

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilná



**Adhezné spojovanie textílií epoxidovými
živicami**

Jana Derevjaníková

Vedúci diplomovej práce :

Prof. RNDr. Ing. Lenka Sedláčková, CSc., F.A.D.

diplomová práca

Číslo práce a príloh :

Počet strán : 50

1997

Počet tabuliek : 0

Počet obrázkov : 11

Počet príloh : 0

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilná

Obor : 31-16-8 obecná technológia

Zameranie : Projektovanie konfekčných výrobkov

Katedra odevníctva

Adhezné spojovanie textílií epoxidovými živicami

Jana Derevjaníková

KOD - 312

Vedúci diplomovej práce :

Prof. RNDr. Ing. Lumobír Sodomka, CSc., F.A.B.I.

Rozsah práce a príloh

Počet strán : 59

Počet tabuliek : 9

Počet obrázkov : 11

Počet príloh : 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro
obor 31-16-8

D e r e v j a n í k o v o u Janu
Oděvní technologie
zaměření projektování konfekčních výrobků

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Adhezní spojování textilií epoxidovými pryskyřicemi.

Zásady pro vypracování :

1. Proveďte literární průzkum adhezního spojování textilií pro konfekční aplikace.
2. Proveďte výběr vhodných textilií a zjistěte jejich významné charakteristiky pro adhezní spojení.
3. Zjistěte charakteristické vlastnosti základních a změkčených epoxidových pryskyřic.
4. Určete optimální geometrické a fyzikálně chemické podmínky pro lepení vybraných textilií epoxidovými pryskyřicemi v jedné a více vrstvách v závislosti na jejich orientaci.
5. Proveďte měření mechanických vlastností spojů, vyhodnoťte adhezní energii spojů a ekonomicky zhodnoťte vlastní provedený výzkum.

Rozsah grafických prací: cca 40 grafů

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran textu

Seznam odborné literatury:

1. Ježková, J.: Adhezní spoje v technických konf. jejich mechanické a reologické vlastnosti
Diplomová práce, TU Liberec, 1996
2. Lidařík, M. a kol.: Epoxidové pryskyřice
SNTL Praha, 1983
3. Sodomka, L.: Energie a adhezní síly uhlíkových vláken a epoxidovou matricí
Plasty a kaučuk 29, 1992, 7/8

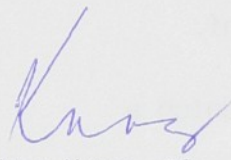
4. Foltín : Příručka pro chem.vláknáře
Vedoucí diplomové práce: Prof.RNDr.Ing. L. Sodomka, CSc.

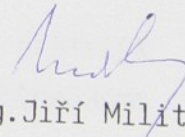
Konzultant:

Zadání diplomové práce: 30.10.1996

Termín odevzdání diplomové práce: 30.5.1997




Doc. Ing. Otakar Kunz, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Jiří Milítký, CSc.
Děkan

V Liberci dne 30.10.1996

Miestoprísasžné prehlásenie :

Miestoprísasžné prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry a s pomocou vedúceho diplomovej práce.

Jana Derevjaníková

Jana Derevjaníková

V Liberci dňa 30. mája 1997

Obsah:

PREHľad SYSTÉMU DOK. A PR. ARCHÍV

1 Úvod

2 VEDIECKA ČASŤ

2.1 Zoznam otázok a odpovedí na otázky

2.2 Rozdiely vo vedeckej časti a v praxi

3 TEORETICKÁ ČASŤ

3.1 Teória adhézie

3.2 Lepenie spojov

3.2.1 Podmienky vzniku spoja a jeho kvalita

3.2.2 Príklady výskumu spojov

3.2.3 Výroba lepených materiálov a lepenie na výrobky

POĎAKOVANIE

Chcela by som poďakovať vedúcemu a zároveň i konzultantovi mojej diplomovej práce Prof. RNDr. Ing. L. Sodomkovi, CSc., F.A.B.I. za odborné vedenie a pomoc pri jej vypracovaní.

4 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

4.1 Rozbor témy

4.2 Príprava vzoriek

4.2.1 Súčasný stav, ich úprava a zariadenie

4.2.2 Výroba

4.2.3 Lepenie

4.3 Meranie mechanických vlastností adhezívnych spojov

4.3.1 Základné pojmy

4.3.2 Popis testovacieho prístroja a jeho technické údaje

4.3.3 Postup merania a jeho vyhodnotenie

4.4 Meranie mechanických vlastností a skutočnej sily

4.4.1 Obecné predpoklady

4.4.2 Postup merania a jeho vyhodnotenie

OBSAH:

PREHLAD SYMBOLOV A ZNAČIEK

1 ÚVOD

2 VŠEOBECNÁ ČASŤ

- 2.1 Adhezné spoje v textilnom priemysle7
- 2.2 Rozdiely vo vlastnostiach klasického a adhezného spojovania8

3 TEORETICKÁ ČASŤ..

- 3.1 Teória adhézie10
- 3.2 Lepený spoj17
 - 3.2.1 Predpoklady vzniku lepeného spoja, jeho štruktúra a požadované vlastnosti spojov17
 - 3.2.2 Vplyv lepeného materiálu a lepidla na vlastnosti spoja19
- 3.3 Lepidlá25
 - 3.3.1 Kvalifikácia lepidiel25
 - 3.3.2 Epoxidové lepidlá25
- 3.4 Luminescencia29
 - 3.4.1 Základy luminescencie29
 - 3.4.2 Mechanoluminescencia30.

4 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

- 4.1 Rozbor tkanín33
- 4.2 Príprava vzoriek35
 - 4.2.1 Strihanie vzoriek, ich úprava a značenie35
 - 4.2.2 Váženie37
 - 4.2.3 Lepenie37
- 4.3. Meranie mechanických vlastností adheznych spojov43
 - 4.3.1 Základné pojmy43
 - 4.3.2 Popis meracieho prístroja a jeho technické údaje43
 - 4.3.3 Postup merania a jeho vyhodnotenie45
- 4.4 Meranie mechanoluminescencie a akustickej emisie52
 - 4.4.1 Obecné predpoklady52
 - 4.4.2 Postup merania a jeho vyhodnotenie53

5 EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE DIPLOMOVEJ PRÁCE	56
---	----

6 ZÁVER	57
---------------	----

Zoznam literatúry

Zoznam príloh a ich rozsah

Prehľad symbolov a značiek

W - adhezná práca

γ - povrchové napätie

E_L - energia polarity

m_1 - hmotnosť vzorky pred lepením

m_2 - hmotnosť vzorky po lepe

m_L - hmotnosť lepidla

h_L - hrúbka lepidla

m_{01} - hmotnosť prvej vzorky

m_{02} - hmotnosť druhej vzorky

ba - bavlna

sk - sklenená tkanina

O - strihané vzorky v smere osnovy

Ú - strihané vzorky v smere útku

45 - strihané vzorky v smere 45°

MI - machanoluminescencia

AE - akustická emisia

sk_p - sklenená tkanina s nanosom ZnS

1 ÚVOD

Rozvojom techniky sa adhezné spoje začali využívať v rôznych odvetviach priemyslu. Niektoré ich špecifické vlastnosti a variabilita daná množstvom rôznych druhov lepidiel umožňuje a uprednostňuje ich technické využitie tam, kde ostatné spoje svojimi vlastnosťami nevyhovujú požadovaným potrebám.

Nemožeme však očakávať, že každé lepidlo poskytne pevné spoje na všetkých druhoch materiálov. Univerzálne lepidla neexistujú. Iba s určitými druhmi lepidiel, na konkrétnych materiáloch a za určitých pracovných podmienok je možné dosiahnuť spoje s optimálnymi vlastnosťami v určitom smere. [1] Preto je nutné v praxi každý adhezny spoj najskôr overiť a porovnať s jeho požiadavkami.

Cieľom tejto diplomovej práce bolo vytvoriť adhezné spoje z prírodných a chemických vlákien v ich extrémne, t.j. pevné a krehké, zistiť ich mechanické vlastnosti v závislosti na použitom lepidle a anizotropii tkanín a určiť optimálne geometrické podmienky lepenia.

K experimentu bola použitá bavlnená a sklenená tkanina. Na lepenie bolo použité epoxidové lepidlo ChS 510. K zisteniu mechanických vlastností bola zvolená štandardná ťahová skúška pevnosti a ťažnosti plošných textílií a skúška pevnosti vrstiev spoja.

V závere bolo prevedené i ekonomické vyhodnotenie tejto práce.

Vývoj adhezneho spojovania je stále v začiatkoch takže každá informácia z tejto oblasti je potrebná. I výsledky získané z tejto diplomovej práce prispievajú k ďalšiemu rozšíreniu poznatkov o problémoch a možnostiach lepenia v textilnom priemysle.

2 VŠEOBECNÁ ČASŤ

2.1 ADHEZNÉ SPOJE V TEXTILNOM PRIEMYSE

Lepenie , ako aj iné spracovateľské metódy , si našlo svoje miesto v textilnom priemysle tiež. Touto problematikou sa podrobnejšie zaoberá M. Osten v knihe Práce s lepidlami a tmelami , SNTL Praha 1986.

Pre väčšinu textílií je charakteristickým znakom nasiakavosť a priepustnosť plynov. Adhezné vlastnosti textílie sú dané zložením vlákien , na ktorých záleží i odolnosť textílie voči chemikáliám a rozpúšťadlám , a na ich úprave. Textílie sa spracovávajú pomocou lepidiel dvoma spôsobmi , a to tak , že :

- a) textília je pojivom úplne presýtená

- b) pojivo je uložené na jej povrchu.

Úplné presýtenie pojivom je typické pre priemyslovú výrobu viacvrstvých konštrukčných materiálov - laminátov. V tomto prípade sa najskôr prevádza impregnácia bavlnenej tkaniny , ktorá je v plátrovej alebo keprovej väzbe, fenolformaldehydovou alebo melaminformaldehydovou živicom. Po vysúšení sa impregnovaný textil nakrája na diely , navrství sa do zložiek a potom sa lisuje pri stanovenej teplote a tlaku.

Spojovanie textílie povrchovo nanášanými lepidlami sa používa v odevnom priemysle , v čaluníckej výrobe , pri výrobe kobercov a pod. .

V odevnom priemysle sa od lepeného spoja vyžaduje , aby svojimi vlastnosťami zodpovedal vlastnostiam spájaného materiálu a vytvoril spoj , ktorý by sa svojimi parametrami vyrovnal šitým spojom. Musí sa brať do úvahy hlavne to, že spájané materiály nemusia mať rovnaké vlastnosti , mechanické či chemické, a od jednotlivých druhov švov nie sú požadované rovnaké hodnoty parametrov , napr. pevnosti. Práve preto nie je možné lepiť všetky druhy materiálov rovnakým lepidlom. Z toho vyplýva , že lepidlo sa musí vyberať podľa druhu materiálu a požadovaných vlastností spoja. Základné požiadavky , ktoré musí spĺňať lepidlo , budú podrobnejšie uvedené v kapitole 3.2.2. .

Stupeň dôležitosti požiadavky pre spájanie textilných súčiastok závisí od druhu a charakteru odevného výrobku.

V odevnej výrobe sa tento netradičný spôsob spájania , s ohľadom na vysoké nároky na lepený spoj a malú paletu vhodných lepidiel , používa obmedzene , a to na :[6]

- *zaist'ovanie odevných okrajov*
- *plošné lepenie*
- *bodové lepenie*
- *kontinuálne lepenie*

Zaist'ovanie okrajov sa prevádza ich zmáčaním pojivom . Tým sa okraj spevní. Pojivo sa nesmie rozkladať pri bežnom praní a chemickom čistení.

Plošné lepenie je zrovnateľné so šitím. Používa sa na podlepuvanie , ktoré má vplyv na tvárovú stálosť výrobku. Kritérium akosti je v odevnom priemysle i pevnosť švov. Pevnosť lepených spojov v odlupovaní u tzv. nosných švov musí dosahovať minimálnu hodnotu 200 N/5cm a u spojov pomocných s charakterom vystužovania 15 N/5cm . Vyžaduje sa pritom primeraná tuhosť a pružnosť filmu lepidla a jeho odolnosť voči horúcej vode .

Bodové lepenie sa používa iba na opravárenské práce.

Kontinuálne lepenie sa používa pri výrobe plášťov do dažďa a výrobkov , u ktorých sa predpokladá nepriepustnosť vody a plynov.

Táto spracovateľská metóda je v odevnom priemysle zatiaľ vo vývoji vzhľadom k jej náročnosti na použitie energie a lepidiel.

2.2 ROZDIELY VO VLASTNOSTIACH KLASICKÉHO A ADHEZNÉHO SPOJOVANIA .

Pre porovnávanie adhezného spojovania so šitím si najskôr musíme uvedomiť , aké faktory ovplyvňujú správny vznik spoja.

Pri šití to sú : šitý materiál a správna voľba nite , ihly , hustota a druh stehu .

U lepených spojov to je : lepený materiál , použité lepidlo , technologický postup , fixácia spoja a podmienky jeho vytvrdzovania .

Pri výbere typu spoja preto musíme brať do úvahy prednosti a výhody lepenia v zrovnaní s tradičnými spôsobmi spájania [1] :

Výhody lepenia :

- ⇒ možnosť spájania rovnakých alebo rôznorodých materiálov bez ohľadu na ich hrúbku
- ⇒ aplikáciou lepidiel nie je narušovaná celistvosť súboru
- ⇒ lepením sa takmer nezvyšuje hmotnosť súboru
- ⇒ spoje môžu byť prehľadne alebo farebne prispôsobené
- ⇒ lepením sa dosahuje vysokých pevností , najmä pri namáhaní v šmyku a rázovej pevnosti
- ⇒ je možné pripraviť spoje vodotesné a nepriepustné
- ⇒ lepené spoje nenarušujú profil a estetický vzhľad adherendov

Nevýhody lepenia :

- ⇒ kladú sa vysoké požiadavky na rovinnosť a čistotu povrchu adherendov
- ⇒ sú nutné špeciálne povrchové úpravy u adherendov so zlými adheznými vlastnosťami
- ⇒ nerozoberateľnosť spoja
- ⇒ väčšina lepených spojov je citlivá na odlupovanie
- ⇒ maximálna pevnosť spoja je dosiahnutá až po určitej dobe
- ⇒ majú obmedzenú životnosť voči vyšším teplotám
- ⇒ film termoplastických lepidiel je citlivý na dlhodobé statické namáhanie
- ⇒ lepenie v priemyselnej výrobe je náročné na vybavenie pracoviska

Pri zavádzaní tejto technológie ako náhrady za klasické šitie je nutné mať na pamäti , že nie je možné dosiahnuť maximálnych úspor iba náhradou adhézného spojovania za šitie. Táto technika vyžaduje väčšinou dost' podstatné zmeny v technológii výroby. Umožňuje však podstatnejšie prevádzanie *mechanizácie* a *automatizácie*. A práve v tomto je nutné vidieť hlavné poslanie adhézného spojovania. Zavedenie do výroby je treba dôkladne zvážiť a náležite pripraviť. Iba tak je možné zaistiť požadovanú kvalitu výrobku a ekonomické prínosy [8] .

