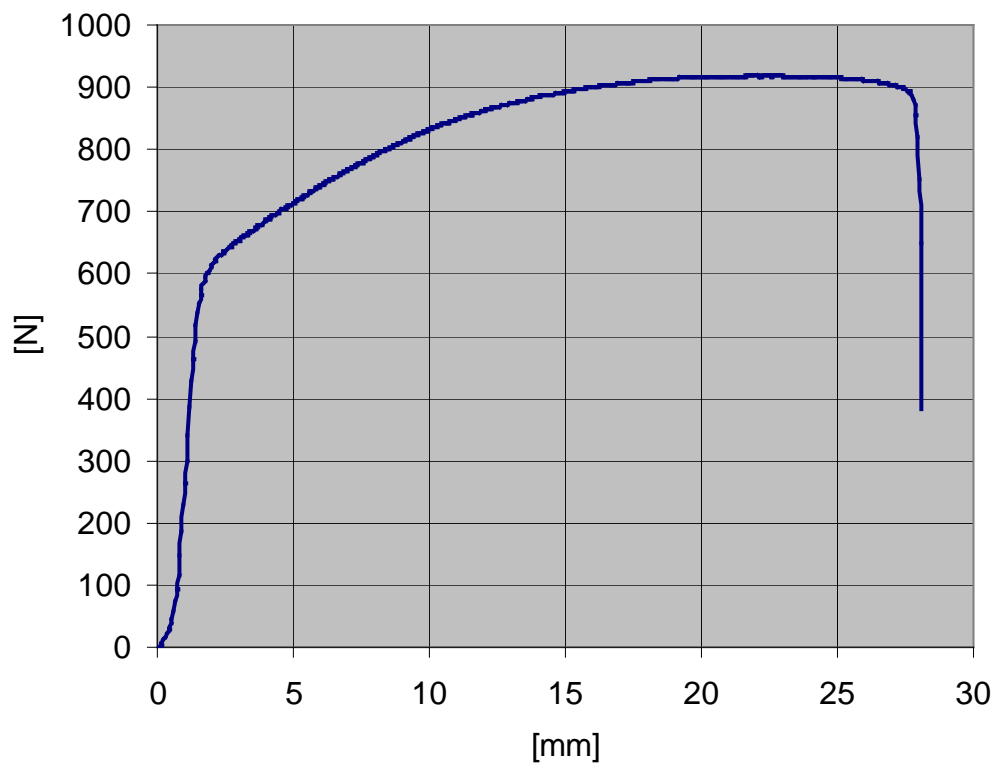
3-2-3



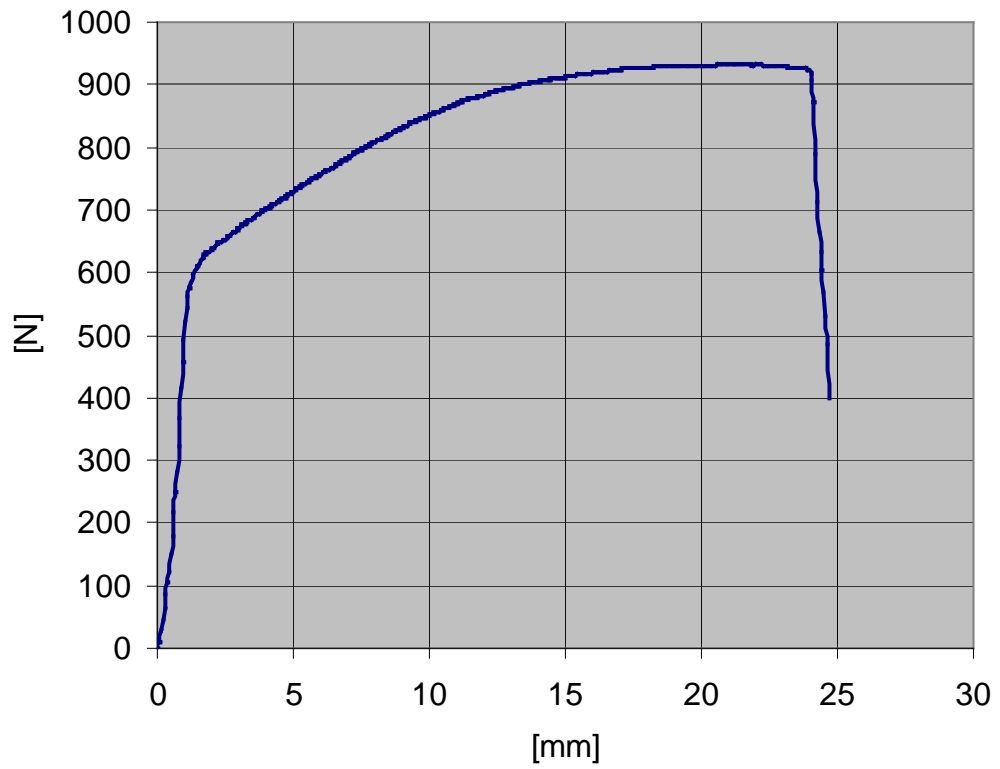
3-2-4



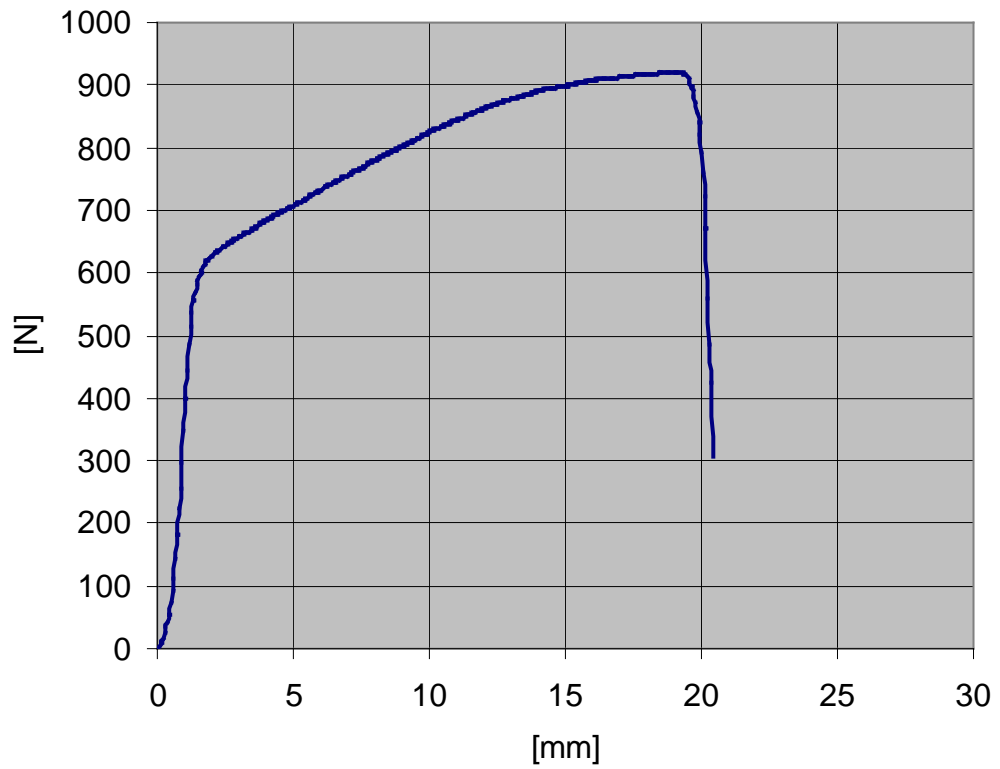
3-2-5



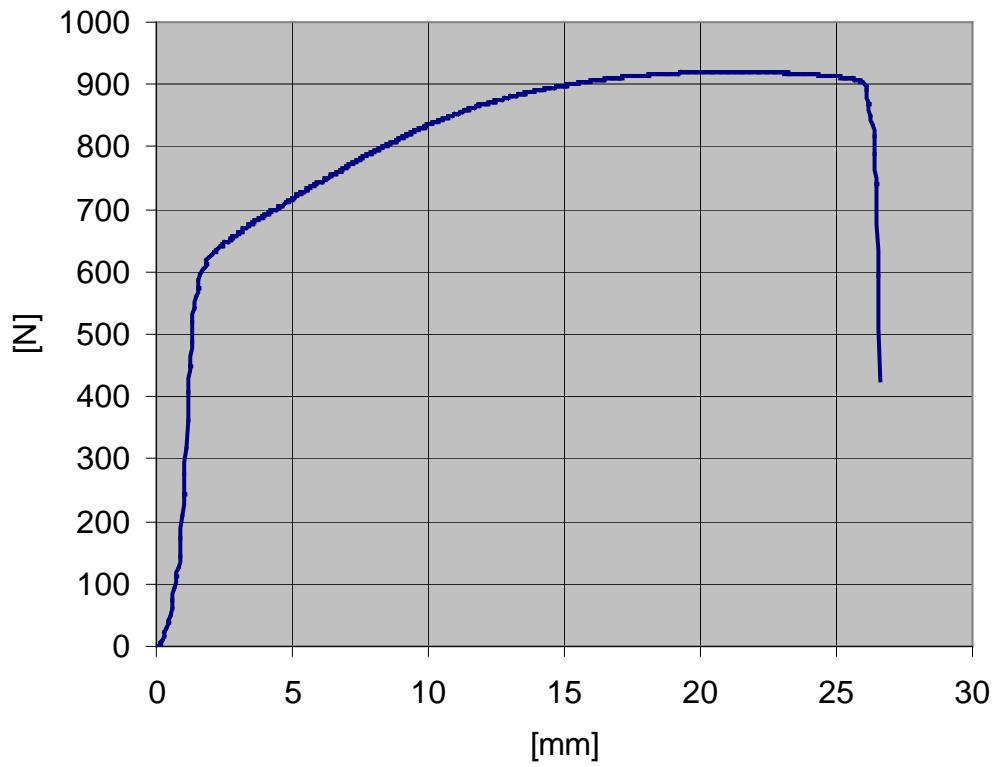
3-2-6



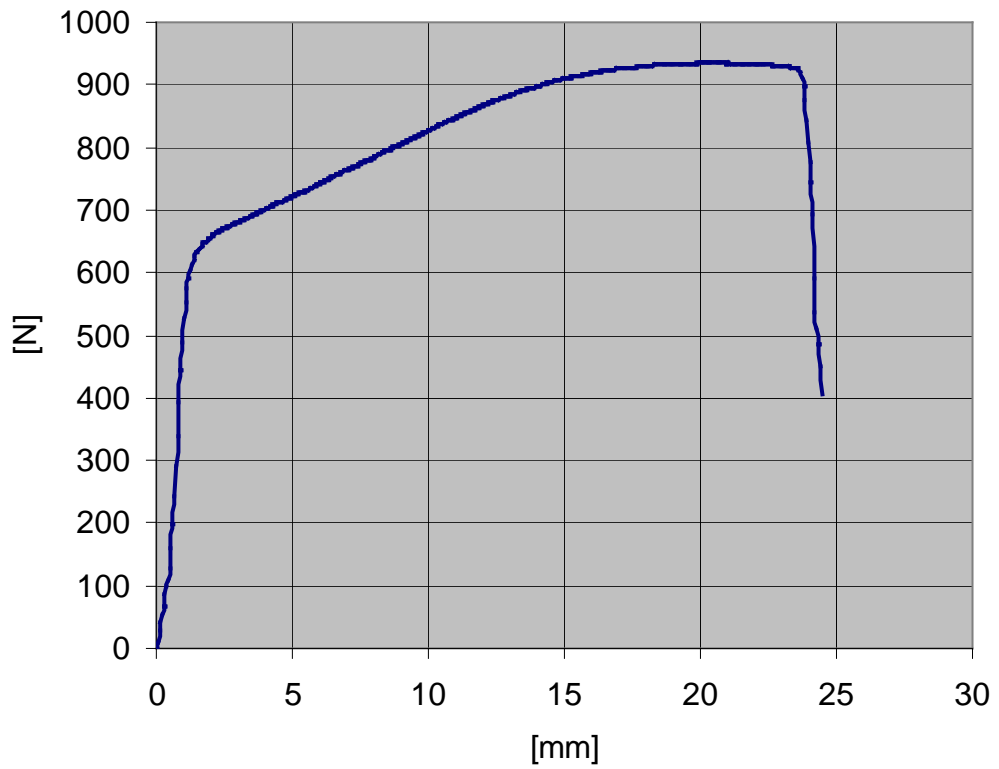
3-2-7



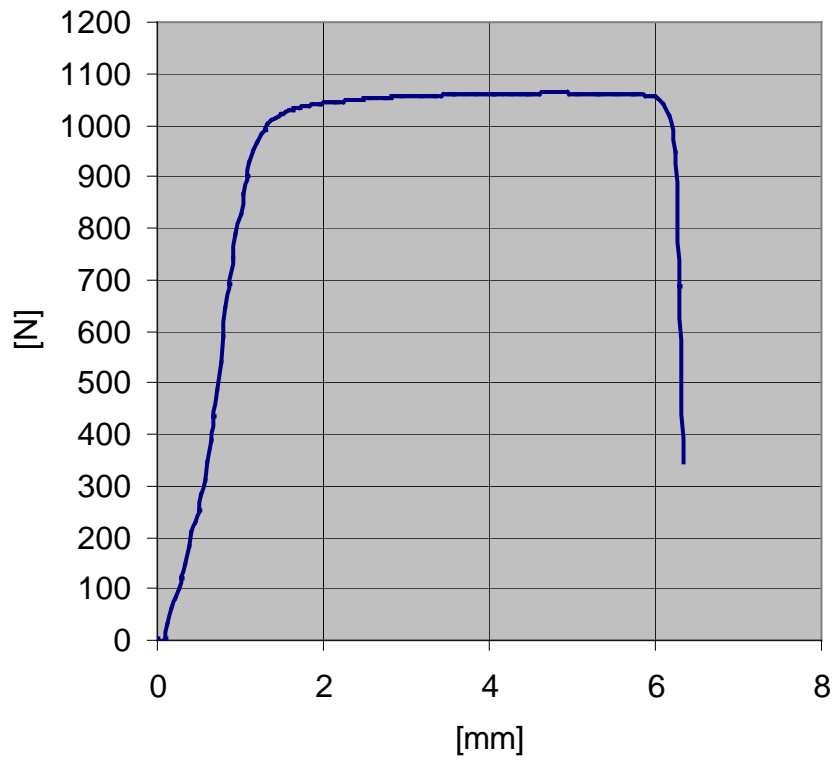