3 TEORETICKÁ ČASŤ

3.1 TEÓRIA ADHÉZIE [1,6]

Adhezným spojovaním sa rozumie proces spájania materiálov, rovnakých alebo rôznych druhov , pomocou lepidiel (adhezív) nanesených na spájaných materiáloch (adherendoch). Spojenie je heterogénne , pretože lepidlo a zlepované materiály vo väčšine prípadov nemajú rovnaké chemické zloženie.

Z fyzikálneho hľadiska sa vysvetľuje spojenie lepením pomocou *adhézie* a *kohézie*

Adhézia (príľnavosť) je chápaná ako súhrn fyzikálnych a chemických síl , ktorými sa navzájom pútajú dva povrchy , t.j. povrch spojovaného materiálu a adheziva. Medzi pojeným materiálom a pojivom vzniká väzba , ktorú charakterizujú adhezné sily. Adhezné sily medzi dvoma fázami kvantitatívne vyjadruje adhézná práca (W_A). Je to práca potrebná k prekonaniu dvoch rôznych povrchov (fáz) o jednotkovom priemere . Adhezná práca kvapaliny na pevnom povrchu sa definuje vzťahom :

$$W_A = \gamma_{LG} (1 + \cos \theta) \quad (3.1)$$

kde : W_A – adhezná práca

γ_{LG} – medzipovrchové napätie medzi kvapalinou (L) a plynom (G)

θ – povrchový uhol

Kohézia (súdržnosť) je taký stav , pri ktorom držia molekuly alebo atómy v homogénnej látke pohromade . Kohézne sily charakterizuje tzv. kohézná práca (W_K). Je to práca potrebná k prekonaniu súdržnosti hmoty o jednotkovom priereze. Tak vzniknú dva nové povrchy o dvojnásobnej celkovej ploche a kohéznej práci :

$$W_K = 2 \gamma_A , \quad (3.2)$$

kde : W_K - kohézná práca γ_A – povrchová energia plošnej jednotky povrchu A

Na druhu a veľikosti kohezných síl závisia fyzikálne a mechanické vlastnosti materiálu.

Podstatu adhézných javov sa pokusili teoreticky a experimentálne objasniť mnohí autori. Podľa M. Ostena (1986) pri praktickom lepení stačia nasledujúce teórie :

Teória adhézie $\Rightarrow$ *mechanická*

$\Rightarrow$ *špecifická* • teória adsorpcie

• teória difúzie

• teória elektrostatická

• teória polarizácie - primárne chemické väzby

- sekundárne fyzikálne väzby

Primárne chemické väzby sa delia na : kovové

iontové

atómové (kovalentné a elektrokovalentné)

Sekundárne fyzikálne väzby (Van der Waalové) delíme na :

elektrostatické sily Keesemové

indukčné sily Debyeové

disperzné sily Londonové

MECHANICKÁ TEÓRIA

Vysvetľuje proces lepenia prenikaním tekutého adheziva do pôrov zlepovaných materiálov. Po zatvrdnutí lepidla dôjde k spojeniu oboch povrchov zlepovaných materiálov mechanickými mostikmi adheziva , ktoré sú zakotvené v pôroch zlepovaných materiálov. Pevnosť spoja závisí na porézności týchto materiálov a na pevnosti vytvrdeného adheziva , t.j. na kohézii. Podľa tejto teórie by bolo možné zlepovať iba porézne a vlákenné materiály.

Podľa niektorých autorov je zvyšovanie pevnosti spoja dôsledkom zväčšenie povrchu kontaktu lepidla a zlepovaných materiálov , a nie dôsledkom tvorby mechanických mostikov .

Mechanická teória nevysvetľuje adhéziu lepidiel k nepórezným materiálom.

ŠPECIFICKÁ TEÓRIA

Považuje za dôležitý faktor spojenia zlepovaných materiálov s dokonale hladkými rovnými plochami špecifické medzimolekulárne adhezné sily, ktoré závisia na určitých fyzikálnych a chemických vlastnostiach adheziva a adherendu. Väčšina autorov uvádza, že vznik špecifickej adhézie medzi adherendom a adhezivom je podmienený správnym priebehom dvoch fáz:

- 1) absolútny kontakt adheziva s adherendom
- 2) adsorpcia, t.j. zachytenie molekúl lepidla na lepenom povrchu vplyvom sekundárnych príťažlivých síl.

Teória polarizácie (de Bruyn) :

Teória polarizácie sa zaoberá vzťahom medzi adhéziou a adhezným účinkom molekúl lepeného materiálu a lepidla. Atómy molekúl sú spojené chemickými a fyzikálnymi silami.

Elektrostatické sily Keesomové vznikajú následkom vzájomného pôsobenia peramentných dipólov, t.j. molekúl s asymetrickým rozložením elektrických nábojov.

Podľa polohy elektricky aktívnych miest delíme molekuly na (obr. 3.1) :

- a) *nepolárne* - molekuly bez aktívnych miest
- b) *negatívne polárne* - molekuly s aktívne negatívnymi miestami
- c) *pozitívne polárne* - molekuly s aktívne pozitívnymi miestami
- d) *pozitívne a negatívne polárne* - molekuly s aktívne pozitívnymi a aktívne negatívnymi miestami.

V prípade, že sa dipóly vzájomne orientujú a orientácia je rušená tepelným pohybom vzniká interakčná energia, ktorá je daná vzťahom [3] :

$$E_{pk} = -2p^4 / (k_B T r^6) \quad (3.3)$$

kde : p - dipólový moment

k_B - Boltzmanová konštanta

T - teplota

r - vzdialenosť medzi dipólmi

„ - „ - dipóly sa priťahujú

Indukčné sily Debyové vznikajú pôsobením permanentného dipólu a molekúl spôsobilých polarizácie vplyvom indukcie. Sú závislé na asymetrickom rozložení náboja . Energia vzájomnej interakcie je daná vzťahom [3] :

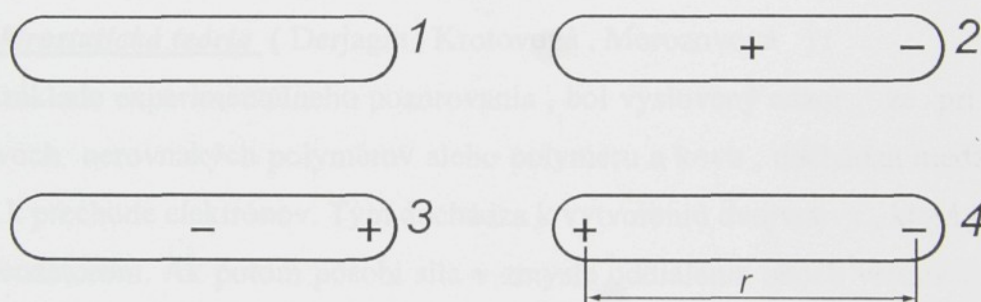
$$E_{pD} = - (2\alpha p^2) / r^6 \quad (3.4)$$

kde : α - súčiniteľ indukčnej polarizovateľnosti

p - veľkosť permanentného dipólu

r - vzdialenosť medzi permanentným a indukovaným dipólom

Pre lepenie nemajú veľký význam.



Obr. 3. 1. Polarita molekúl

1) nepolárny typ

2) negatívne polárny typ

3) pozitívne polárny typ

4) pozitívne a negatívne polárny typ

r - vzdialenosť jadier

Zdroj : M. Osten (1986)

Disperzné sily Londonové sú vyvolané vzájomnou polarizáciou molekúl , ku ktorej dochádza dôsledkom protismerného pohybu válenčného elektrónu na susedných atómoch.

Pôsobia na malú vzdialenosť a sú závislé vo veľkej miere od teploty. Energia týchto sil je vyjadrená vzťahom [3] :

Platí za predpokladu , že :

⇒ polymerné látky obsiahnuté v lepidlách a lepených materiáloch sú rozpustné a navzájom miesiteľné

⇒ makromolekuly adheziva a adherendu vykazujú dostatočnú pohyblivosť

Zo vzťahov medzi adheznou účinnosťou a podmienkami , za ktorých došlo ku kontaktu boli vyvedené nasledujúce závery :

⇒ adhezná účinnosť sa zvyšuje s dobou kontaktu adherendu a adheziva

⇒ zvýšením tlaku sa zväčšuje plocha kontaktu , a tým i množstvo difundujúcich molekúl

⇒ zvýšením teploty stúpa rýchlosť difúzie molekúl

⇒ molekuly menších rozmerov difundujú rýchlejšie , ale poskytujú iba filmi s nižšou kohéziou , a tým i menej pevné spoje

⇒ rozvetvené molekuly a kopolymery , s kryštálovou štruktúrou , difúziu sťažujú a znižujú adhezívnu účinnosť lepidiel.

Adsorpčná teória (Sharp , Schouhorn) :

Spočíva na termodynamických úvahách o zmáčaní pevných povrchov kvapalinami. Schopnosť zmáčania pevného telesa kvapalinami sa posudzuje podľa veľkosti povrchového napätia alebo podľa veľkosti zmáčacieho (dotykového) uhlu. Zmáčaným povrch sa rozumie roztekание kvapaliny (teda pojiva) po povrchu tuhej fáze , pričom dochádza k znižovaniu jeho povrchového napätia. Na miestach styku dvoch fáz , napr. pevnej a kvapalnej , vzniká rozhranie , v ktorom existuje rovnováha síl (obr. 3.2.) a je daná vzťahom [3] :

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta \quad (3.6)$$

kde : γ_{SG} - povrchové napätie medzi pevnou a plynnou látkou

γ_{SL} - povrchové napätie medzi pevnou a kvapalnou látkou

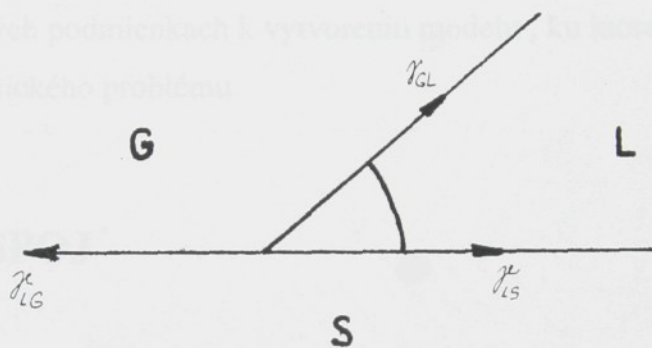
γ_{LG} - povrchové napätie medzi kvapalnou a plynnou látkou

θ - dotykový uhol

Dotykový uhol je daný vzťahom :

$$\cos \theta = (\gamma_{GS} - \gamma_{LS}) / \gamma_{LG} \quad (3.7)$$

Podľa veľkosti dotykového uhlu sa určuje stupeň zmáčania povrchu (obr. 3.3.). Ak má kvapalina pevnú látku zmáčať , čo je jedná zo základných podmienok adhézie , musí byť jej povrchové napätie menšie než povrchové napätie podkladu.



L - kvapalina (ligvidus)

γ - povrchové napätie

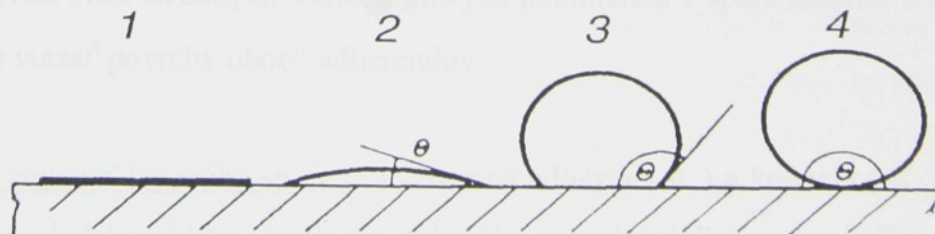
G - plyn (gazeus)

θ - dotykový (zmáčací) uhol

S - pevný substrát (solidus)

Obr. 3.2. Rovnováha síl medzifázového rozhrania

Zdroj : Sodomka L. (1996)



Obr. 3.3. Zmáčanie povrchu kvapalinami

1) úplne zmáčaný povrch $\theta = 0$

3) málo zmáčaný povrch $\pi / 2 < \theta < \pi / 4$

2) čiastočne zmáčaný povrch $0 < \theta < \pi/2$

4) nezmáčaný povrch $\theta = \pi$

Zdroj : Osten M. (1986)

3.2 LEPENÝ SPOJ

Hoci štúdiu adhézie bola venovaná veľká pozornosť , nedá sa konštatovať , žeby dnes existovala všeobecne platná teória adhézie. Preto sa nedajú predvídať alebo projektovať vlastnosti spojov a pojených útvarov , aj keď sú známe niektoré vzťahy medzi chemickou povahou a adheznými vlastnosťami , poznáme druhy väzbových síl , veľkosť a podmienky ich pôsobenia.

Empíricky vývoj v tejto oblasti predišiel teóriu , tá zatiaľ iba dopĺňa a prispieva aspoň vo vymedzených podmienkach k vytvoreniu modelu , ku ktorému sa možno priblížiť pri znalostiach teoretického problému.