3-2-8



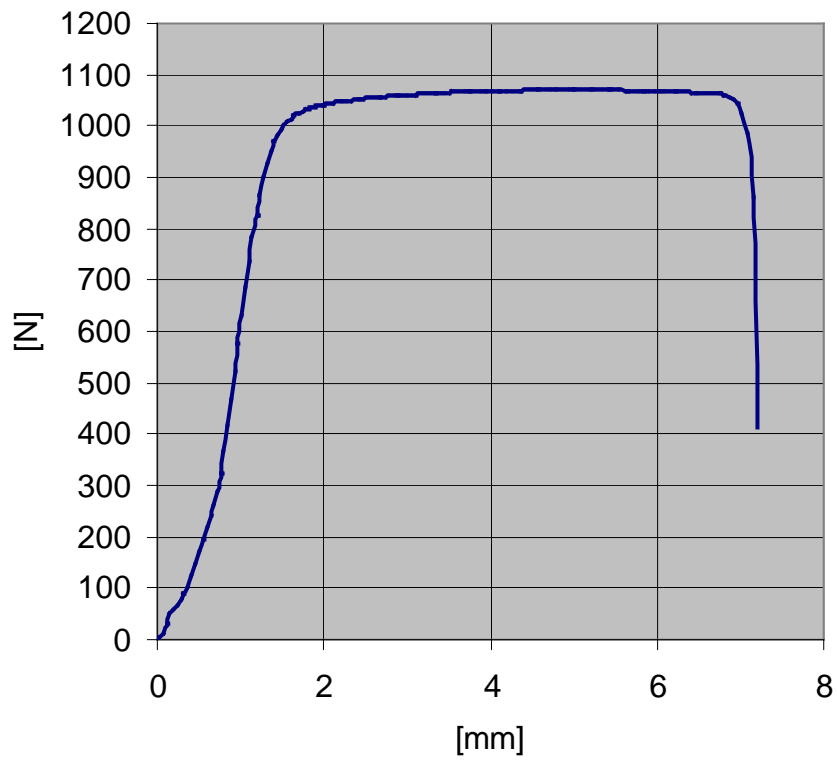
3-2-9



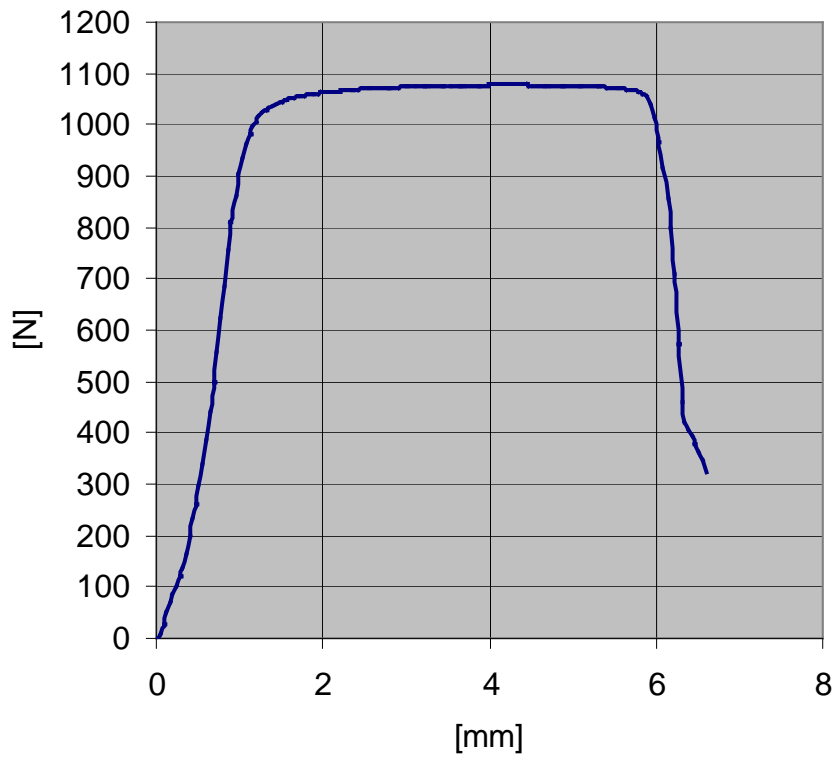
3-3-0



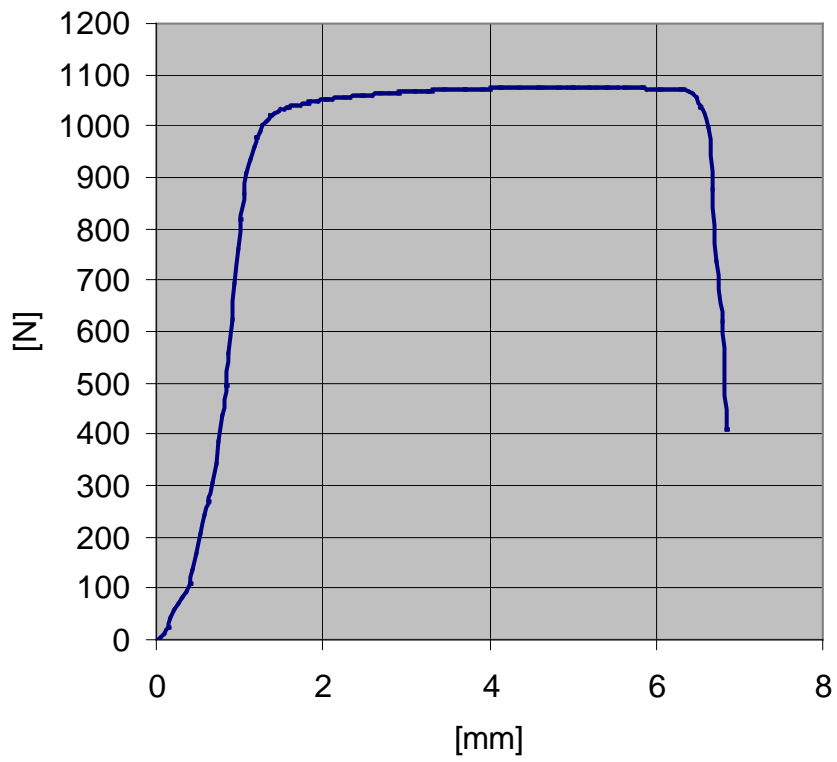
3-3-1



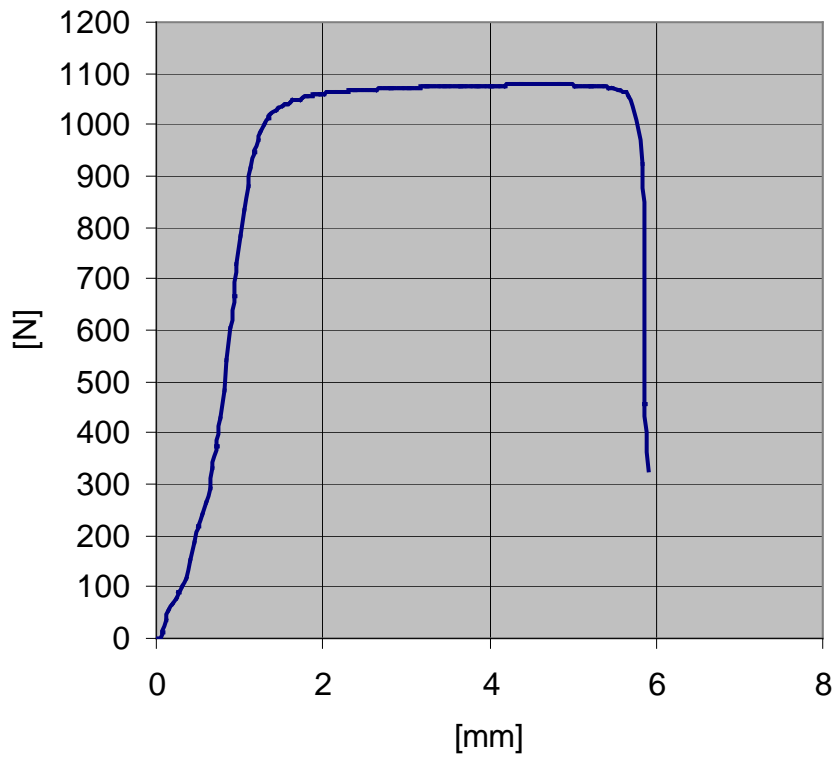
3-3-2



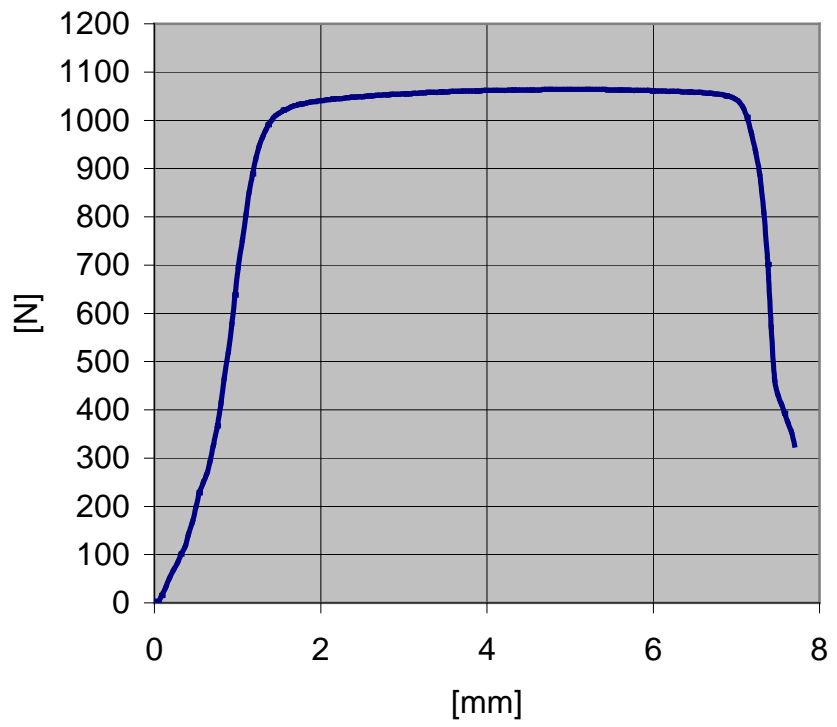
3-3-3