3.2 LEPENÝ SPOJ

3.2.1 Predpoklady vzniku lepeného spoja , jeho štruktúra a požadované vlastnosti spojov [2]

Pre vznik súdržného spoja sú nutné nasledujúce fáze :

- ⇒ lepidlo musí byť nanesené alebo prenesené na obe povrchové plochy adherendov a musí ich v tekutom stave zmáčať
- ⇒ musia byť dané podmienky k tomu , aby sa v spáre vytvoril rovnomerný film lepidla
- ⇒ film lepidla musí za daných technologických podmienok v spáre ztuhnúť a podľa zásad adhézie viazať povrchy oboch adherendov.

Pre pevnosť lepeného spoja je významná adhézia (A) a kohézia (K) adhéziva k adherendom a kohézia filmu lepidla po stuhnutí a vytvrdnutí. Pri nerovnováhe adhezných a kohezných síl nastanú pri mechanickom namáhaní tieto prípady :

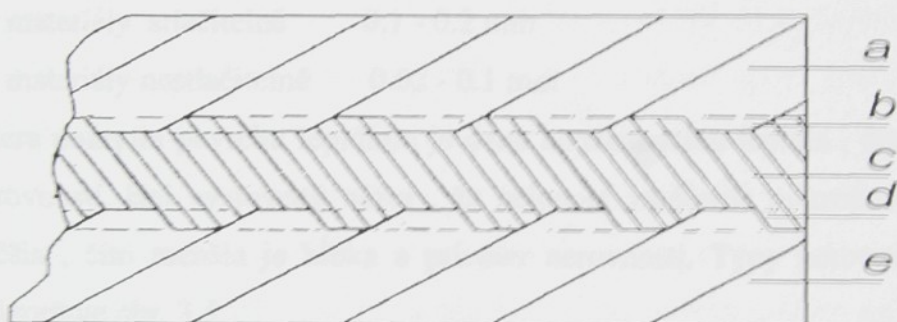
- ak $K < A$ potom pri mechanickom namáhaní nastane porušenie materiálu mimo lepený spoj

- ak $A < K$ potom pri mechanickom namáhaní nastane deštrukcia spoja

Štruktúra spoja :

Každý lepený spoj môžeme považovať za súbor piatich navzájom viazaných vrstiev , ktoré značne môžu ovplyvniť kvalitu spoja. Sú to tieto vrstvy (obr. 3.4.) :

- lepený materiál na jednej strane spoja
- mikrovrstvá , kde sa lepidlo a nerovnosti povrchu prelínajú , na jednej strane spoja
- vlastný film lepidla
- mikrovrstvá na druhej strane spoja
- adherend na druhej strane spoja



Obr. 3.4 Schéma štruktúry lepeného spoja

Zdroj : Osten M. (1974)

Požadované vlastnosti spojov sú dôležitým hľadiskom pre výber lepidla a technológie lepenia. Sú to nároky na mechanickú pevnosť , tepelnú odolnosť , chemickú stálosť , vodovzdornosť spoja , odolnosť voči poveternostným vplyvom ,poprípade ďalšie. Nie vždy je možné vyhovieť všetkým nárokom , preto je treba zvážiť , čo je z hľadiska funkcie použitia spoja najdôležitejšie.

3.2.2 Vplyv lepeného materiálu a lepidla na vlastnosti spoja [1]

LEPENÝ MATERIÁL (ADHEREND)

⇒ *Geometria povrchu*

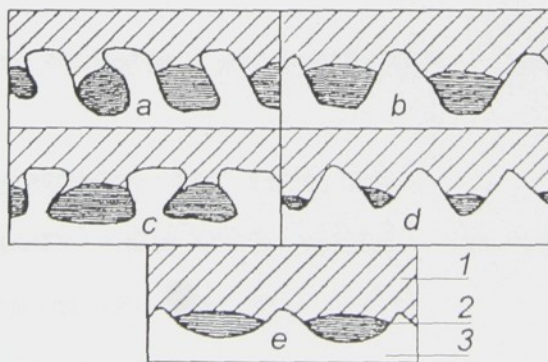
U lepených plôch rozlišujeme povrch :

- a) *viditeľný* - je daný konštrukčnými rozmermi
- b) *mikropovrch* - t.j. teoretický možná styčná plocha , vrátane všetkých nerovností a pôrov
- c) *účinný* - je časťou mikropovrchu , ktorý je zmáčaný lepidlom

Pre vytvorenie súvislého rovnomerného filmu je nutné , aby styčné plochy adherendov boli súbežné. Prípustné nerovnosti spáry , uvádzané v literatúre , sú :

- materiály stlačiteľné 0.1 - 0.2 mm
- materiály nestlačiteľné 0.02 - 0.1 mm

Miera pokrytia povrchu lepidlom je daná konzistenciou lepidla , čistotou povrchu a tvare nerovností. Bol vyslovený názor , že účinnosť zmáčania mikropovrchu lepidlom je tým väčšia , čím menšia je hĺbka a priemer nerovnosti. Typy nerovnosti podľa de Bruyna znázorňuje obr. 3.5.



Obr. 3.9. Tvary nerovnosti mikropovrchu

- a) válcová nerovnosť , b) kónická otvorená nerovnosť , c) kónická uzatvorená nerovnosť ,
- d) kónická plochá nerovnosť , e) miskovitá nerovnosť

Zdroj : Osten M. (1974)

⇒ Zloženie a chemická účinnosť adherendu

Optimálne ovplyvnenie súdržnosti spoja je dané autoadhéziou adherendov alebo vznikom priamych chemických väzieb.

⇒ Zmäčavosť

Predpokladom adhezívnej aktivity podkladu je, aby dotykový uhol $\theta < 30^\circ$. Zmäčavosť adherendu priaznivo ovplyvňujú niektoré povrchové úpravy. Zmäčacia účinnosť lepidiel sa zvyšuje tenzidmi.

⇒ Čistota povrchu

Pre dosiahnutie súdržného spoja je nutný maximálny kontakt lepidla s mikropovrchom adherendu. Ak sú kontaktné plochy znečistené, lepidlo sa nedostane k povrchu lepeného materiálu, ale iba k povrchu nečistoty, takže pevnosť spoja potom závisí na súdržnosti nečistôt. Za nečistý povrch môžeme považovať každý povrch, ktorý nebol pred lepením samostatne upravený. Čistenie sa prevádza rozpúšťadlami alebo mechanicky. Dokonale očistenie textilných materiálov, používaných pre spojovanie lepením, je veľmi obtiažne, preto pri výbere lepidla musíme predpokladať, že povrch vlákien nebude zbavený nečistôt a že tento faktor ovplyvní konečnú pevnosť spoja.

⇒ Priepustnosť plynov

Je podmienená vlhkosťou, četnosťou a prepojením pôrov. Je dôležitá pre výber lepidla a pracovného postupu.

Poznáme materiály : • nepriepustné - napr. kovy, sklo

- priepustné - napr. textilné materiály, drevo
- polopriepustné - napr. fólie, betóny

V praxi sa stretávame s ich kombináciou.

⇒ Hrúbka a tuhosť

Je dôležitá pre výber lepidla. Ak je materiál hrubý a málo ohybný, klesá so vzrastajúcou hrúbkou adherendu i pravdepodobnosť deformácie spoja a zvyšuje sa jeho odolnosť voči dynamickému namáhaniu. Nepriaznivý vplyv deformácie môžeme odstrániť konštrukčnou úpravou spoja, zväčšením hrúbky adherendu alebo dosiahnutím rovnakej elasticity filmu lepidla na povrchu adherendu.

⇒ *Súdržnosť povrchu*

Je daná zložením adherendu , jeho štruktúrou a povrchovou úpravou. Obyčajne platí že , čím väčšia je objemová hmotnosť materiálu , tým súdržnejší je povrch .

⇒ *Rozpustnosť , bobtnavosť*

Rozpustnosť adherendov môže byť za rovnakých podmienok i príčinou chyby spoja. Stáva sa to najmä pri veľkom nánose lepidla a krátkej dobe otvorenej zostavy spoja , kde nemôže rozpúšťadlo uniknúť a na povrchu rozpusteného adherendu vznikajú defekty. Defekty vznikajú i pri bobtnavosti jedného z materiálov , ak ide o heterogénny materiál.

⇒ *Teplotná dĺžková rozťažnosť*

Zmeny rozmeru materiálu závisia na jeho štruktúre , tvare a teplote. U materiálov s orientovanou štruktúrou je zväčšenie rozmerov väčšie v smere usporiadania makromolekúl. U materiálov s neorientovanou štruktúrou je zväčšenie vo všetkých smeroch rovnaké.

Pri lepení môžu nastať tieto prípady :

- pri lepení rovnakých materiálov je zmena rozmerov vyvolaná teplotnou dĺžkovou rozťažnosťou minimálna
- pri lepení rôznych materiálov sa môže rozmerová zmena prejavovať deštrukciou spoja , napr. popraskaním , odlupovaním spoja

Pre materiály s vysokou teplotnou rozťažnosťou musia byť aplikované lepidlá poskytujúce pružný film. Vytvrdzovanie lepidla by malo prebiehať za teploty , v akej bude v praxi daný súbor používaný.

LEPIDLO (ADHEZIVO)

⇒ *Adheziva* sú najčastejšie makromolekulárne látky vhodných deformačných schopností. Najlepivejšie sú v kvapalnom stave , do ktorého sa dostávajú rozpustením , roztavením alebo emulgovaním. Zložením adheziva dosiahneme tvárovú stálosť lepeného spoja [6] .

⇒ *Zloženie a tvar makromolekuly*

Pozri kapitolu : Epoxidové lepidlá

⇒ *Polymeračný stupeň*

S narastajúcou dĺžkou makromolekul , t.j. s vyšším polymeračným stupňom , stúpa viskozita roztoku a kohézia filmu lepidla , pričom adhézia klesá. Platí to i opačne. Dobré lepidlo preto musí obsahovať vysokomolekulárne i nízkomolekulárne zložky. Pre prípravu lepidiel je vhodný polymeračný stupeň od 50 do 300 .

⇒ *Viskozita*

Je to miera vnútorného trenia v kvapaline. Závisí na obsahu a polymeračnom stupni filmotvornej látky , obsahu a kvalite plniva , na pomere rozpúšťadla k riedidlu a na teplote. Upravuje sa , podľa pokynov výrobcu lepidla , miešaním s lepidlom inej viskozity alebo pridaním plniv. Upravené lepidlo sa musí po povrchu adherendu rovnomerne rozlievať a tvoriť viditeľný lesklý film.

⇒ *Homogenita.*

Je základným predpokladom pre tvorbu dobrého spoja. Preto je nutné rešpektovať predpísané miesenie lepidiel a použitých prísad. Tvrdidlo sa väčšinou pridáva ako posledné. Znížená homogenita je zapríčinená nevhodným skladovaním alebo prešlou životnosťou lepidla.

⇒ *Objemová stálosť*

Rozumie sa tým zmena objemu lepidla pri premene z tekutého stavu na tuhý film. Čím väčší je obsah aktívnych zložiek a palív v lepidle , tým menšie sú následné objemové zmeny. Pod pojmom aktívne látky rozumieme nielen polymer , ale i ďalšie látky schopné reakcií.

⇒ *Štruktúra a zloženie plniva*

Delíme ich na organické a anorganické .

Organické plnivá sú mäkké. Ich nevýhodou je , že znižujú vodovzdornosť a objemovú stabilitu lepidla.

Anorganické plnivá delíme na :

- plnivá s doštičkovou štruktúrou (kaolin , slúda ...) zvyšujú konzistenciu zmesi a zhoršujú mechanické vlastnosti
- plnivá s vlákennou štruktúrou (azbest , sekané sklenené vlákna) značne zvyšujú viskozitu zmesi

- ostrohranné plnivá (mletý porcelán , kovy ...) zvyšujú elektrickú vodivosť filmu lepidla pri správnom pomere

3.2.3 Technologické podmienky tvorby spoja [1,2]

K technologickým podmienkam patrí : 1) konštrukcia lepených spojov

- 2) predbežná úprava spojovaných plôch
- 3) príprava adheziva
- 4) nános lepidla
- 5) fixácia spoja a pôsobenie tlaku
- 6) teplota a doba tuhnutia
- 7) stav výrobného zariadenia

K niektorým bodom podrobnejšie :

ad 1)

Lepené spoje sú namáhané v ťahu , tlaku , šmyku , v odlupovaní , v rázovej pevnosti v krútení a pod. , preto musí byť spoj konštrukčne upravený tak ,aby bol čo najmenej namáhaný , najmä v odlupovaní a krútení. Namáhanie sa v týchto prípadoch sústreďuje iba do určitých miest spoja ,čo vedie k lokálnemu pretrhnutiu a poškodeniu filmu lepidla. Z technologického hľadiska musíme pri konštrukcii spoja dbať i na to , aby dotykové plochy adherendov boli málo členité a po zlepení nevyžadovali ďalšiu úpravu. V experimentálnej časti sú využité preplátované spoje (obr.4.4) , ktoré sa používajú pri lepení tenkých materiálov ,pretože je tu možné zanedbať vplyv ohybového momentu. Ťahové napätie sa u týchto spojov sústreďuje na koncoch preplátovania a pôsobí ako odlupovacia sila. Dĺžka preplátovaného spoja závisí na druhu materiálu a jeho hrúbke.

ad 4)

Má byť rovnomerný s primerane hrubým filmom lepidla v spáre. Súdržnosť spoja závisí od optimálneho nános lepidla danej akosti pre určité vlastnosti oboch adherendov vhodnou technológiou nanášania lepidla , fixácie spoja a spôsobu vytvrdzovania. Pre akosť lepidla je dôležitý obsah sušiny.Limitujúcim činiteľom pre nános lepidla je pôrovitosť , hrúbka a štruktúra adherendu. Optimálny nános lepidla má umožňovať hrúbku filmu v

spare 0.05 - 0.25 mm. O tom či má byť nános jednostranný alebo obojstranný rozhoduje druh lepidla a charakter spoja.

ad 5)

Fixácia (zaistenie) je dôležitým úkonom pred pôsobením tlaku na spoj , pretože niektoré lepidlá v prvej fáze vytvrdzovania zriednu , čím by mohlo dôjsť k posunutiu adherendov.

Účelom pôsobenia tlaku na spoj je rovnomerné rozvrstvenie lepidla v spáre a vyrovnanie menších nerovností povrchu. Tlak musí pôsobiť kolmo na lepené plochy a musí byť primeraný k tlakovej pevnosti podkladu.

Chyby : *nadmerný tlak* zapríčiňuje nesúdržnosť spoja , pretože môže vytlačiť lepidlo,

nedostatočný tlak vedie k nerovnosti rozvrstvenia lepidla , z čoho vyplýva nekvalitný spoj

ad 6)

Doba otvoreného zostavenia spoja je časový interval začínajúci v okamžiku naniesenia tekutého lepidla a končiaci priložením druhej plochy , t.j. uzatvorením spoja.

Doba uzatvoreného zostavenia spoja začína v okamžiku , keď obe lepené plochy boli boli na seba priložené ,až do okamžiku zavedenia tlaku.Táto doba musí byť čo najkratšia , aby nedošlo k stuhnutiu lepidla pred začiatkom pôsobenia tlaku.

Tuhnutie lepidla v spoji

Podmienkou vytvorenia filmu lepidla , ktoré je schopné adhézie , je jeho prechod z fáze tekutej do fáze tuhej. Spôsob , akým to prebieha , charakterizujú jednotlivé skupiny lepidiel. Rýchlosť tuhnutia môže byť ovplyvnená teplotou okolia alebo umelým teplotným režimom , preto rozlišujeme :

- *lepenie za normálnej teploty* od + 15°C do + 25°C
- *lepenie za tepla* od + 30°C do + 100°C
- *lepenie za horúca* > 100°C

Maximálne vytvrdenie lepidla neznamená maximálnu pevnosť spoja. Limitným činiteľom pre urýchlenie tvrdnutia lepidla je tepelná odolnosť a rozdiel teplotnej dĺžkovej rozťažnosti oboch adherendoch.

3.3 LEPIDLÁ

3.3.1 Kvalifikácia lepidiel

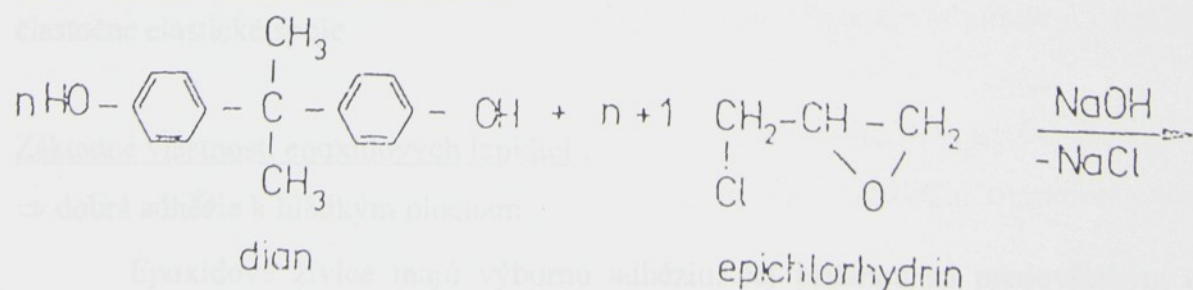
Adheziva tvoria širokú skupinu spojovacích materiálov. Rozdeliť ich do jednotlivých kategórií môžeme rôznymi spôsobmi podľa niekoľkých hľadísk. V tabuľke 3.1. je podrobné rozdelenie lepidiel podľa M. Ostena (1974) .

3.3.2 Epoxidové lepidlá [7]

Týmto lepidlám bude venovaná väčšia pozornosť , pretože boli použité v experimentálnej časti pri lepení textilných tkanín.

Príprava epoxidových živíc je založená na reakcii viacmocných fenolov s epichlorhydrinom. Ako viacmocný fenol sa najčastejšie používa dian [bisfenol A ,2,2 - bis(4-hydrofenylylpropan)].

Schéma prípravy epoxidovej živice :



Zdroj : M. Osten (1986)

Podľa vzájomného pomeru oboch zložiek a podmienok vytvrdzovania vznikajú živice s rôznymi vlastnosťami.

Vytvrdzovanie epoxidových živíc je proces , v ktorom sa pomocou chemických reakcií prevádzajú nízkomolekulárne , rozpustné a tavitelné epoxidové monomery a oligomery na netavitelné a nerozpustné polymery. Epoxidové živice po vytvrdnutí získavajú mnoho nových vlastností, ako je napr. mechanická pevnosť , „kaučukovitá elasticita“, rozmerová stálosť , tepelná odolnosť a pod. , ktoré sú nutné pre ich aplikáciu. Vytvrdzovanie sa prevádza pomocou tzv. *tvrdidiel* za normálnej teploty až po teploty do

200 °C. Tvrdidlá sú jednak látky schopné reagovať s epoxidovými, poprípade s hydroxylovými , skupinami prítomnými v živici , takže sa stávajú súčasťou vytvorenej siete , jednak sú to látky , ktoré iba iniciujú polymeráciu epoxidových skupín a vzniknutá sieť je zložená iba zo segmentov epoxidových živíc. U niektorých typov tvrdidiel prebiehajú oba typy polyreakcií súčasne a vo vzniknutej sieti sú prítomné obe štruktúry vedľa seba. Tvrdidlom bývajú polyaminy. Najbežnejším tvrdidlom pre lepenie za normálnej teploty je diethylentriamin (P11) .

Epoxidové živice sa ako lepidlo používajú buď bez ďalších úprav alebo sú ich vlastnosti upravené látkami ako sú zmäkčovadla , reaktívne rozpúšťadlá. V nevytvrditeľnom stave sú kvapalné a sú rozpustné v ketonoch , esteroch , v aromatických a chlorovaných uhlíkovodíkoch , a vo vyšších alkoholoch. Vytvrdzovanie epoxidových lepidiel oboch skupín, t.j. tvrditeľných za tepla i studena, sa môže urýchliť pridaním vhodného urýchľovača. Vytvrdené epoxidové lepidlá vytvárajú nerozpustné , netavitelné a čiastočne elastické spoje.

Základné vlastnosti epoxidových lepidiel :

⇒ dobrá adhézia k hladkým plochám

Epoxidové živice majú výbornú adhéziu. Jej príčinou sú predovšetkým epoxidové a hydroxylové skupiny , poprípade niektoré skupiny vnesené tvrdidlom. Epoxidové

skupiny majú vplyv na adhéziu iba v prvej fáze lepenia , t.j. vo fáze zmáčania povrchu , v ďalšom pochode miznú reakciou s tvrdidlami , s ktorými tvoria makromolekulu.

⇒ dobrá kohézia po vytvrdnutí

Kohézia je dôsledkom príťažlivých síl medzi molekulami živice. Dodáva filmu a lepidlu dobré chemické vlastnosti , pričom je i znakom dobrej pevnosti v odlupovaní .

⇒ pri vytvrdzovaní nesmie v lepidle vznikáť žiadne pnutie oslabujúce adhéziu , to znamená

že lepidlo musí mať minimálnu zmrštitel'nosť a nesmie obsahovať tekavé zplodiny , vzniknuté reakciou alebo z použitých rozpúšťadiel

Tento bod spĺňajú veľmi dobre, pretože reakcia vytvrdzovania prebieha za nepatrných objemových zmien , pričom nevznikajú žiadne tekavé zplodiny. Z tohto dôvodu nie je nutný vysoký tlak. K fixovaniu lepených dielov postačí tlak s minimálnou hodnotou 0.02 MPa pri optimálnej hrúbke filmu lepidla 0.1 -0.2 mm.

⇒ musia mať dobré elektroizolačné vlastnosti

Ich elektrická vodivosť je asi 25 kV/mm a merný vnútorný odpor je väčší než $10^{12} \Omega \text{cm}$. Takže táto podmienka je tiež splnená.

⇒ musia čo najmenej podliehať stárnutiu a mať dobrú chemickú odolnosť

Stárnutie epoxidových živíc je nepatrné.

⇒ musia byť jednoduchým spôsobom spracovateľné a nesmú mať fyziologicky škodlivé účinky.

Aplikácia epoxidov :

Použitie epoxidov pre ich výborné vlastnosti sa rozšírilo v rade odvetví : strojárskom priemysle , v leteckom a elektrotechnickom priemysle, v stavebníctve , v lekárstve , v drevárskom a nábytkárskom priemysle , výtvarnom umení , v optike ,pri reštavrátorských prácach.

Významné použitie je i v textilnom priemysle. Používajú sa napríklad ako apretačné činidlá , stabilizátory , zmäččovadlá , systémy pre antistatickú a hydrofóbnú úpravu textilných materiálov , i ako lepidlá .

podľa pôvodu	organické z prírodných surovín	živicové
		škrobové
		glutinové
		albuminové
		bitumenové
	organické syntetické	polykondenzačné
		polymeračné
		polyadičné
	anorganické	vodné sklo
		cementy
		sádra
	zmiešané	albumin - cement
		albumin - síra
		močovínové s vodným sklom a pod.
podľa konzistencie	tuhé	lepiace fólie
		lepidlá v prášku a granulách
	polotuhé	lepiace pásy
		lepiace pasty
		lepivé tmely
	tekuté	lepidlá v roztoku
		lepidlá disperzné
podľa spôsobu	reaktívne jednozložkové	tuhnú účinkom zvýšenej teploty alebo vlhkosti
tuhnutia	reaktívne dvoj a viac zložkové	tuhnú vplyvom tvrdiacich katalyzátorov
	nereaktívne - roztokové	tuhnú vyparením vody alebo rozpúšťadla
	- disperzné	tuhnú vsiaknutím vody do podkladu
	- taveninové	tuhnú po ochladení spáry na normálnu teplotu
	stále lepivé	
podľa tepelných vlastností filmu lepidla	termosetové	fenolické
		rezorcinové
		močovínové
		melaminové
		epoxidové
		polyuretánové
		polyesterové
	termoplastické	polyvinylacetátové
		polyvinylchloridové
		polymetakrylátové
		polyvinylacetátové
		polystyrénové
		polyamidové
		z derivátov celulózy
	kaučukové	chlórkaučukové
		polychloroprenové
		polybutadiénakrylonitrilové
podľa odolnosti filmu lepidla k	neodolné vode	škrobové
		glutinové

vode		
		albuminové
		polyvinylalkoholové
		metylcelulóзовé
		karboxymetylcelulóзовé
	krátkodobo odolné vode	močovinové
		polyvinylacetátové
		nitrátcelulóзовé
		polyvinyléterové
	trvale odolné vode	fenolformaldehydové
		rezorcinové
		melaminové
		polyuretánové
		polyesterové
		polymetakrylátové
		epoxidové

Tab. 3.1. Klasifikácia lepidiel

Zdroj : Osten M. (1986)

3.4 LUMINESCENCIA

3.4.1 Základy luminescencie [4,5]

Luminescenciou sa podľa Vavilova [4] rozumie taká vlastnosť plyných a kondenzovaných látok , ktorých odozva na pôsobiacu vonkajšiu energiu sa prejavuje vyžiarovaním , emisiou , elektromagnetického , väčšinou svetelného žiarenia v dobe dlhšej než 10^{-10} s. Luminescenciu kvalifikujeme ako nerovnovážne žiarenie.

Do luminescenčného žiarenia nepočítame rovnovážne tepelné žiarenie , odrážané žiarenie a Čerenkovovo žiarenie .

Luminescencia je pozorovateľná vo všetkých skupenstvách : plynnom , kvapalnom a tuhom , a to látiek organických i anorganických. Látkami kondenzovanými sa spoločne nazývajú látky tuhé a kvapalné.

Látky , ktoré javia luminescenciu , voláme *luminofóry*. V súčasnosti je ich veľké množstvo a luminescencia v nich vzniká rôznymi pochodmi. K najdôležitejším látkam ,

ktoré sa vhodným spracovaním stávajú luminiscenčnými patrí sulfid zinočnatý (ZnS), ktorý bude použitý i v experimentálnej časti.

Mechanizmus luminescencie rozdeľujeme na tri štádia :

- 1) *excitácia* - predanie energie luminofóru a jeho vybudenie
- 2) *transport energie látkou* - vyžiarenie energie z vybudeného luminofóru
- 3) *rekombinácia* - medzi 1. a 3. štádiom v niektorých luminofóroch môže dôjsť k prenosu energie z miesta , kde nastalo vybudenie luminofóru do miesta , v ktorom dochádza k vyžiareniu viditeľného žiarenia.

Podľa formy energie , ktorá sa dodáva luminofóru pri jeho excitácii , rozoznávame rôzne druhy luminescencie , napr. :

- fotoluminescencia - buďená viditeľným alebo ultrafialovým žiarením
- katoluminescencia - buďená bombardovaním elektrónu
- elektroluminescencia - buďená elektrickým poľom
- radioluminescencia - buďená radioaktívnym a rengenovým žiarením
- mechanoluminescencia - buďená vonkajším mechanickým pôsobením a iné.

V experimentálnej časti bude sledovaná mechanoluminescencia , takže jej bude venovaná väčšia pozornosť.

4.2.2 Mechanoluminescencia [4]

Mechanoluminescencia je jednou z foriem luminescencie , pri ktorej sa mechanická energia mení na svetelnú alebo obecnú žiarivú , alebo sa ňou rozumie v najširšom slova zmysle luminescencia vybudená vonkajším pôsobením.

Mechanoluminescencia je veľmi zložitý dej , lebo pri mechanickom pôsobení na kondenzované látky dochádza obvykle k zložitým mechanickým javom , ako je elastická , plastická deformácia , poprípade rozrušenie látiek , ktoré sa veľmi ťažko separujú. Pri opakovanom mechanickom namáhaní vznikajú v látkach vysoké tlaky , koncentrované do

malých oblastí i vysoké teploty. Väčšina mechanoluminescenčných javov je doprevádzaná i ďalšími javmi, ako sú javy elektrickej povahy, emisia elektrónov a iné.

Vedľa mechanoluminescencie, ktorá vzniká za prítomnosti jedinej látky, počítame do mechanoluminescenčných javov i javy vznikajúce pri odtrhovaní jednej látky z povrchu látky druhej, tento jav nazývame adhezoluminescencia. Pri tomto spôsobe budenia mechanoluminescencie pozorujeme luminescenciu jedného alebo oboch participujúcich materiálov.