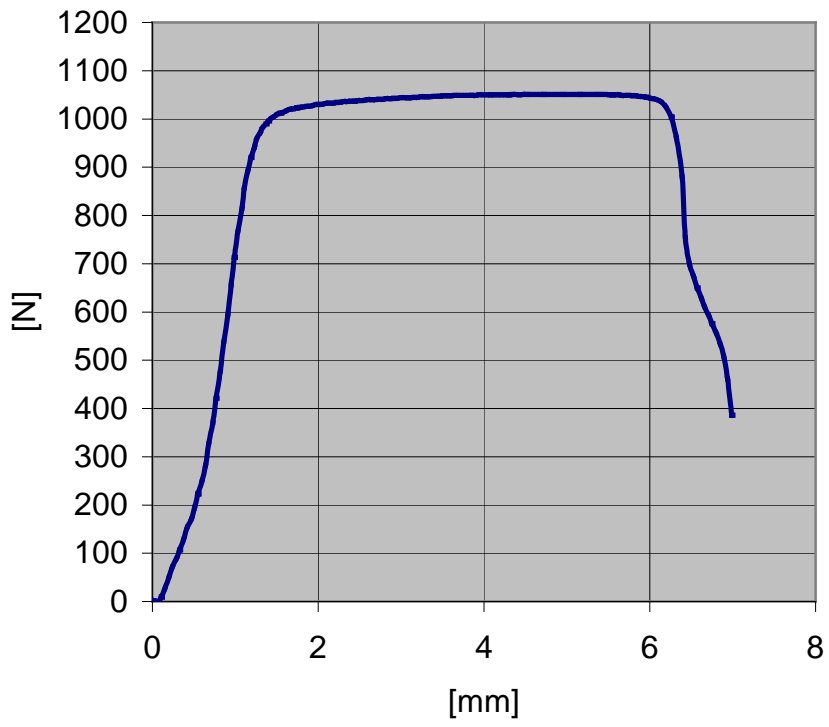
3-3-4



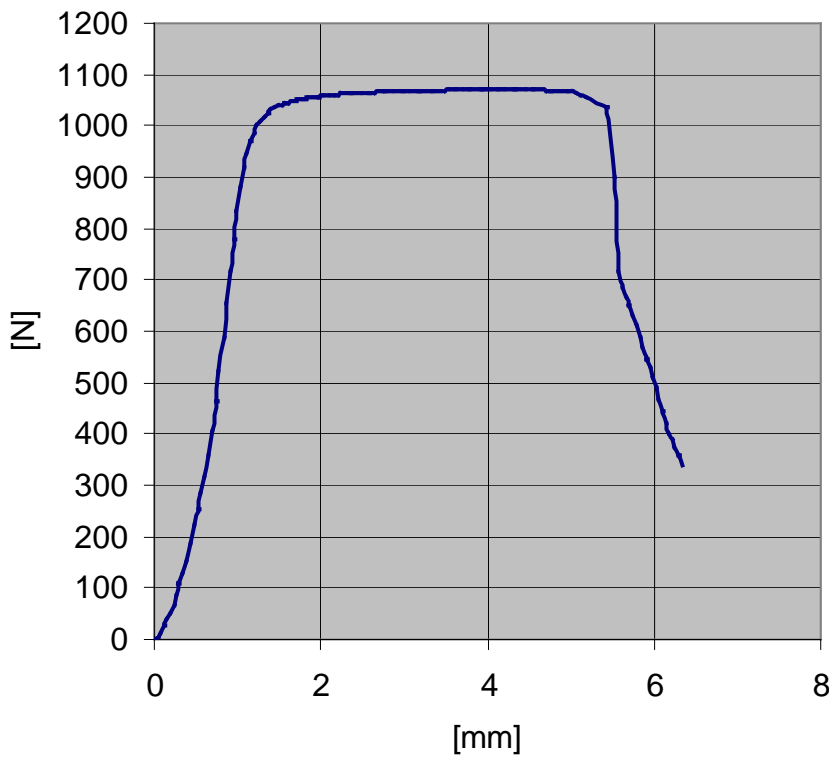
3-3-5



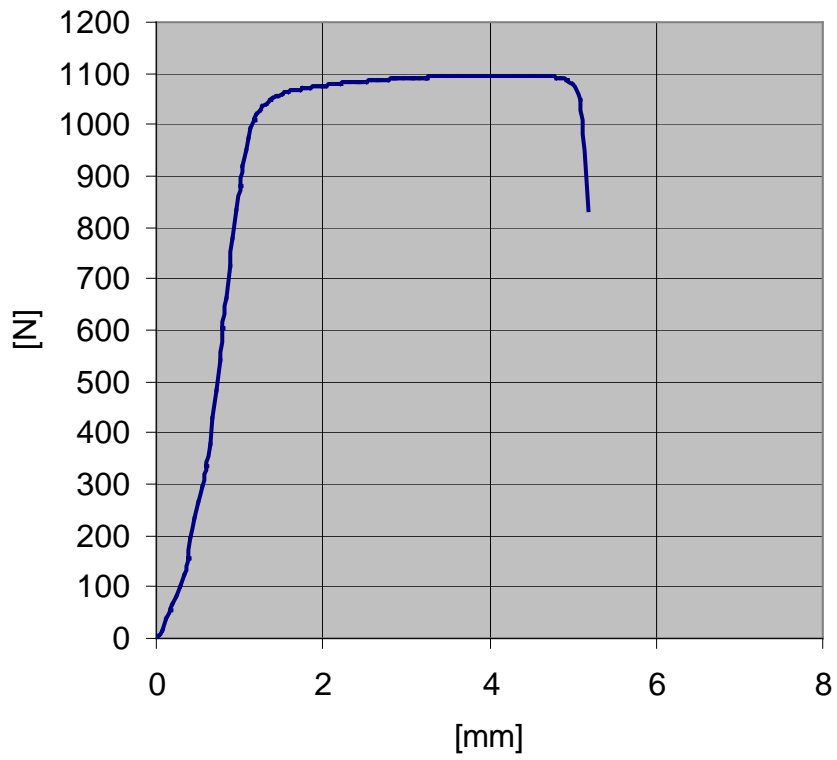
3-3-6



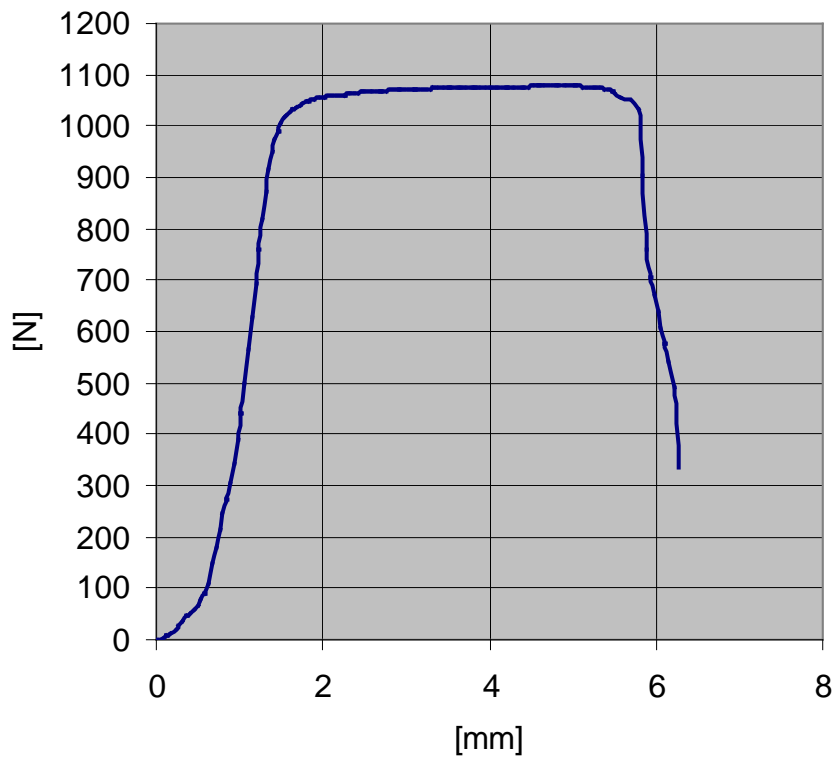
3-3-7



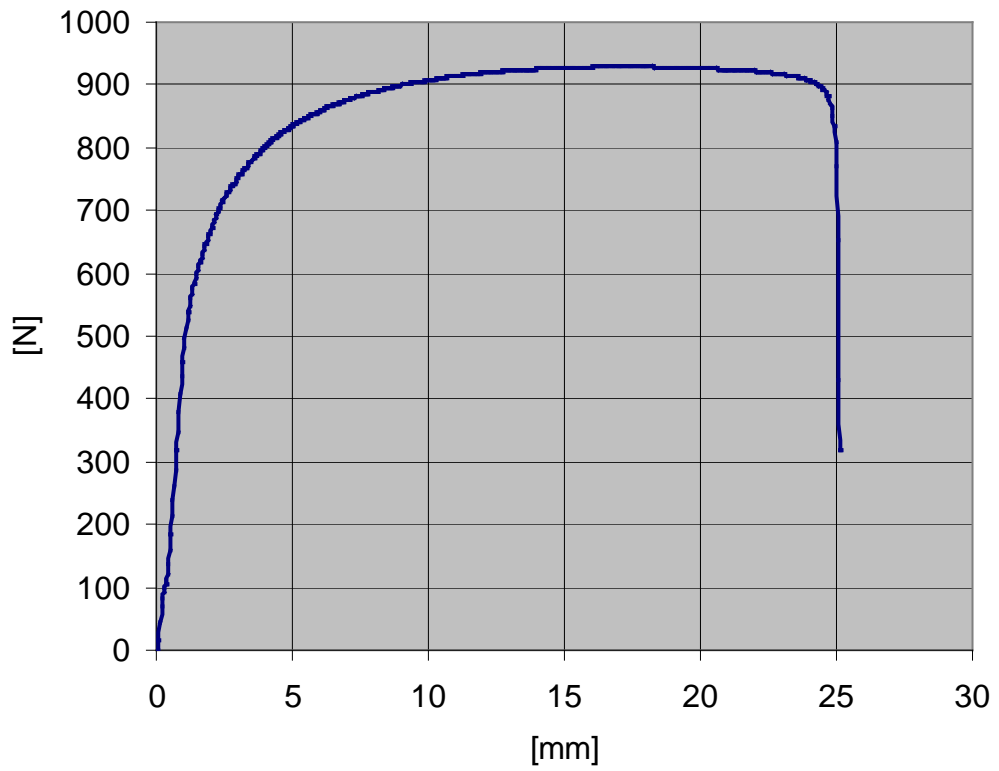
3-3-8



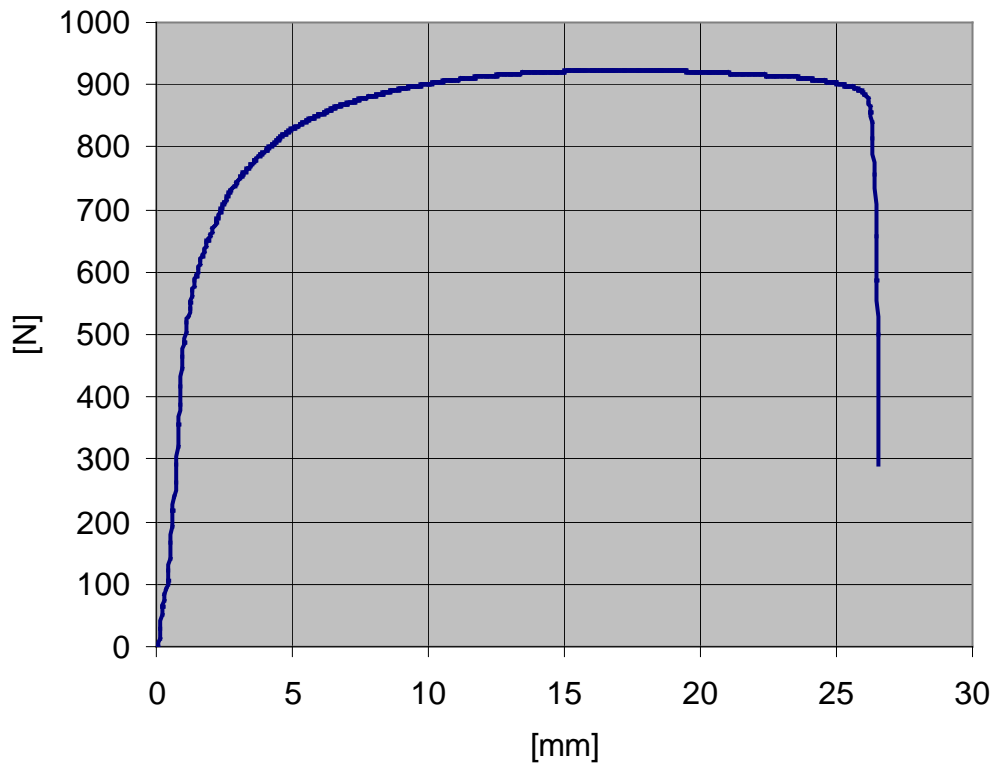
3-3-9



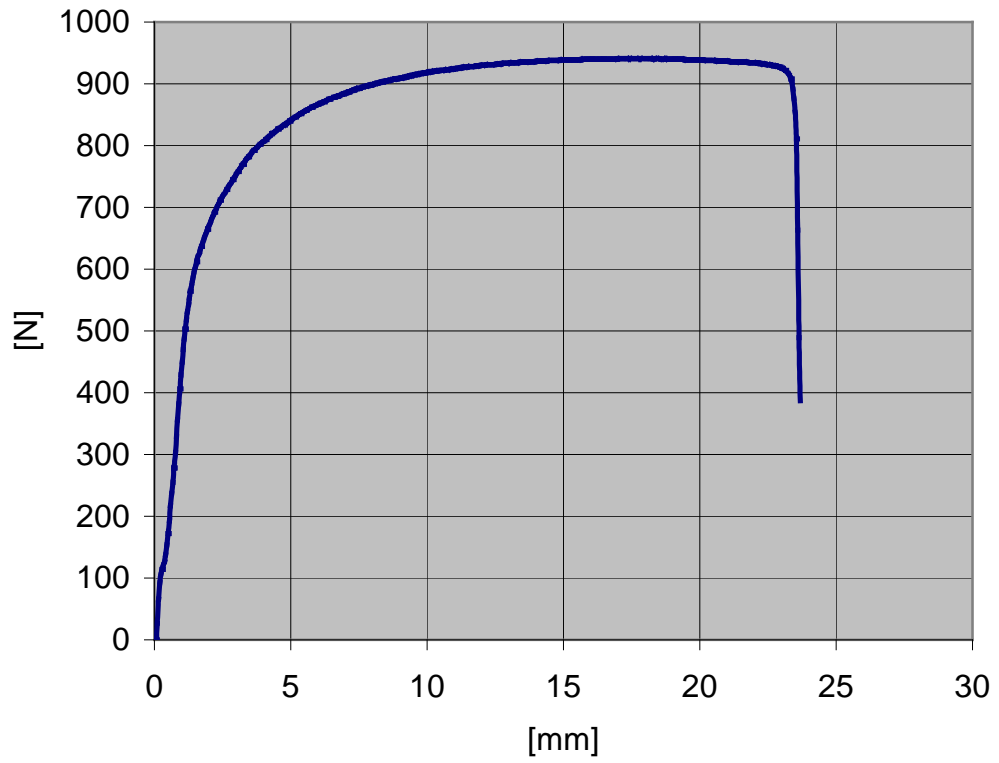
4-1-0



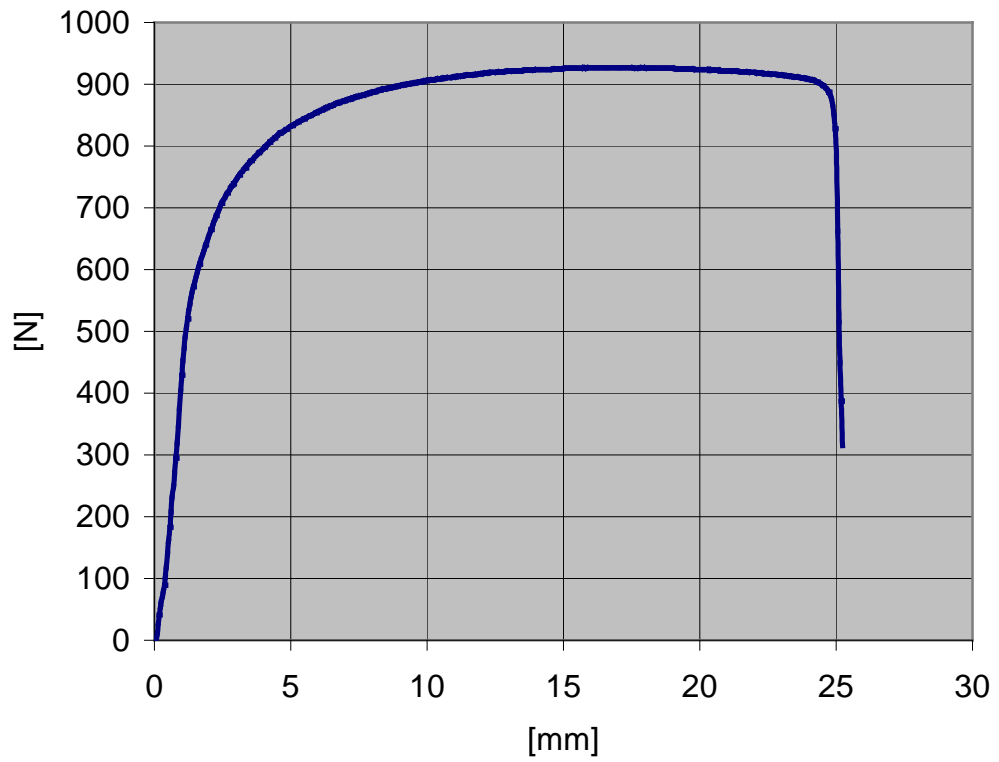
4-1-1



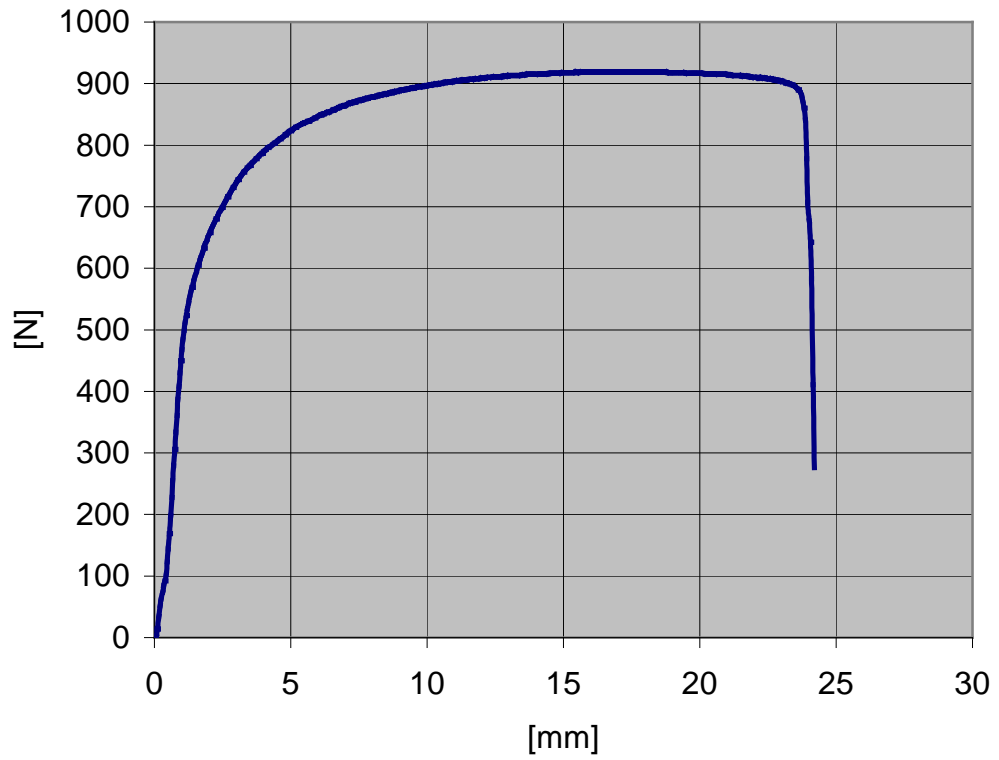
4-1-2



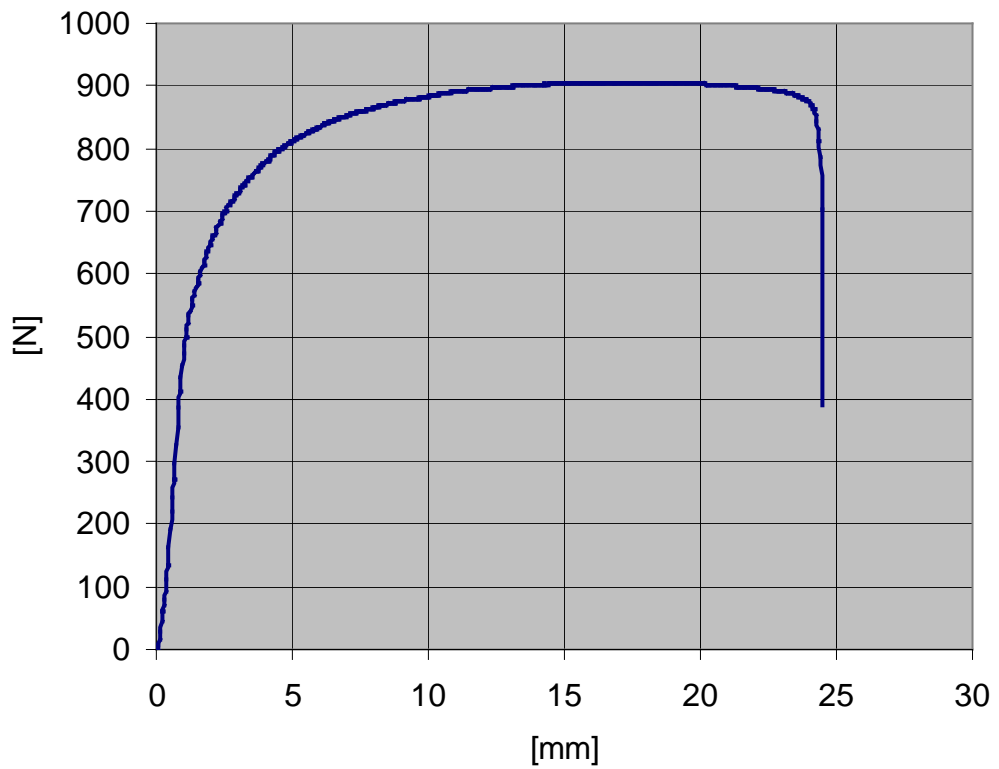
4-1-3



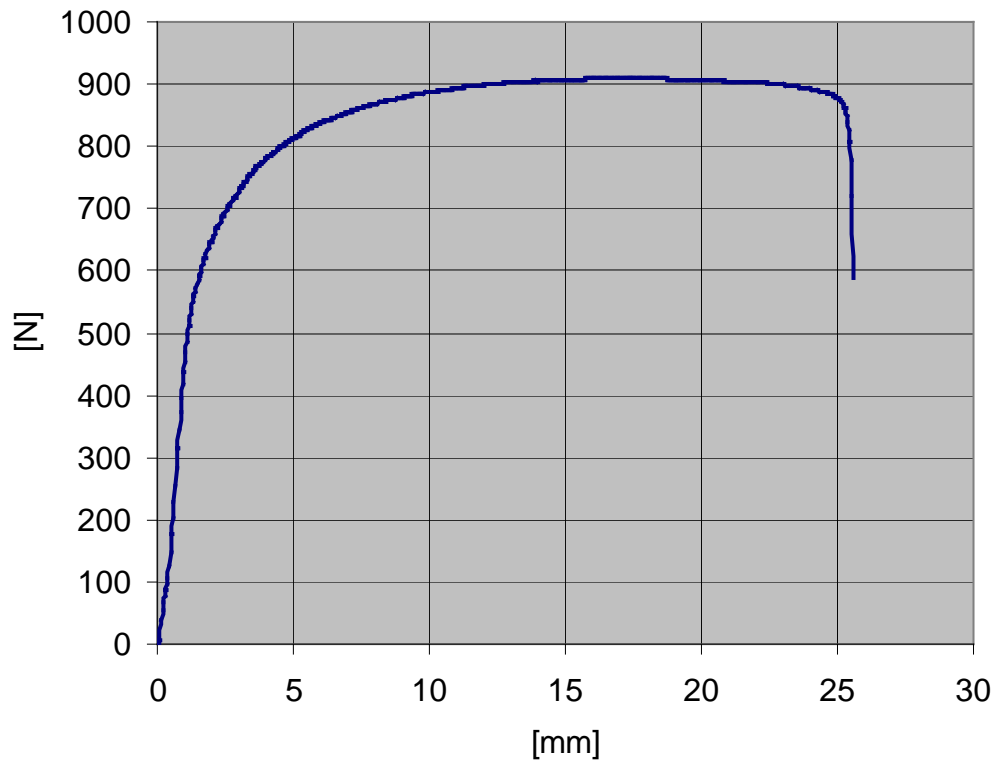
4-1-4