Javy mechanoluminescencie :

Existuje množstvo mechanoluminescenčných navzájom odlišných javov podľa spôsobu budenia. Z obecného hľadiska ich delíme do troch skupín, a to :

- 1) priame mechanoluminescenčné javy
- 2) nepriame mechanoluminescenčné javy
- 3) javy doprevádzajúce javy mechanoluminescenčné

Do prvej skupiny radíme všetky mechanoluminescenčné javy, ktoré sú bezprostrednou odozvou na vonkajšie mechanické pôsobenie na tuhé látky.

Do druhej skupiny radíme javy, pri nich je pôsobenie mechanické sekundárne, napr. ohrev.

Do tretej skupiny radíme javy doprovdné, ktoré môžeme pozorovať pri niektorých typoch mechanoluminescencie a týmito javmi je potom možné príslušný typ mechanoluminescencie identifikovať.

Ďalším kritériom delenia daných obecných javov je doba trvania, kde sa mechanoluminescencia delí na :

- dočasnú (temporérnu)

- trvalú (permanentnú)

Zatiaľ, čo trvalú mechanoluminescenciu môžeme pozorovať v ľubovoľnom čase pri mechanickom (primárnom i sekundárnom) vonkajšom pôsobení na tuhé látky, pri dočasnej mechanoluminescencii sa stráca schopnosť mechanoluminescenčného javu s časom.

Mechanoluminescenčné materiály :

Mechanoluminescenčné látky delíme na dve veľké oblasti , a to na anorganické a organické. Tu potom môžeme nájsť tri skupiny mechanoluminescenčných látok rovnakej štruktúry , a to : alkalické halogenidy kryštalickej štruktúry chloridu sodného (NaCl) , kryštály wurtzitického a sfaleritického typu štruktúry sulfidu zinočnatého (ZnS) a alauny , t.j. látky s kationtovou skupinou .

Medzi anorganické látky patria , napr. sulfidy , diamand , ľad , sklo , a iné.

Medzi organické látky patria , napr. polymery , kaučuky , a iné.

Použitie mechanoluminescencie v technike :

Mechanoluminescenciu môžeme použiť pre čítané technické aplikácie , ako napr. určovanie doby rázu telesa , určovanie rozloženia rýchlosti častíc pri prúde , rozloženie kvality rôznych častíc , využitie ku štúdiu mechanických vlastností materiálu a pod

Zhrnutie mechanoluminescencie :

V porovnaní s inými disciplínami fyziky pevných látok je mechanoluminescencia na začiatku svojho bádania i keď patrí medzi najstaršie javy vďaka citlivosti oka ako svetelného detektoru . Jednotná teória mechanoluminescencie neexistuje i keď pokusy o jednotný výklad všetkých typov mechanoluminescencie už boli naznačené. Z experimentálneho hľadiska , boli vyčerpané všetky experimentálne možnosti pre budenie mechanoluminescencie . K dispozícii je i väčšina základných skutočností získaných z mechanoluminescenčných meraní , takže je treba využiť výsledkov experimentov k teoretickému spracovaniu , ktoré je v porovnaní s experimentom ešte na samom začiatku.

4 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

4.1 ROZBOR TKANÍN

Pred začiatkom všetkých nasledujúcich meraní bol vykonaný rozbor skúšobných vzoriek tkanín, t.j. bavlnenej a sklenenej. Obe tkaniny sú v plátnovej väzbe. V ďalších parametroch sa tkaniny navzájom líšia. Bavlnená tkanina (obr.4.1. a) je v neupravenom, t.j. v režnom stave. Sklenená tkanina (obr. 4.1. b) je v upravenom stave.

Zistené parametre tkanín sú kvôli prehľadnosti a možnosti zrovnania zoradené do tab. 4.1. . V tab. 4.2. sú uvedené pre porovnanie niektoré vlastnosti bavlnených a sklenených vlákien.

	bavlnená tkanina	sklenená tkanina
hmotnosť vzorky (g)	0,4790	0,4790
rozmerná hmotnosť (g/cm ²)	0,0219	0,0219
rozmerná hustota (cm ³)	124,700	124,700
dĺžka vlákna (cm)	105,120	105,120

a) bavlnená tkanina

b) sklenená tkanina

Obr. 4.1. Vzorky skúšaných tkanín

4.2 PRÍPRAVA VZORIEK

	Bavlnená tkanina	Sklenená tkanina
Väzba tkaniny	plátno P 1 / 1	plátno P 1 / 1
Druh použitej priadze	bavlnené	sklenené
Plošná hmotnosť (g / m ²)	163,20	205,79
Dĺžková hmotnosť osnovy (tex)	27,70	69
Dĺžková hmotnosť útku (tex)	20	70,5
Dĺžková hustota osnovy (nití / cm)	34	12
Dĺžková hustota útku (nití / cm)	22	17
Zotkanie osnovy (%)	4,70	0,75
Zotkanie útku (%)	5,10	0,65
Hrúbka tkaniny (mm)	0,96	0,77

Tab. 4.1. Parametre vzorkov skúšaných tkanín

Hodnoty , ktoré sú získané výpočtom , sú priemerné hodnoty z desiatich meraní :

• plošná hmotnosť

$$t = m / l \quad [\text{g} / \text{km} = \text{tex}] \quad (4.1.)$$

kde je : **m** - hmotnosť , **l** - dĺžka

Získané hodnoty pre výpočet plošnej hmotnosti :

	bavlnená tkanina	sklenená tkanina
hmotnosť osnovy (g)	0.0290	0.0695
hmotnosť útku (g)	0.0210	0.0710
dĺžka osnovy (cm)	104.700	100.75
dĺžka útku (cm)	105.100	100.65

• zotkanie

$$\varepsilon = (l / l_0) 100 \quad [\%] \quad (4.2.)$$

kde: **l** je rozdiel pôvodnej dĺžky nite a dĺžky po zotkaní

l₀ je povodná dĺžka (l₀ = 10 cm)

4.2 PRÍPRAVA VZORIEK

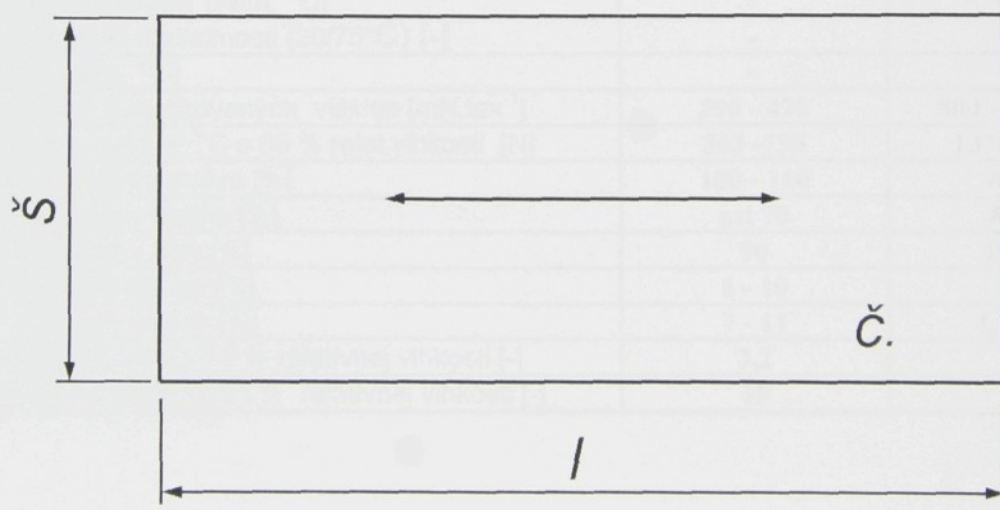
Táto časť experimentu vyžaduje pracovnú prípravu a presnosť značenia vzoriek, aby nedošlo k zámene a následovnému skresleniu výsledkov. Je to časovo a organizačne náročná záležitosť.

4.2.1 Strihanie vzoriek, ich úprava a značenie

Z bavlnenej a sklenenej tkaniny boli vystrihnuté vzorky, a to v smere (obr 4.2 1.)

- osnovy (O)
- útku (Ú)
- 45°

v šírke $\bar{s} = 30 \text{ mm}$ a dĺžke $l = 140 \text{ mm}$ a $l = 50 \text{ mm}$.



l dĺžka $\bar{s}$ šírka Č číslo vzorku $\leftrightarrow$ smer strihania

Obr. 4.2. Strihanie vzoriek

U sklenených vzoriek sa kvôli preklzávaníu nití v osnove a útku spevňovali okraje lepidlom v šírke cca 2 mm . Bolo na to použité disperzné lepidlo Gama fix bez rozpúšťadiel od firmy HENKEL , ktoré sa využíva na lepenie papiera , textílie , dreva a pod. .

Konce vzoriek oboch tkanín boli následne polepené prúžkami bavlnených tkanín o rozmere 30 x 40 mm , aby nedošlo k poškodeníu jednotlivých nití a k preklzu v čeľustiach trhacieho zariadenia pri ťahových deformačných skúškach. Parametre bavlnených tkanín , určených pre zaistenie skúšobných vzoriek , nie sú doležité , preto nebudú popisované .

	bavlnené vlákna	sklenené vlákna
merná hmotnosť suchých vlákien [g/cm ³]	1,55	2,49 - 2,54
merná hmotnosť klimatizovaných vlákien [g/cm ³]	1,49	2,44 - 2,48
vlhkosťná prírážka [%]	8,5	1,5
navlhavosť pri 65 % [%]	7,0 - 8,5	-
navlhavosť pri 95 % [%]	24 - 27	0,4
teplota mäknutia [°C]	žltne pri 120	500 - 600
teplota topenia [°C]	-	1100 - 1200
merná tepelná vodivosť [W/m. °C]	-	0,98
koeficient tepelnej rozťažnosti (20/75°C) [-]	-	4,8
merné teplo [J/kg. °C]	-	8,0
merná pevnosť klimatizovaných vlákien [mN.tex ⁻¹]	390 - 470	800 - 1000.10 ³
pevnosť v ťahu pri t=21°C a 65 % relat.vlhkosti [N]	363 - 755	1370 - 1470
relatívna pevnosť za mokra [%]	100 - 110	90 - 95
relatívna pevnosť v slučke [%]	asi 70	8 - 10
relatívna pevnosť v uzle [%]	90	10 - 30
ťažnosť suchých vlákien [%]	6 - 10	asi 2
ťažnosť mokrých vlákien [%]	7 - 11	1,7 - 1,8
dielektrická konštanta pri 0 % relatívnej vlhkosti [-]	3,2	3,7
dielektrická konštanta pri 65 % relatívnej vlhkosti [-]	18	4,4

Tab. 4.2. Vlastnosti bavlnených a sklenených vlákien

Zdroj: Simon J. (1954) , Švedová J. (1978)

V experimente neboli dodržané rozmerové údaje dané normou ČSN 80 08 12 a zmena a - 5/1991 pre ťahové skúšky plošných textílií , ktorá stanovuje upínaciu dĺžku 200 mm (dĺžka elementárnej vzorky má byť najmenej o 150 mm väčšia než upínacia dĺžka) ,

šírku 50 mm a počet skúšaných vzoriek 5. Neboli tiež dodržané rozmerové hodnoty vzoriek pre stanovenie pevnosti spoja vrstiev podľa normy ČSN 80 08 30 , ktorá stanovuje upínaciu dĺžku 100 mm , rozmery 250 x 50 mm , a to z dôvodov ekonomických .

4.2.2 Váženie

Pre neskoršie zistenie spotreby lepidla bolo nutné všetky skúšobné vzorky zvážiť pred a po lepení . Vážilo sa na **analytických váhach 200 g LB - 1050 / 2** cca 24 hodín po nastrihaní a spevnení krajov .

Z technických údajov sú uvedené iba najdôležitejšie data , a to :

⇒ váživosť	50 mg - 200 g
⇒ citlivosť	0.1 mg
⇒ hodnota delenia (d)	1 mg
⇒ presnosť	1. Trieda , vynikajúca
⇒ medz chýb	0 -50 g - 0.5 mg 50 - 200 g - 1.0 mg

Získané hodnoty váženia sú uvedené v tab. 4.3. .

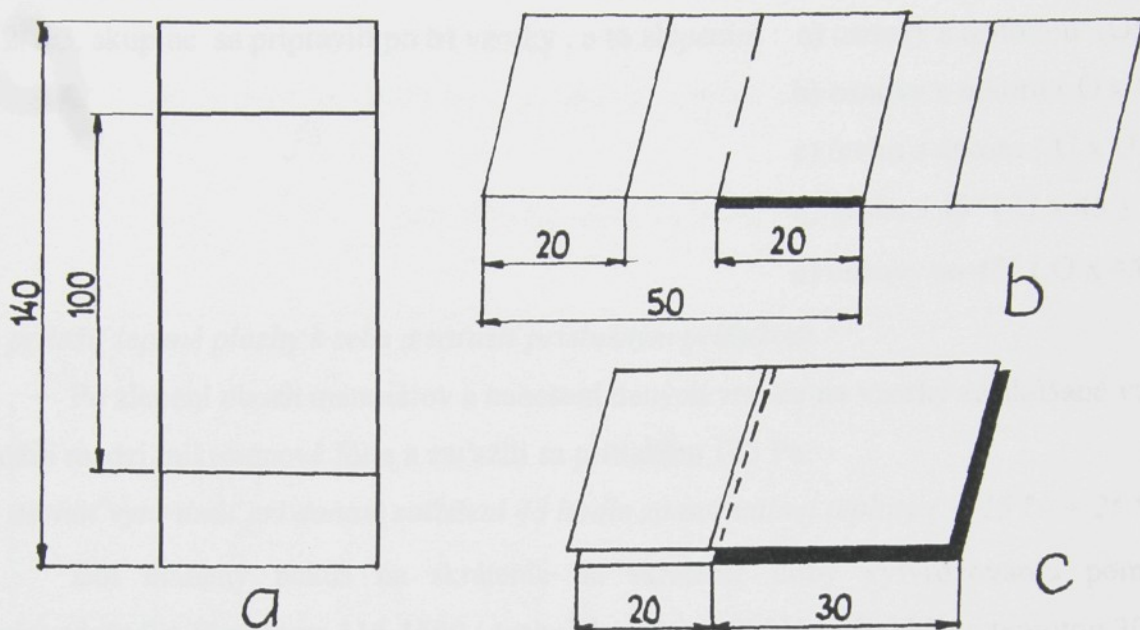
4.2.3 Lepenie

Pripravené vzorky boli určené pre tvorbu troch druhov lepených spojov :

1.skupina vzorky o rozmere 140 x 30 mm určené na vystuženie tkanín
(obr. 4.4. a)

2.skupina vzorky o rozmere 50 x 30 mm určené pre tvorbu jednoduchých
preplátovaných spojov (obr. 4.4. b)

3.skupina vzorky o rozmere 50 x 30 mm určené pre tvorbu jednostranne preplátovaných spojov (obr. 4.4. c)



Obr. 4.4. Typy adhezných spojov

Na lepenie bolo zvolené dvojzložkové lepidlo **ChS Epoxy 510** (s objemovou mernou hmotnosťou $\rho = 1.172 \text{ g / cm}^3$) a silne zásadité **tvrdidlo P11** .