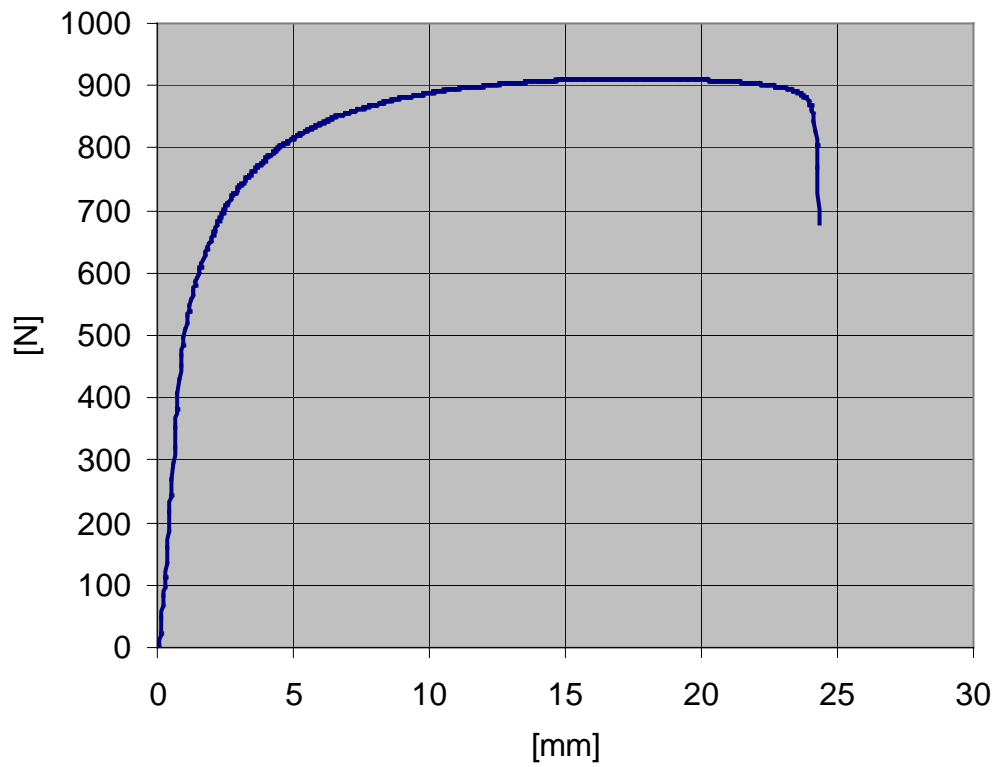
4-1-5



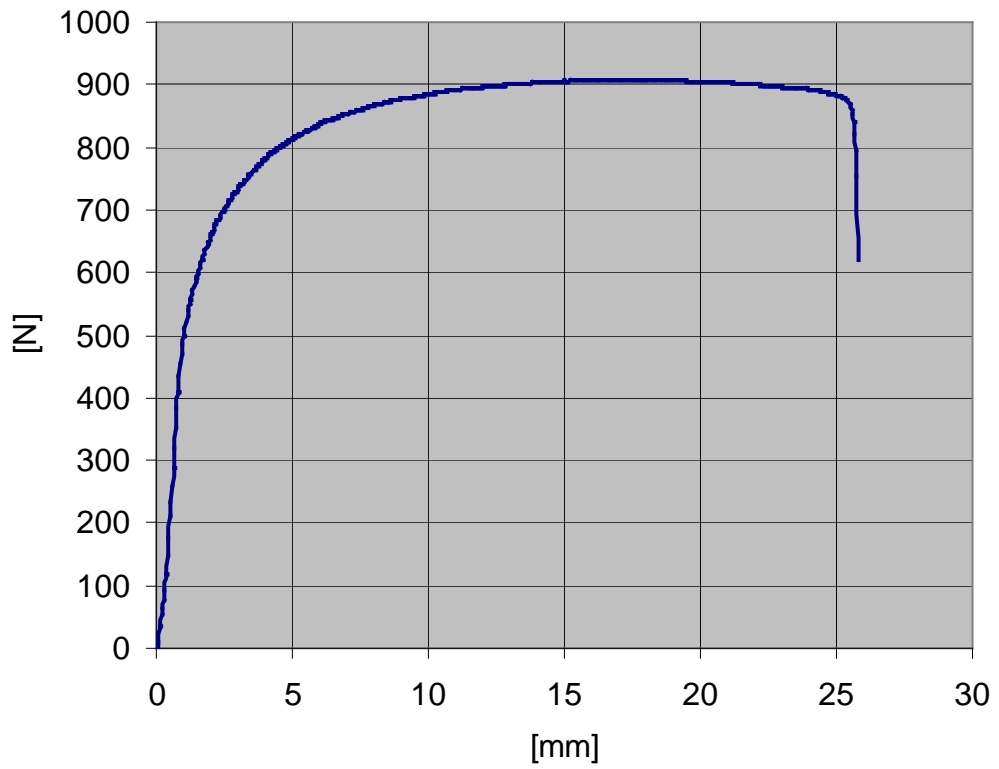
4-1-6



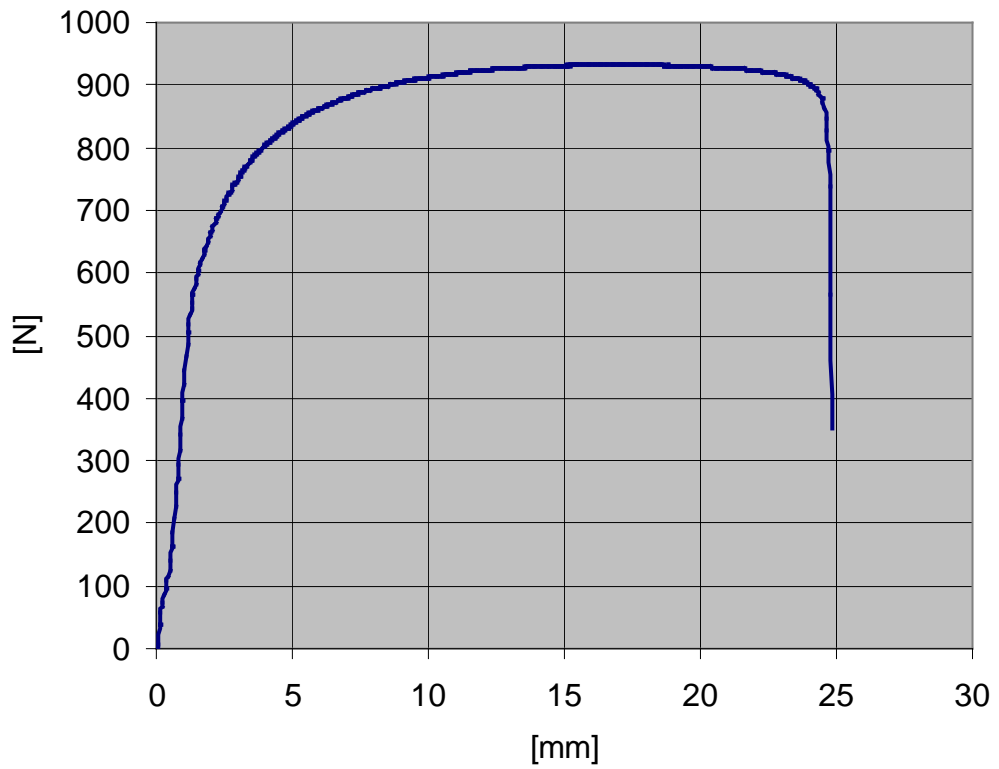
4-1-7



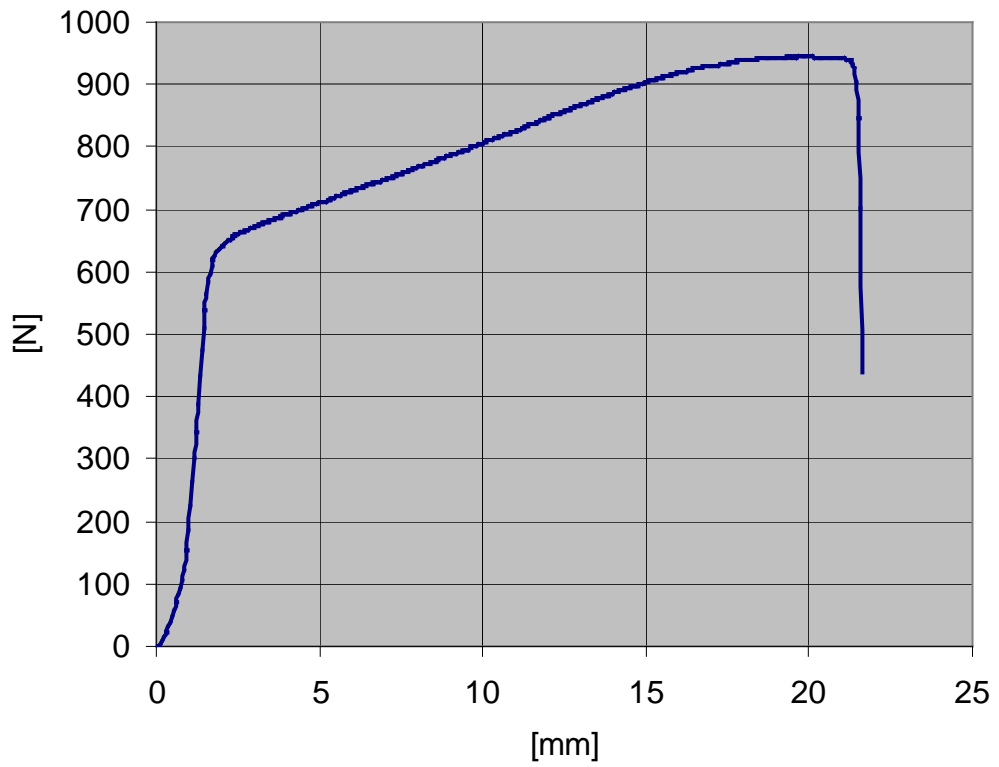
4-1-8



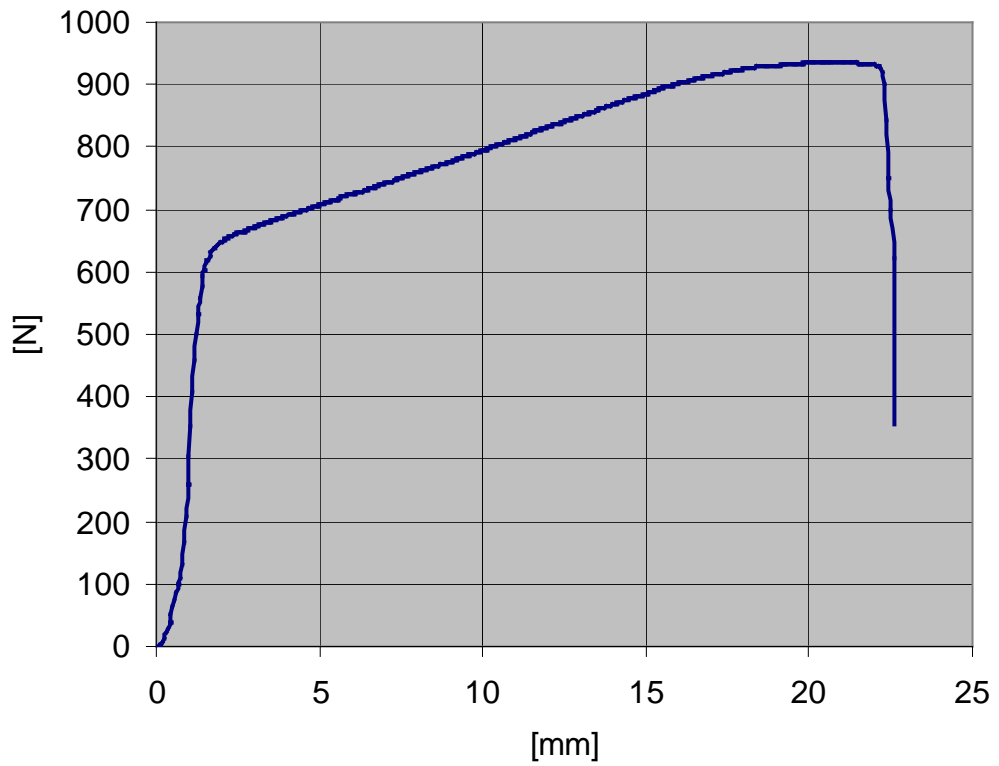
4-1-9



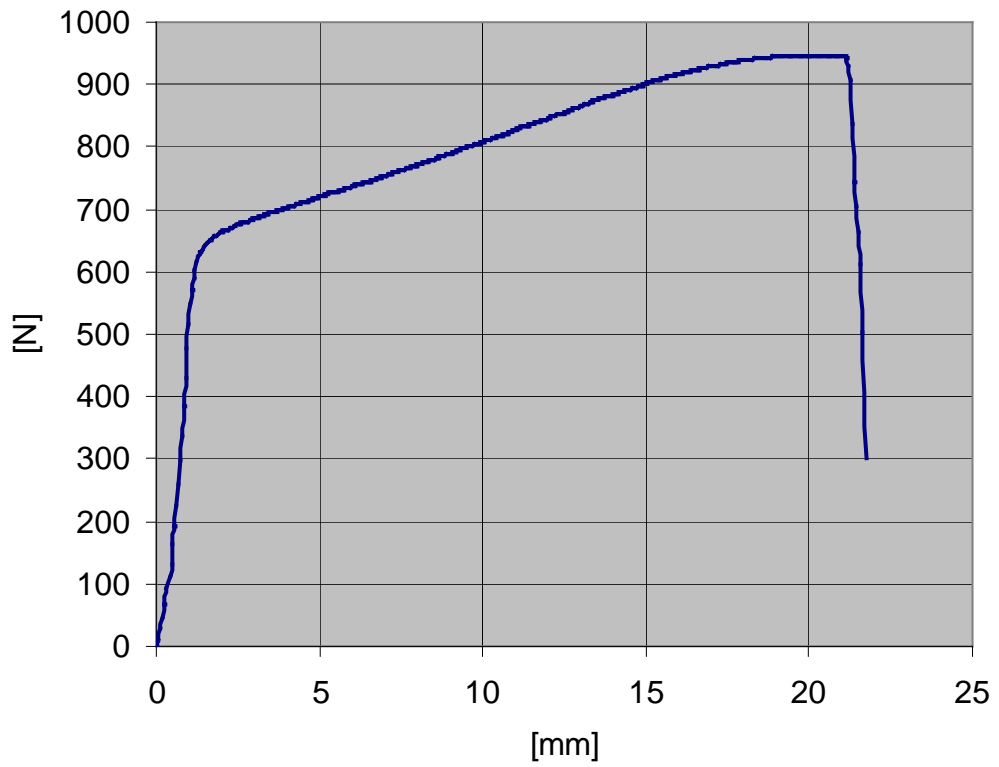