Postup lepenia:

1) *pripraviť lepiacu zmes z lepidla a tvrdidla v danom pomere a dôkladne premiešať*

V tomto experimente sa miesilo v pomere 1:10 , t.j. 1 hmotnostný diel tvrdidla na 1 hmotnostný diel lepidla. Lepiacu zmes bolo nutné chlaďť v nádobe so studenou vodou , aby nedochádzalo k predčasnému vytvrdzovaniu .

2) *naniest' rovnomerne lepidlo na obe lepené plochy sterkou alebo štetcom*

V 1.skupine sa nanášalo lepidlo : a) v jednej vrstve z lícnej a rubnej strany vzorky

b) v dvoch vrstvách z lícnej a rubnej strany vzorky

a to v počte troch kusov z každej varianty. U sklenených tkanín sa navyše pripravili vzorky s nanosom prášku sulfidu zinočnatého (ZnS) pre neskoršie skúmanie adhezoluminescencie .

V 2. a 3. skupine sa pripravili po tri vzorky , a to zlepením :

a) osnovy s osnovou ($\text{O} \times \text{O}$)

b) osnovy s útkom ($\text{O} \times \text{Ú}$)

c) útoku s útkom ($\text{Ú} \times \text{Ú}$)

d) útoku s 45° ($\text{Ú} \times 45$)

e) osnovy so 45° ($\text{O} \times 45$)

3) priložiť lepené plochy k sebe a zaťažiť príslušným prítlakom

Po zlepení oboch materiálov a nanosení daných vrstiev na vzorky sa skúšané vzorky vložili medzi mikroténové fólie a zaťažili sa prítlakom 143 Pa.

4) nechať vytvrdnúť pri danom zaťažení 48 hodín za normalnej teploty ($+15^\circ - +25^\circ$)

Bol učený pokus na skrátenie doby vytvrdzovania pomocou teplovzdušného fenu **ferm 116-1500** (technické údaje : 220V , 1500 kW a teplotou 300°C a 2500°C) na bavlnenej tkanine . Napriek nanosu lepiacej zmesi začala bavlnená tkanina hnednúť cca 8 min pri teplote 300°C (rozpad bavlneného vlákna je pri teplote 150°C) . Samotné lepenie prebiehalo pri izbovej teplote 20°C a vlhkosti 65 - 70 % .

V amatérskych podmienkach pri lepení je nutné dodržiavať nasledujúce opatrenia :

- s lepidlami pracovať vždy pri otvorenom okne
- pri práci nejesť
- vyvarovať sa blízkosti voľného plameňa a nefajčiť
- netrieť si oči
- vyvarovať sa väčšieho kontaktu lepidla s pokožkou
- dodržiavať návod výrobcu

Po vytvrdnutí lepidla nasledovalo opätovné váženie vzoriek adhezných spojov a vystužených tkanín . Zároveň sa zisťovala hmotnosť a hrúbka nanosu lepidla na jednotlivých vzorkach. Všetky tieto údaje sú uvedené v tab. 4.3..

Hrúbka lepidla bola vypočítaná podľa vzťahu :

$$\rho = m / V \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad V = S \times h \quad (\text{m}^3) \quad (4.3.)$$

kde : ρ – hustota lepidla , m - hmotnosť lepidla , S - lepená plocha , h - hrúbka lepidla

Tab. 4.3. Hodnoty váženía

1. skupina		bavlnené vzorky tkanín				sklenené vzorky tkanín			
Rozmer	140 x 30	m_1 (g)	m_2 (g)	m_L (g)	h_L (mm)	m_1 (g)	m_2 (g)	m_L (g)	h_L (mm)
osnova	0.	1,073				1,542			
		1,086				1,467			
		1,088				1,751			
	1. vrstva	1,136	2,305	1,169	0,332	1,429	2,876	1,447	0.411
		1,103	2,308	1,205	0,342	1,494	2,918	1,424	0.404
		1,110	2,319	1,209	0,343	1,573	2,821	1,248	0.354
	2. vrstva	1,092	3,924	2,832	0,804	1,541	4,629	3,088	0.877
		1,156	3,560	2,404	0,683	1,431	4,958	3,527	1.002
		1,107	3,314	2,207	0,627	1,664	3,800	2,136	0.607
útok	0.	1,275				1,442			
		1,326				1,497			
		1,495				1,823			
	1. vrstva	1,257	2,717	1,460	0,415	1,553	3,677	2,124	0.603
		1,269	2,915	1,646	0,467	1,527	3,449	1,922	0.546
		1,275	2,816	1,541	0,438	1,611	3,283	1,672	0.475
	2. vrstva	1,259	4,117	2,858	0,812	1,613	4,817	3,204	0.910
		1,289	4,163	2,874	0,816	1,464	5,111	3,647	1.036
		1,297	3,712	2,415	0,686	1,412	4,659	3,247	0.922
45 °	0.	1,510				1,496			
		1,532				1,500			
		1,547				1,719			
	1. vrstva	1,159	2,692	1,533	0,435	1,460	2,757	1,297	0.368
		1,076	2,590	1,514	0,430	1,517	3,041	1,524	0.433
		1,052	2,500	1,448	0,411	1,800	3,348	1,548	0.440
	2. vrstva	1,260	3,866	2,606	0,740	1,457	4,707	3,250	0.923
		1,157	4,198	3,041	0,864	1,506	4,867	3,361	0.955
		1,079	4,338	3,259	0,926	1,471	4,896	3,425	0.973
	Σ			37,221				43,091	

Legenda k tab. 4.3.: m_1 - hmotnosť vzorky pred lepením

m_2 - hmotnosť vzorky po lepení

m_L - hmotnosť lepidla

h_L - hrúbka lepidla

m_{01} - hmotnosť prvej vzorky

m_{02} - hmotnosť druhej vzorky

2. skupina							
Rozmer : 50 x 30		m ₀₁ (g)	m ₀₂ (g)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	m _L (g)	h _L (mm)
b a v l n e n á t k.	O x O	0,434	0,444	0,878	1,189	0,311	0,442
		0,430	0,454	0,884	1,172	0,288	0,410
		0,453	0,437	0,890	1,188	0,298	0,424
	O x Ú	0,451	0,456	0,907	1,116	0,209	0,297
		0,443	0,454	0,897	1,096	0,199	0,283
		0,438	0,452	0,890	1,113	0,223	0,317
	Ú x Ú	0,455	0,459	0,914	1,210	0,296	0,421
		0,438	0,442	0,880	1,123	0,243	0,346
		0,440	0,455	0,895	1,099	0,204	0,290
	Ú x 45	0,471	0,436	0,907	1,122	0,215	0,306
		0,466	0,449	0,915	1,103	0,188	0,267
		0,443	0,427	0,870	1,057	0,187	0,266
	O x 45	0,447	0,460	0,907	1,113	0,206	0,293
		0,461	0,451	0,912	1,169	0,257	0,365
		0,461	0,459	0,920	1,245	0,325	0,462
s k l e n e n á t k.	O x O	0,496	0,482	0,978	1,141	0,163	0,232
		0,482	0,487	0,969	1,114	0,145	0,206
		0,486	0,488	0,974	1,230	0,256	0,364
	O x Ú	0,485	0,498	0,983	1,146	0,163	0,232
		0,495	0,498	0,993	1,204	0,211	0,300
		0,496	0,500	0,996	1,164	0,168	0,239
	Ú x Ú	0,498	0,496	0,994	1,181	0,187	0,266
		0,492	0,497	0,989	1,181	0,192	0,273
		0,496	0,490	0,986	1,199	0,213	0,303
	Ú x 45	0,500	0,492	0,992	1,190	0,198	0,282
		0,497	0,496	0,993	1,172	0,179	0,255
		0,498	0,482	0,980	1,173	0,193	0,274
	O x 45	0,491	0,483	0,974	1,175	0,201	0,286
		0,491	0,482	0,973	1,116	0,143	0,203
		0,481	0,496	0,977	1,182	0,205	0,292
	Σ					6,466	

3. skupina							
Rozmer : 50 x 30		m ₀₁ (g)	m ₀₂ (g)	m ₁ (g)	m ₂ (g)	m _L (g)	h _L (mm)
b a v l n e n á t k.	O x O	0,459	0,463	0,922	1,307	0,385	0,365
		0,456	0,459	0,915	1,353	0,438	0,415
		0,426	0,451	0,877	1,292	0,415	0,393
	O x Ú	0,669	0,550	1,219	1,497	0,278	0,264
		0,460	0,523	0,983	1,588	0,605	0,574
		0,435	0,489	0,924	1,737	0,813	0,771
	O x 45	0,519	0,531	1,050	1,454	0,404	0,383
		0,509	0,555	1,064	1,554	0,490	0,465
		0,641	0,523	1,164	1,626	0,462	0,438
	Ú x 45	0,489	0,546	1,035	1,509	0,474	0,449
		0,493	0,551	1,044	1,574	0,530	0,502
		0,468	0,501	0,969	1,559	0,590	0,559
	Ú x Ú	0,516	0,529	1,045	1,588	0,543	0,515
		0,510	0,504	1,014	1,596	0,582	0,552
		0,531	0,550	1,081	1,656	0,575	0,545
s k l e n e n á t k.	O x O	0,571	0,577	1,148	1,162	0,014	0,013
		0,588	0,590	1,178	1,294	0,116	0,110
		0,501	0,599	1,100	1,281	0,181	0,172
	O x 45	0,569	0,588	1,157	1,252	0,095	0,090
		0,573	0,600	1,173	1,242	0,069	0,065
		0,575	0,574	1,149	1,322	0,173	0,164
	O x Ú	0,576	0,557	1,133	1,316	0,183	0,173
		0,560	0,551	1,111	1,252	0,141	0,134
		0,562	0,563	1,125	1,243	0,118	0,112
	Ú x 45	0,562	0,599	1,161	1,258	0,097	0,092
		0,565	0,542	1,107	1,236	0,129	0,122
		0,574	0,576	1,150	1,230	0,080	0,076
	Ú x Ú	0,577	0,545	1,122	1,321	0,199	0,189
		0,561	0,544	1,105	1,337	0,232	0,220
		0,566	0,562	1,128	1,317	0,189	0,179
	Σ					9,600	

4.3 MERANIE MECHANICKÝCH VLASTNOSTI ADHEZNÝCH SPOJOV

Mechanické vlastnosti tkanín popisujú schopnosť telies zmeniť tvar a prípadne objem (t.j. deformovať sa) v dôsledku vonkajších mechanických síl. Vonkajšia sila vyvoláva v telese napätie ,ktoré vedie ku vzniku zodpovedajúcej deformácie. Pevnosť v ťahu a ťažnosť považujeme za základné fyzikálne charakteristiky popisujúce mechanické vlastnosti. [11]

4.3.1 Základné pojmy

Pevnosť materiálu je definovaná ako najväčšie konvenčné napätie , ktoré spôsobí rozdelenie materiálu na dve časti. [12]

Pevnosť spoja vrstiev (F) je sila potrebná k oddeleniu jednotlivých vrstiev vrstvených textílií. Udáva sa v N . [ČSN 80 0830]

Ťažnosť je najväčšie predĺženie , ktoré je dosiahnuté pri pretrhnutí vzorky. [12]

Anizotropie je smerová závislosť mechanických vlastností tkanín.