4-2-0



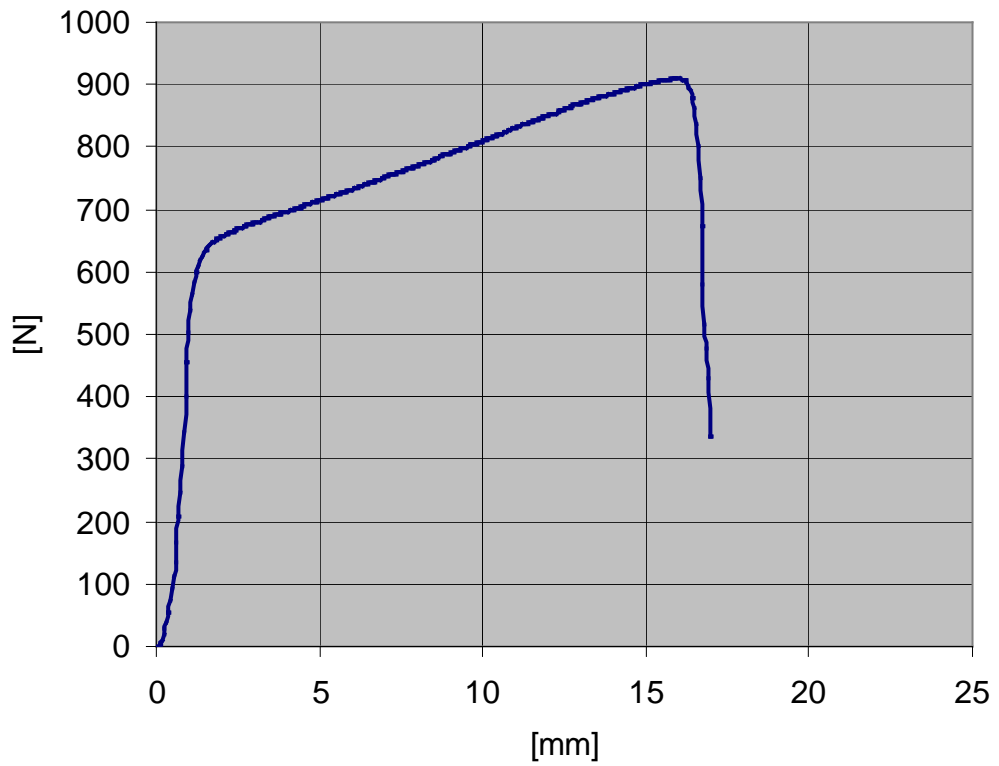
4-2-1



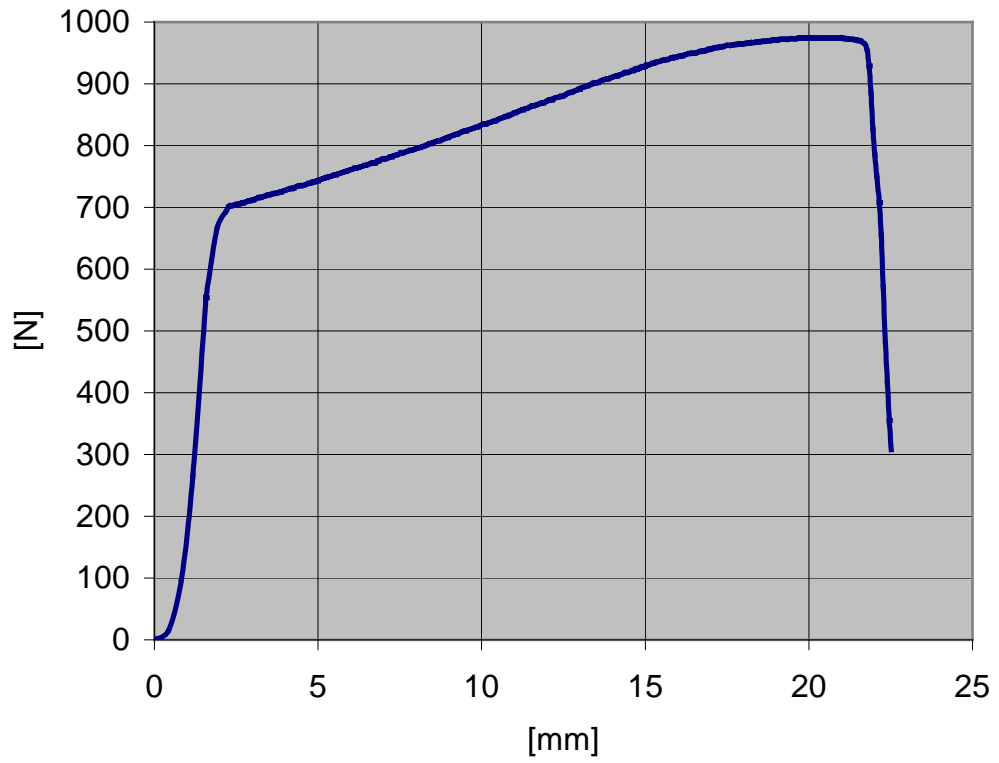
4-2-2



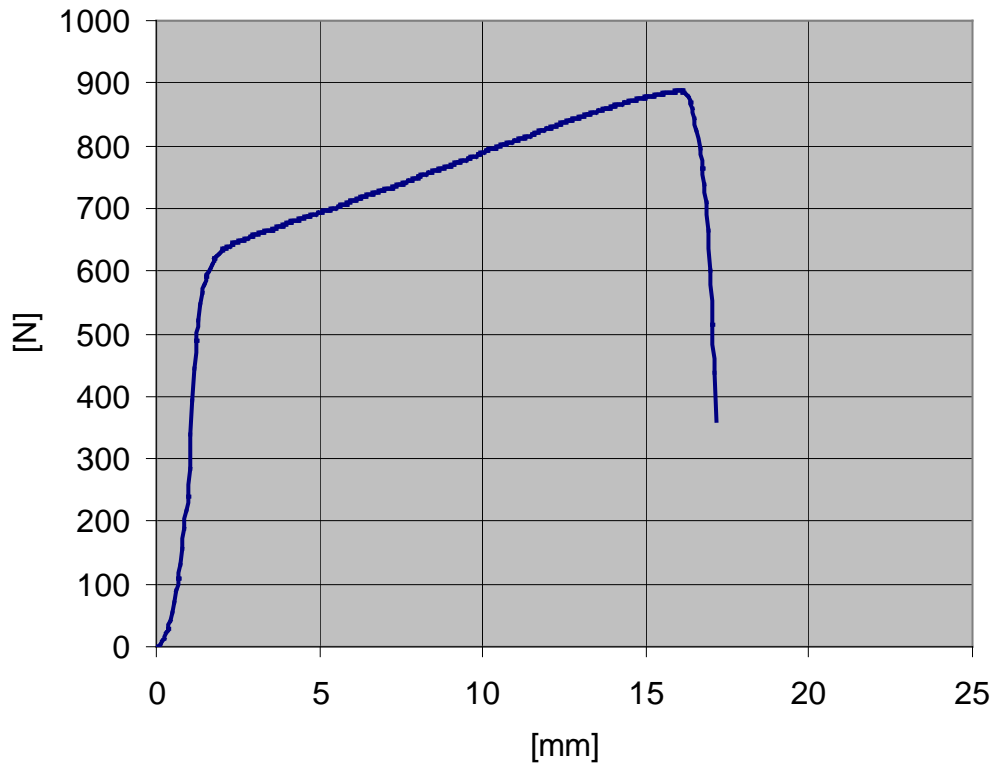
4-2-3



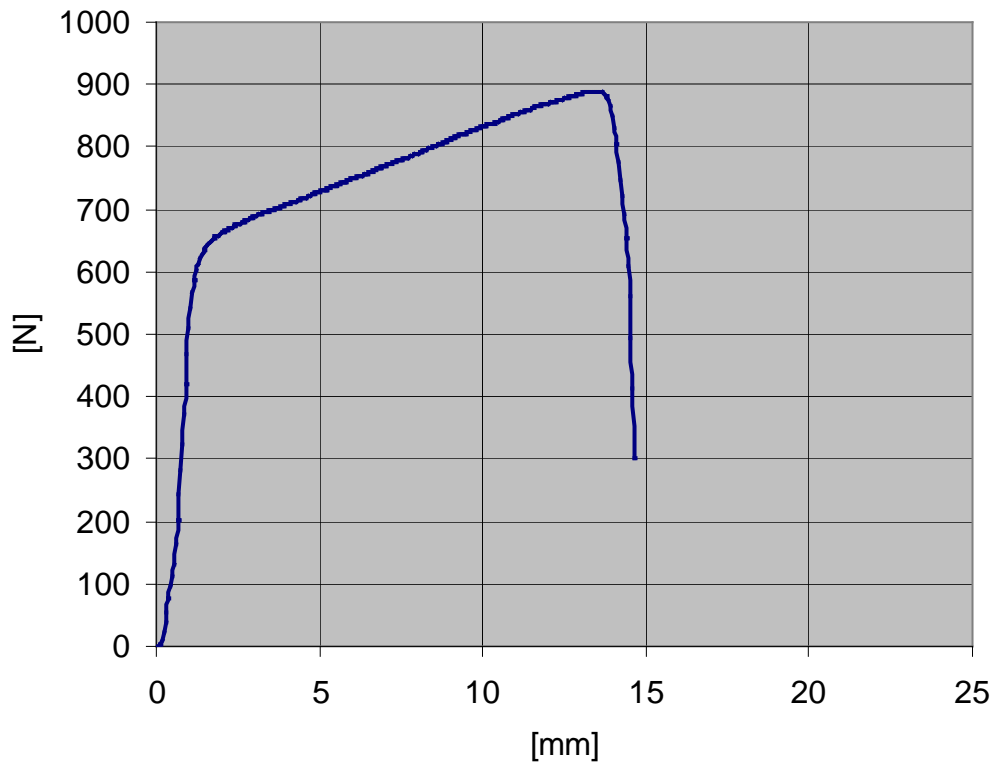
4-2-4



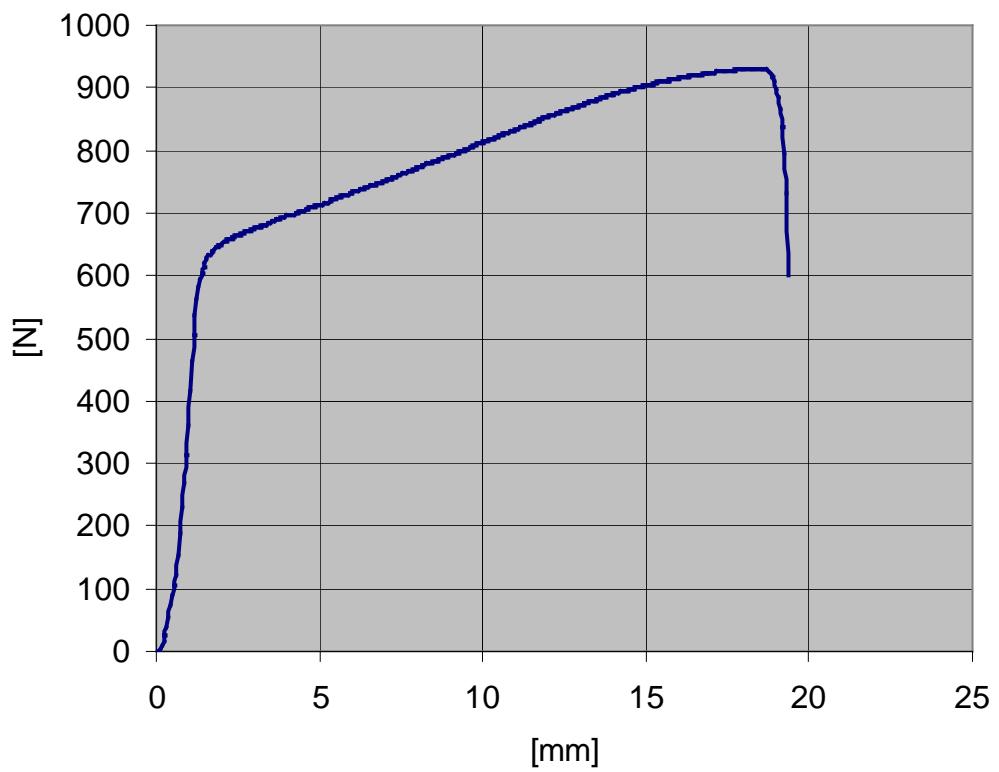
4-2-5