Pracovný diagram je záznam ťahovej skúšky , t.j. závislosť medzi silou pôsobiacou na vzorku a predĺžením vzorky pri skúške. [12]

4.3.2 Popis meracieho prístroja a jeho technické údaje [13]

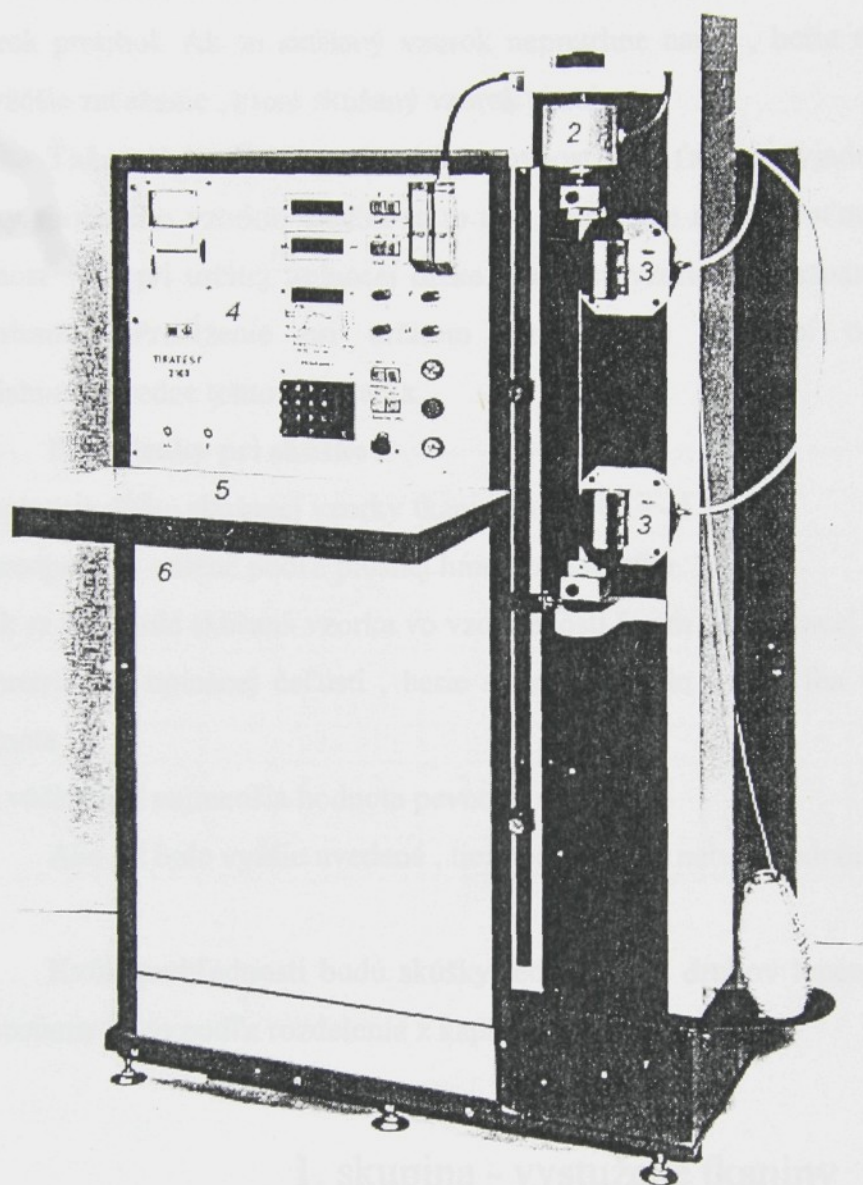
TIRATEST 2150 (obr. 4.5.) je prístroj na skúšanie pevnosti , zmeny tvarov pevných materiálov pri namáhaní v ťahu , tlaku a ohybe. Široký výber upínacích zariadení , silomerových meničov a snímačov ťažnosti umožňuje skúšanie textílií , priadzí , tkanín , papiera , lepenky , umelých hmôt , fólií , drátov atď. .K dispozícii je zvolený program , ktorý zabezpečuje efektívny priebeh skúšky jednorázovým jednoduchým vkládaním dat , pohodlným upínaním vzorku a úplne automatickým priebehom skúšky s vytisknutím dat a štatistickým výpočtom hodnôt.

Technické údaje :

⇒ maximálna skúšaná sila (kN)	5
⇒ rozsah merania sily (kN)	$1 \times 10^{-3} - 5$
⇒ rozsah zmeny dĺžky (mm)	$10 \times 10^{-3} - 50$
⇒ rozmery skúšobného priestoru	
v x š (mm)	930 x 150 (1150 x 150)
⇒ plynulý regulačný rozsah	1 : 30
⇒ vkladanie dat	cez numerickú klávesnicu
⇒ výstup dat	α - numerická pásková tiskáreň
⇒ detektor pretrhu	
⇒ automatický rýchly spätný chod	

Popis prístroja : 1) zaťažovacie zariadenie

- 2) silomerový menič
- 3) upínacie zariadenie
- 4) meracia a ovládacia jednotka
- 5) zapisovacia doska
- 6) hlavný spínač



Obr. 4.5. Tiratest

4.3.3 Postup merania a jeho vyhodnotenie

Pevnosť v ťahu sa podľa normy skúša postupným zaťažovaním skúšaného vzorku materiálu na trhacom prístroji v N až do pretrhnutia. [14]

Pre sledovanie vzťahu pevnosti a ťažnosti pri skúšaní je prístroj vybavený zapisovacím zariadením, ktoré zaznamenáva krivku závislosti medzi zaťažením a

predĺžením. Hodnota pevnosti sa odčítava ako zaťaženie v N , pri ktorom sa skúšaný vzorok pretrhol. Ak sa skúšaný vzorok nepretrhne naraz , berie sa za hodnotu pevnosti najväčšie zaťaženie , ktoré skúšaný vzorok znesie.

Ťažnosť sa zisťuje zároveň s pevnosťou v ťahu a vyjadruje sa v % z upínacej dĺžky skúšaného vzorku. Odčíta sa to ako predĺženie s presnosťou na 1 mm , alebo ako ťažnosť v % pri určitej upínacej dĺžke. Ťažnosť vzorku sa zaznamenáva až v okamžiku pretrhnutia. Predĺženie pri určitom predpísanom zaťažení odčítame v okamžiku dosiahnutia medze tohto zaťaženia.

Podmienky pri skúške :

- 1) upínacia dĺžka skúšanej vzorky tkaniny je (200 +- 1) mm
- 2) predpatie je volené podľa plošnej hmotnosti textílie
- 3) ak sa pretrhne skúšaná vzorka vo vzdialenosti 5 mm od upínacej čeľuste , alebo ak sa pretrhne v upínacej čeľusti , berie sa výsledok do úvahy iba v tom prípade ak daná hodnota je väčšia než najmenšia hodnota pevnosti v ťahu.

Ako už bolo vyššie uvedené , tieto podmienky neboli dodržané.

Kvôli prehľadnosti budú skúšky jednotlivých druhov lepených spojov popisované samostatne , a to podľa rozdelenia z kapitoly 4.2.3. .

1. skupina - vystužené tkaniny

Pred začiatkom vlastného merania bola ručne nadstavená rýchlosť posunu hornej čeľuste prístroja na 160 mm / s . Predpätie bolo vypnuté , pretože jeho hodnotu je možné odčítať priamo z ťahových kriviek. Upínacia dĺžka vzorky bola 100 mm.

Priebehy trhacích skúšok sa priebežne zaznamenávali a ukladali do pamäti vloženého programu (príloha 1. a) Tiratestu , kde boli zároveň vypočítané požadované hodnoty a vytisknuté na tiskárni. Súčasne so zaťažovaním skúšaných vzoriek bol kreslený pracovný diagram vzorku až do jeho pretrhu .

VÝSLEDKY MERANIA

Záznamy pracovných diagramov vzoriek vystužených tkanín sú založené v prílohe 2. V každom grafe sú zaznamenané tri priebehy ťahových kriviek pre daný smer. K tomu je priložená tabuľka odčítaných hodnôt sily a ťažnosti pri maxime a ich štatistické vyhodnotenie. V tabuľke 4.4. sú kvôli prehľadnosti porovnania zoradené priemerné hodnoty sily a ťažnosti v maxime .

smer	počet vrstiev	bavlna			sklo		
		F (N)	ε (%)	$\varnothing h$	F (N)	ε (%)	$\varnothing h$
O	0	354,930	19,43		528,200	2,77	
	1	418,800	5,13	0,339	1674,000	3,40	0,390
	2	456,730	2,97	0,705	1807,300	2,93	0,828
Ú	0	342,300	12,77		799,330	5,17	
	1	564,800	2,83	0,440	1939,300	3,47	0,541
	2	604,330	2,97	0,771	2064,600	3,40	0,956
45	0	163,100	36,30		293,330	34,03	
	1	408,700	4,40	0,426	1142,600	9,43	0,414
	2	353,760	2,47	0,843	1273,300	4,60	0,950

**Tab. 4.4. Namerané priemerné hodnoty sily (F) , ťažnosti (ε) v maxime a hrúbky
nánosu lepidla $\varnothing h$**

VÝKLAD A VYHODNOTENIE ŤAHOVEJ SKÚŠKY

Ťahová skúška bavlnených a sklenených vlákien je prevedená za účelom zistenia ich mechanických vlastností pre porovnanie s vlastnosťami adhezných spojov. Cieľom vystuženia tkanín , t.j. vrstvenia nánosu lepidla , bolo zistiť , kde končí vplyv anizotropie tkanín a začína vplyv lepidla.

a) čisté tkaniny

bavlnené

Deformačný proces prebiehal rozdielne u vzorkov namáhaných v jednom smere (O , Ú) a u šikmo strihaných tkanín (45°) ďalej iba O,Ú,45.

U vzoriek O a Ú prebiehala trhacia skúška podobne . V ťahu bola namáhaná iba jedna sústava nití , t.j. O alebo Ú. V dôsledku rastúceho ťahu dochádzalo k napriamovaniu namáhanej sústavy nití Priečna sústava sa zvoľňovala. Približne v prostriedku dochádzalo k zhusťovaniu pozdĺžnych nití . V podstate prvým narušením nití bola porušená celá pevnosť vzorky. Vzorky boli porušené (pretrhnuté) približne vo svojom prostriedku. Boli tu zaznamenané najväčšie hodnoty sily v maxime a najmenšie hodnoty ťažnosti , pričom v prípade namáhania osnovej sústavy nití sú hodnoty vyššie než hodnoty Ú.

V vzoriek strihaných v smere 45 dochádzalo k inému priebehu deformácie. Sila na porušenie vzorky nie je sila potrebná k pretrhnutiu oboch sústav nití , ale je to sila potrebná k prekonaniu šmykového trenia medzi vláknami. U týchto vzoriek nie je ani jedná niť upevnená v čeľustiach trhacieho prístroja naraz celá. Pri zaťažovaní týchto vzoriek dochádzalo k šmykovému treniu medzi vláknami. Nedošlo tu k pretrhu vzorky ale iba k jej natiahnutiu , z čoho vyplýva i skutočnosť , že tu boli zaznamenané najvyššie hodnoty ťažnosti a najnižšie hodnoty sily v maxime.

sklenené vzorky

Deformačný proces prebiehal podobne ako u bavlnených vzoriek , a to vo všetkých smeroch. Pri ich zaťažovaní nedochádzalo k pretrhu vzorky, ale iba k jej porušeniu väzby. V prípade jednoosého namáhania boli hodnoty namáhania Ú väčšie než O, t.j. opačne ako u bavlnených vzoriek. U vzorkiek v smere 45° ťahová skúška prebiehala zhodne ako u bavlnených.

b) 1. vrstva nánosu lepidla

K porušeniu u tohto typu vzoriek dochádzalo náhlým prasknutím.

U **bavlnených** vzoriek boli v smere O boli zaznamenané najvyššie hodnoty ťažnosti , u Ú najnižšie , ale zasa najvyššie hodnoty sily v maxime a to i v porovnaní s hodnotami vzoriek v 45°. Navyiac u vzoriek namáhaných v Ú dochádzalo k pretrhu pri zaťažení v čeľustiach trhacieho zariadenia. Porovnaním O a Ú boli vyššie hodnoty sily a ťažnosti v smere O.

U **sklenených** vzoriek bola najvyššia hodnota sily v maxime zaznamenaná opäť v smer Ú , ale na rozdiel od bavlnených vzoriek , najvyššia ťažnosť bola v 45°. Hodnota sily

v maxime je rovnako ako u bavlnených vzoriek vyššia v O než 45° . Vzorky namáhané v jednej ose sa roztrhli v čelustiach trhacieho zariadenia.

c) 2.vrstva nánosu lepidla

Na **bavlnených** vzorkách bola opäť najväčšia hodnota sily v maxime u Ú , najnižšia u O. Ťažnosť O a Ú bola rovnaká a vyššia než hodnota ťažnosti u 45° .

U **sklenených** vzoriek je rovnako ako u bavlnených najväčšia pevnosť v Ú , najnižšia u 45° . Ťažnosť je najvyššia u vzoriek v smere 45° , najnižšia v O.

ZÁVER :

Zrovnáním výsledkov merania vzoriek tkanín s vystuženými vzorkami môžeme vysloviť názor , že vplyv anizotropie tkanín končí už pri prvom nánose lepidla , a to u vzoriek bavlnených i sklenených. Zmeny hodnôt pevnosti a ťažnosti vplyvom ďalšieho nánosu lepidla sú malé v porovnaní s rozdielom hodnôt medzi čistou vzorkou tkaniny a vystuženou v jednej vrstve.

Problém prietru vzorkov v čelustiach trhacieho zariadenia v rôznej anizotropii môžeme vysvetliť maximálnym napätím na tomto mieste. Otázkou zostáva ,prečo je to tak . S ohľadom na zložitosť oblasti lepenia bližší výklad nie je možný , predstavovalo by urobiť ďalší experiment a venovať sa špeciálne iba tejto problematike.

2. skupina - jednoduché preplátované spoje

V parametroch nastavenie trhacieho zariadenia nastala zmena iba v upínacej dĺžke, ktorá bola 40 mm.

VÝSLEDKY MERANIA

Záznamy pracovných diagramov sú založené v prílohe 3 . Namerané priemerné hodnoty sily (F) a ťažnosti (ϵ) v maxime sú uvedené v tab. 4.5. .

	bavlna		sklo		sklo + ZnS	
	F (N)	(%)	F (N)	(%)	F (N)	(%)
O x O	332,950	18,36	953,330	8,58	1083.10	9.33
O x 45	199,200	24,00	490,833	8,42	407.600	7.75
Ú x 45	194,060	26,58	514,367	11,92	354.760	13.67
Ú x O	332,600	18,92	699,300	4,75	863.060	6.08
Ú x Ú	303,460	17,00	857,867	5,33	664.530	9.25

Tab. 4.5. Namerané priemerné hodnoty sily (F) , ťažnosti (ε) v maxime

VÝKLAD AVYHODNOTENIE ŤAHOVEJ SKÚŠKY

Priebehy ťahových skúšok u bavlnených a sklenených vzoriek tkanín sú podobné.

U **bavlnených** vzoriek bola zaznamenaná najväčšia pevnosť v spoji O/O , najnižšia v spoji Ú/45. Najvyššia hodnota ťažnosti bola v spoji Ú/45 a najnižšia v spoji Ú/Ú . K porušeniu vzoriek dochádzalo pretrhom tkaniny v hrane spoja , t.j. na prechode medzi lepením a tkaninou.

U **sklenených** vzoriek , rovnako ako u bavlnených , bola nameraná najvyššia pevnosť v spoji O/O a ťažnosť v spoji Ú/45. Najnižšia pevnosť bola v spoji O/45 a najnižšia ťažnosť v spoji Ú/O.

Hodnoty merania spojov sklenených tkanín v porovnaní s hodnotami nameranými u spojov s nanoson práškoveho ZnS sú zrovnateľné .

Porušenie tkanín spojov bolo rovnaké ako u bavlnených spojov.

ZÁVER:

Z výsledkov merania sa dá vysloviť názor , že pevnosť lepeného spoja je vyššia než pevnosť bavlnených i sklenených tkanín , pričom vplyv anizotropie je nevýrazný. Z deštrukcie materiálu vyplýva , že kohézia filmu lepidla je väčšia než adhézia lepených materiálov.