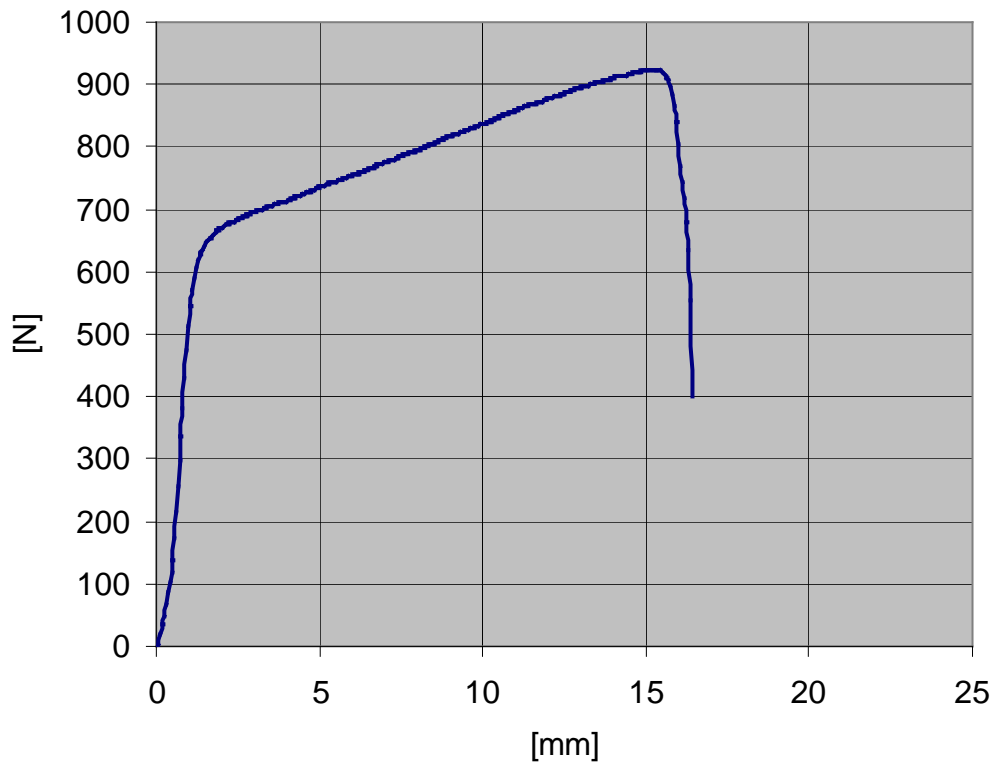
4-2-6



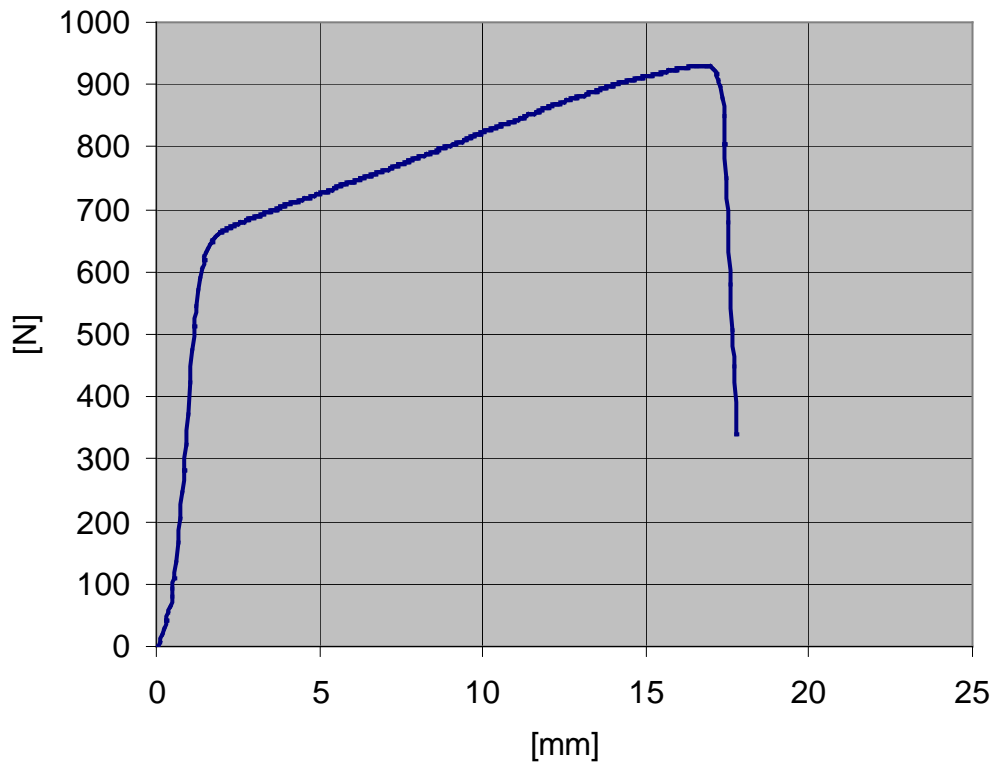
4-2-7



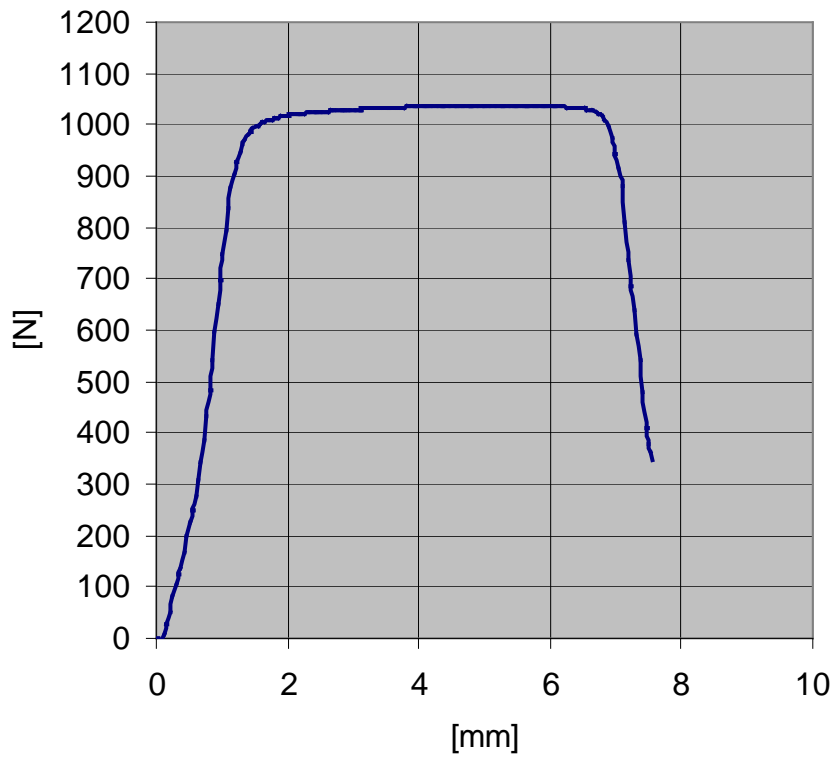
4-2-8



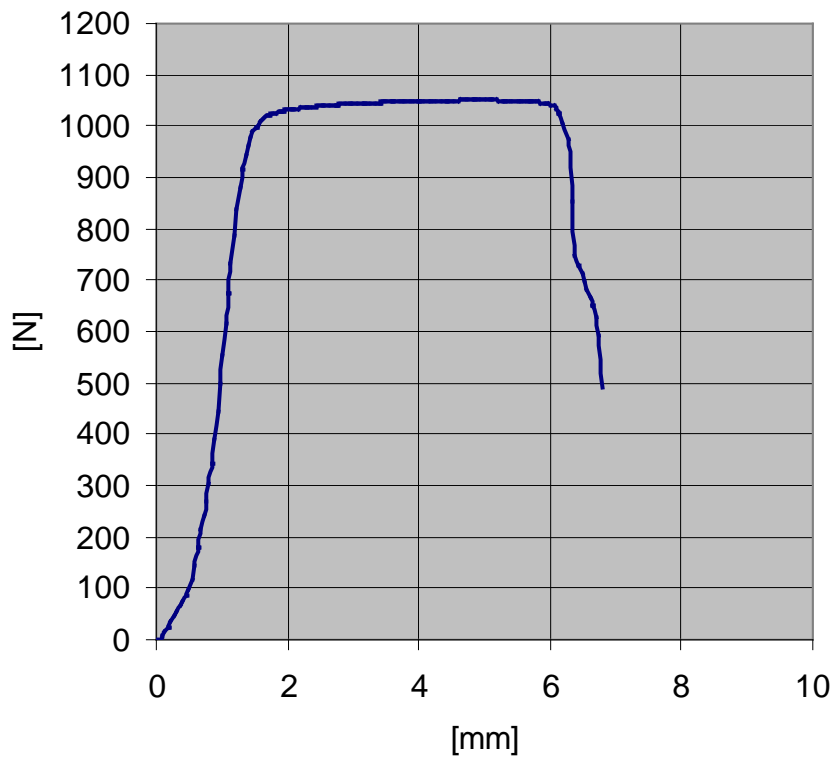
4-2-9



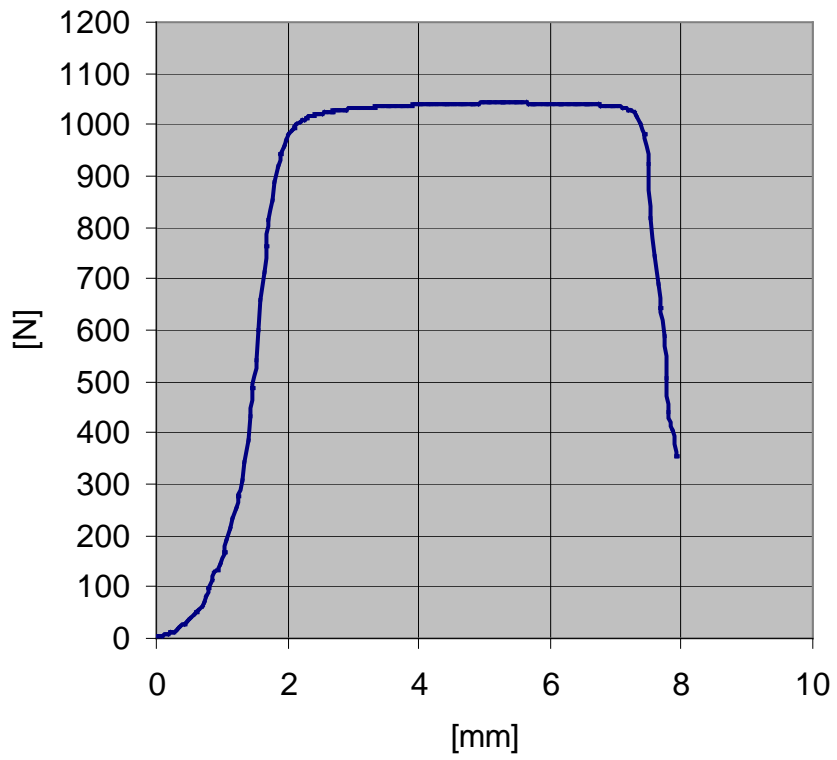
4-3-0



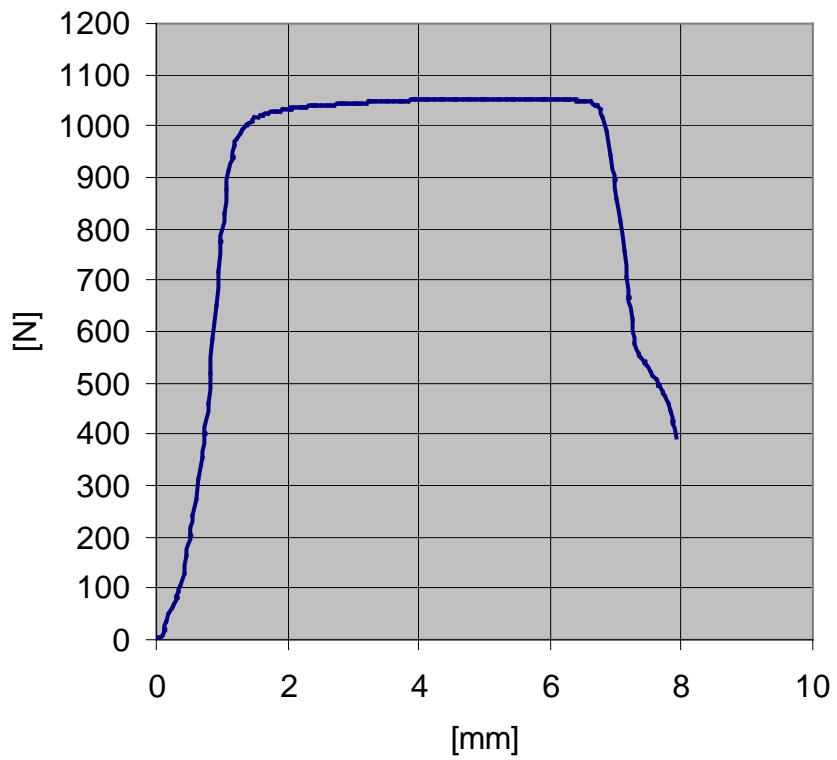
4-3-1



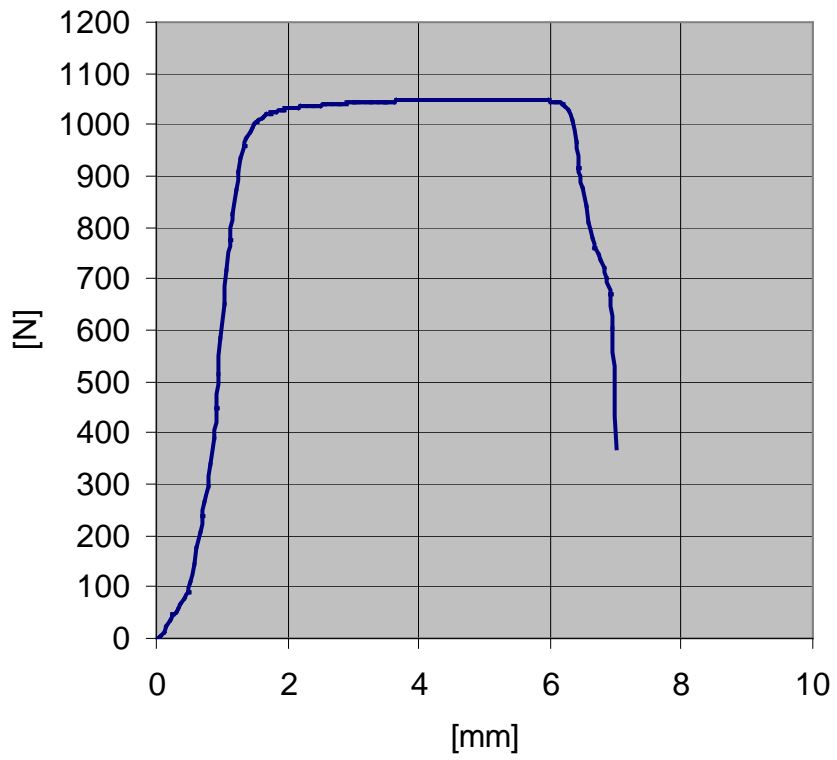
4-3-2



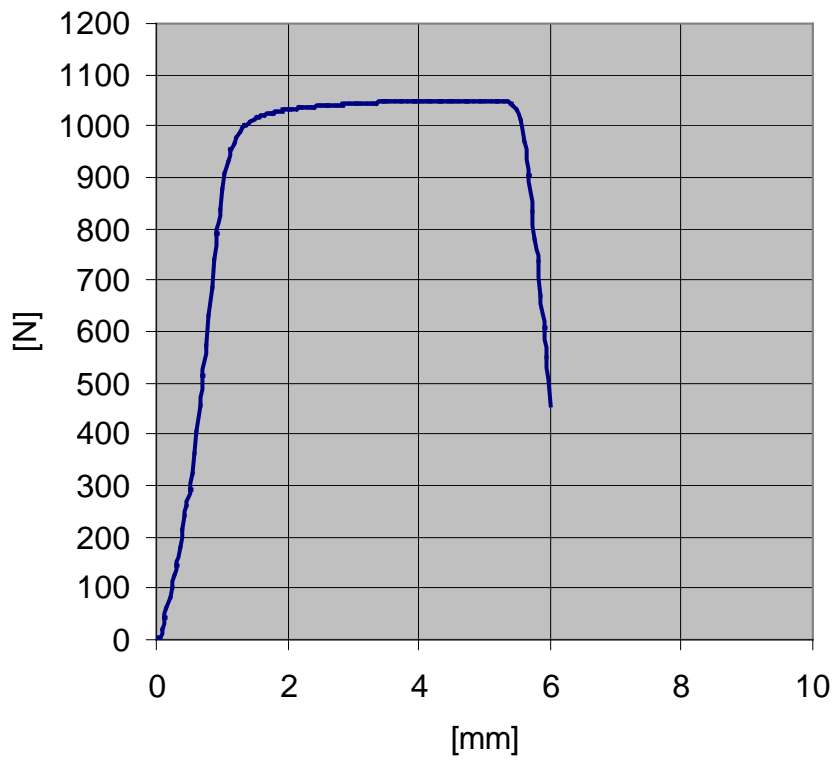
4-3-3



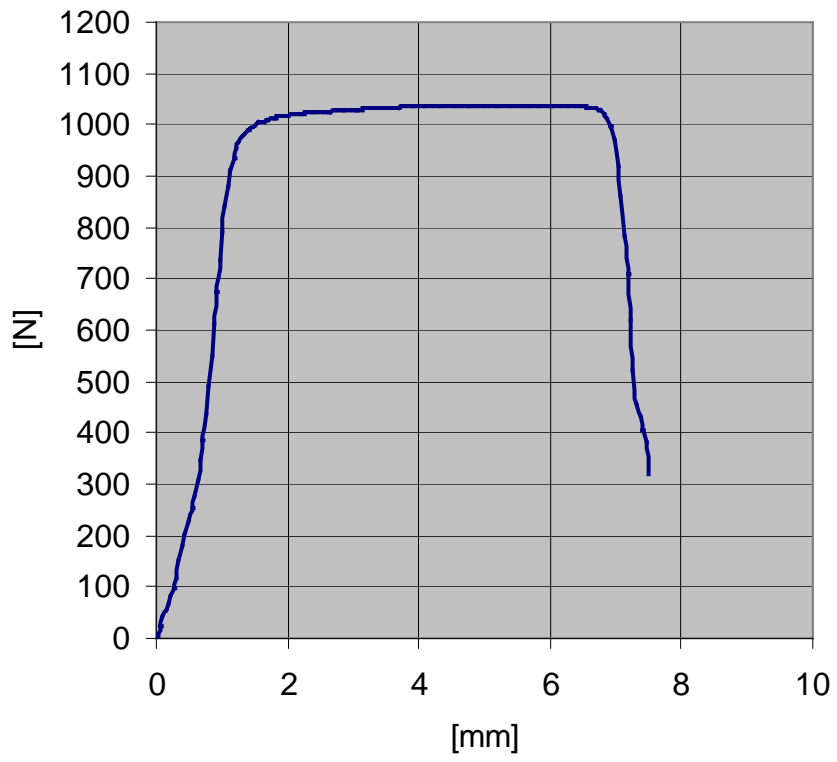
4-3-4



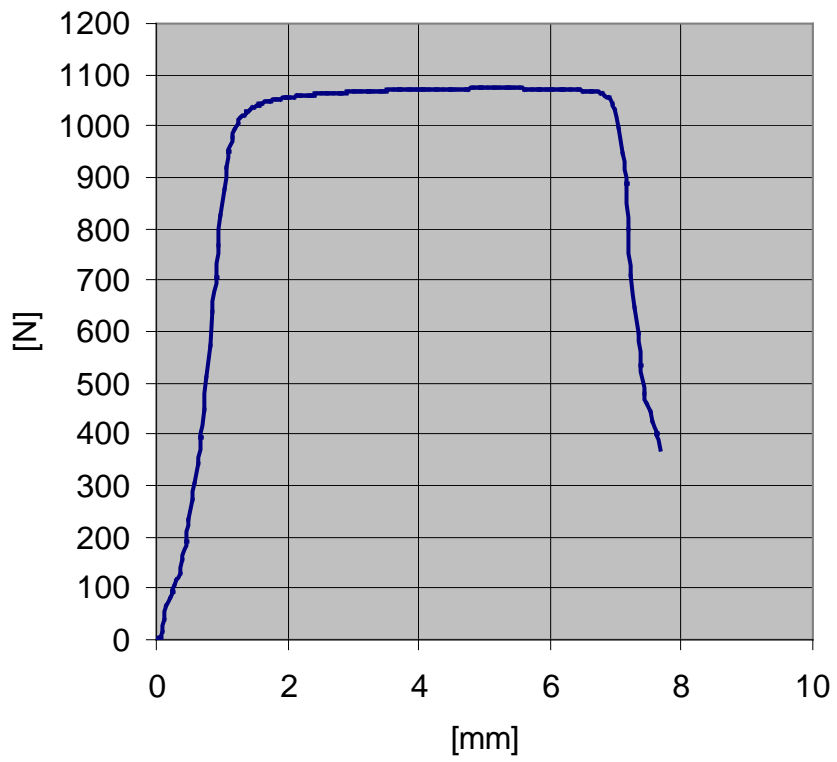
4-3-5



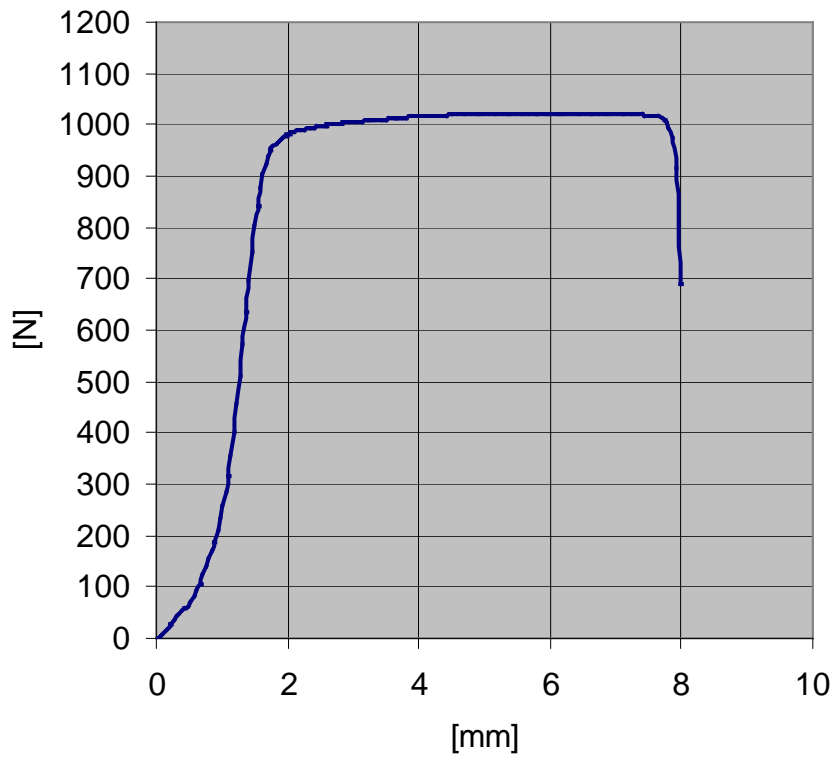
4-3-6



4-3-7



4-3-8



4-3-9