Z prietru vzoriek v hrane spoja môžeme usúdiť , že práve tam dochádza pri namáhaní k najväčšej koncentrácii napätia.

Adhezoluminescencia z technických dôvodov nebola sledovaná

3. skupina - jednostranne preplatované spoje

Pre tieto spoje bol použitý program pre skúšanie pevnosti vrstiev spoja (príloha 1b)

Pred začiatkom merania bola nadstavená rýchlosť posuvu hornej čeľuste prístroja na 100 mm / s . Upínacia dĺžka vzorky bola 20 mm. Predpätie bolo vypnuté.

VÝSLEDKY MERANIA

Záznamy pracovných diagramov sú založené v prílohe 4. V tabuľke 4.6. sú pre porovnanie zoradené stredné hodnoty síl.

	bavlna	sklo	skloZnS
	F (N)	F (N)	F (N)
O x O	39,676	10,527	6.109
O x 45	13,197	12,892	12.086
U x 45	30,011	18,490	17.079
U x O	25,226	9,848	10.121
U x U	16,152	25,453	16.867

Tab. 4.6. Stredné hodnoty síl skúšky pevnosti spoja vrstiev

VÝKLAD A VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Výsledkom skúšky pevnosti spoja vrstiev sú zistené hodnoty pevnosti spoja u elementárnych vzoriek a aritmetický priemer týchto hodnôt v danom smere.[ČSN 80 0830]

K porušeniu spojov dochádzalo pretrhom tkanín v čeľustiach trhacieho zariadenia alebo odtrhnutím časti zlepovanej plochy materiálu , a to u bavlnených i sklenených vzoriek tkanín , pričom u sklenených vzoriek bol pretrh rýchlejší.

Maximálna stredná hodnota sily u bavlnených vzoriek tkanín je najvyššia v spoji O/O , u sklenených je to u spoja Ů/Ů.

ZÁVER :

Výsledky merania opäť ukázali , že pevnosť tohto typu spoja je väčšia ako pevnosť daných tkanín , čo zároveň vysvetľuje i ich pretrhnutie na začiatku oddeľovania lepených plôch od seba.

Deformačná práca roztrhnutia spoja sa ťažko vyjadruje , lebo na ose predĺženia je súčasne deformácia jednotlivých bodových spojov , ale tiež i dĺžková deformácia samotných vrstiev po odtrhnutí. V prílohe 6 je ukazaný modelový výpočet adhezne energie.

Adhezoluminescencia opäť z technických dôvodov nebola sledovaná.

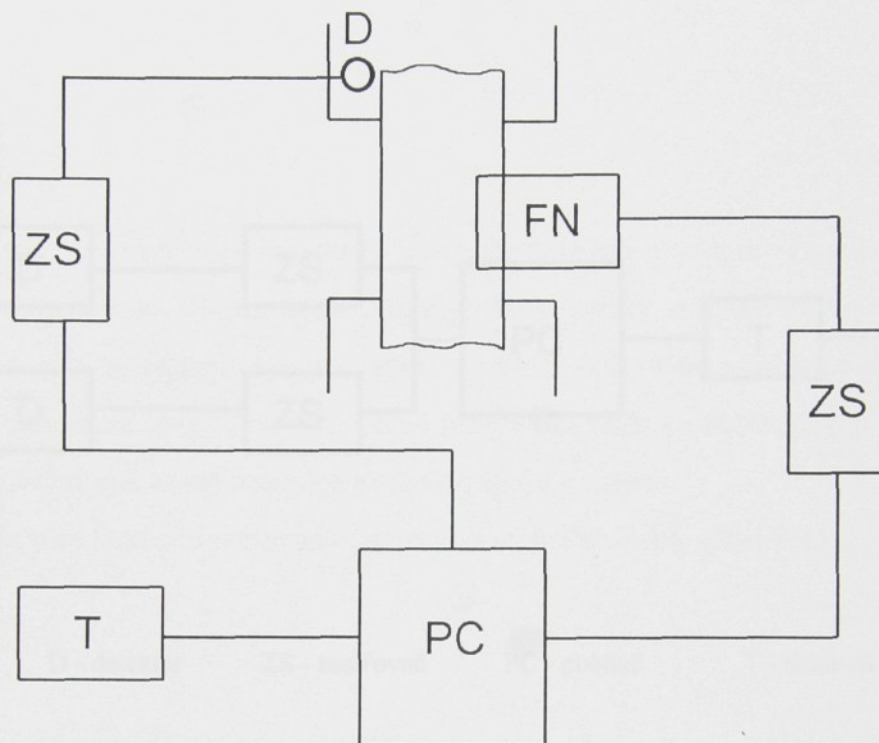
4.4 MERANIE MECHANOLUMINESCENCIE A AKUSTICKEJ EMISIE

4.4.1 Obecné predpoklady

Akustická emisia (AE) je elastické vlnenie , ktoré je dôsledkom náhleho uvoľnenia energie v materiáli. [14]

Podmienky ideálneho experimentu [4] :

- 1) východzia látka (luminofór) musí byť v podobe monokryštálu , ktorého štruktúra a luminiscenčné vlastnosti sú presne známe ,
- 2) na takto známy monokryštál je nutné pôsobiť za presne definovaných podmienok , ktorými sú dynamické alebo statické namáhanie , pôsobiace v presne definovanom danom smere , za rovnakých vonkajších podmienok , teploty , tlaku , atmosféry , elektrického a magnetického poľa a podmienok vonkajšieho ožiarovania. Pri dynamickom namáhaní je treba vedieť výšku amplitúdy vonkajšieho pôsobenia , jeho periódu , tvar a časový priebeh vonkajšieho pulzu , prípadne jeho frekvenčný rozklad , a či pritom prebiehajúca deformácia je elastická , plastická alebo ide o lom. Náčrt ideálneho zariadenia na súčasné meranie AE , MI je na obr. 4.7. .



ZS - zosiľovač T - tiskáreň PC - počítač FN - fotonásobič D - piezoelektrický detektor AE

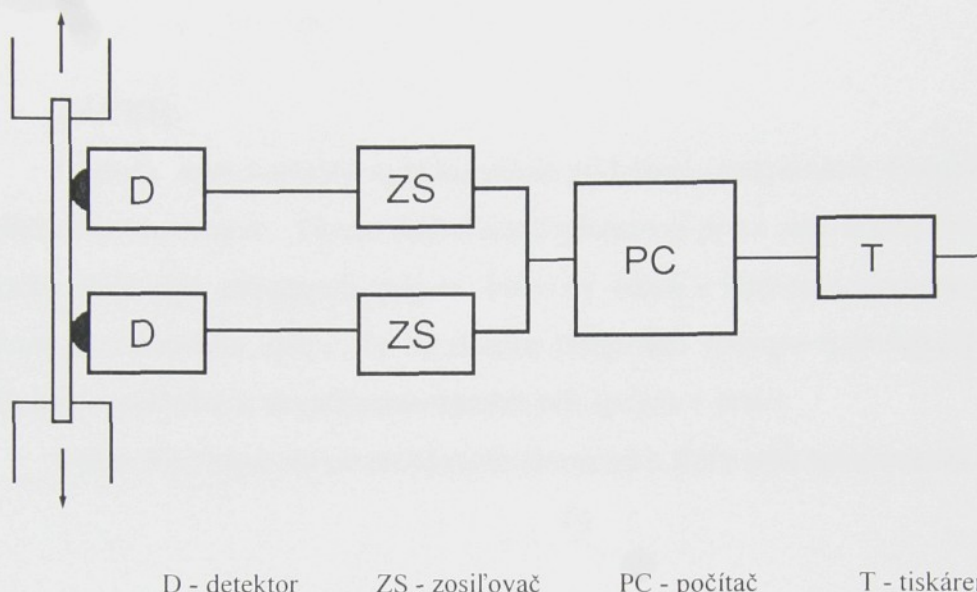
Obr. 4.6. Náčrt ideálneho zariadenia na súčasné meranie AE , MI

4.4.2 Postup merania a jeho vyhodnotenie

Tento experiment bol kvôli svojej náročnosti prevedený iba na vzorkách sklenených tkanín rozmeroch 140 x 30 mm . Na tieto vzorky bol k nánosu lepidla (násos lepidla v jednej a dvoch vrstvách) pridaný práškový sulfid zinočnatý (ZnS) aktivovaný mangánom .

Zisťovala sa pevnosť vystužených vzoriek tkanín (rovnaký princíp skúšky ako skúšanie 1. skupiny vzorkov) a zároveň sa sledovala aktivita akustickej emisie a

mechanoluminescencia pomocou prídavných zariadení pripojených k trhaciemu prístroju. Náčrt pripojenia je na obr. 4.8. .



Obr. 4.7. Náčrt pripojania prídavných zariadení

VÝSLEDKY MERANIA

Grafy aktivity AE sú založené v prílohe 5. V každom grafe je zaznamenaná ťahová krivka spolu s dvomi krivkami zaznamenávajúcich priebeh akustickej emisie. Za každým týmto grafom nasledujú integračné krivky priebehov aktivity AE.

VÝKLAD MERANIA

Akustická emisia (AE) podáva viac informácií o spoji i materiáli ako je to názorne vidieť v grafoch aktivity AE , kde priebeh ťahovej krivky a kriviek aktivity AE je rozdielny. Pri namáhaní spoja sú vysielané napät'ové vlny rôznych dĺžok , ktoré zachytávajú deje v samotnom spoji , napr. trenie vlákien , ale i vplyvy okolia. Z tohto dôvodu je AE snímaná v oblasti ultraakustiky , aby nedochádzalo k zachytávaniu veľkých šumov , napr. hlučnosti stroja , ktoré by následne značne skreslili informácie o sledovanom spoji.

Adhezoluminescencia (zviditeľnenie koncentrácie napätia , trhlín a pod.) za pomoci práškoveho ZnS bola pozorovaná. Žiaľ vďaka nedostatočným skúsenostiam vo fotografovaní nebola zachytená.

ZÁVER:

Účelom tejto kapitoly nebolo nebola podrobná interpretácia výsledkov merania AE a adhezoluminescencie . Týmto dodatkom diplomovej práce sme chceli iba naznačiť ďalšie spôsoby skúmania adhezných spojov , ktoré by viedli k lepšiemu pochopeniu dejov , ktoré nastanú pri namáhaní spoja , čo by značne prispelo k rozvoju teoretických modelov a ich výkladu , a následne k skvalitneniu samotných spojov v praxi.

Takže túto kapitolu ponechávame otvorenú k ďalšiemu spracovaniu.

6. ZÁVER

5. EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

a) *Spotreba materiálu :*

0.80 m bavlnenej tkaniny (š = 140) 70 Kč / m 76 Kč

1.00 m sklenenej tkaniny (š = 140) 200 Kč / m 200 Kč

b) *Spotreba lepidla s tvrdidlom :*

0.0964 kg 220 Kč / kg 21.20 Kč

c) *Počet hodín diplomanta :*

210 h 100 Kč / h 21 000 Kč

d) *Počet hodín konzultanta :*

70 h 200 Kč / h 14 000 Kč

Celkové náklady tejto diplomovej práce činia 35 297,20 Kč bez obchodnej príirážky .

6. ZÁVER

Problematika adhezného spojovania je veľmi zložitá a je ešte stále na začiatku svojho vývoja. Publikácia v tejto oblasti je malá , takže každý nový experiment znamená krok v pred.

V tejto diplomovej práci sú zhrnuté poznatky o chovaní adhezných bavlenných a sklenených spojov v ich extrémne , to znamená , že sú pevné a krehké , čoho sa dosiahlo použitím nemäkčenej epoxidovej živice ChS 510 vytvrdenej tvrdidlom P11. Skúmali sa ich mechanické vlastnosti v troch typoch lepených spojov pomocou ťahových deformačných skúšok. Jednotlivé výsledky merania boli zaznamenané a podrobnejšie popísané v kapitole 4.3.3. .

Podmienky pre vytvorenie kvalitného spoja sú veľmi náročné na kvalitu použitých lepidiel a na technologickom postupe. Okrem toho je nezanedbateľný i vplyv prostredia v ktorom sa lepené spoje vytvárajú a tvrdnú ako napr. teplota , vlhkosť a pod. Pri amatérskom lepení sa tieto podmienky ťažko dodržujú , čo sme si sami overili na nekvalite niekoľkých vzoriek.

Otázka ideálnych podmienok na vytvorenie kvalitných spojov v praxi je ešte stále citlivá na interpretáciu a vyžaduje dlhodobější výskum, čo však v tejto práci z časových dôvodov nebolo možné.

Ďalším problémom je vplyv anizotropie na tvorbu kvalitného spoja. V tejto práci nemala veľký význam , ale nesmieme zabudnúť , že boli vytvorené spoje v svojom extrémne, ktorý v praxi nebude použitý.

Otázkou je i vplyv vhodne použitého typu spoja pre daný materiál. Veľké množstvo rôznych druhov lepidiel umožňuje ich veľkú variabilitu. Zatiaľ , ako už v tejto práci bolo spomenuté, teória zaostáva za praxou . takže by sme museli každý druh najskôr vyskúšať , a až potom vysloviť nejaké závery , čo značne zdrží ich použitie v praxi.

Nastienili sme len niekoľko problémov pozorovaných pri lepení a skúšaní vzoriek použitých v tejto práci , ktoré jasne dokazujú náročnosť problematiky adhezného spojovania materiálov. Táto práca mala príliš veľký záber skúmania , ktorý nedovoľoval venovať sa jednotlivým otázkam podrobnejšie. Nechavame ich ako ďalšie námety pre

ZOZNAM LITERATÚRY :

- [1] OSTEN, M. : Práce s lepidly a tmely , SNTL , Praha 1986
- [2] OSTEN, M. : Lepení plastických hmot , SNTL , Praha 1974
- [3] SODOMKA, L. : Nekonenční způsoby spojování a oddělování, (přednášky)
Liberec 1996
- [4] SODOMKA, L. : Mechanoluminescence a její použití , ACADEMIA , Praha
1985
- [5] SODOMKA, L. : Struktúra a vlastnosti pevných látek , SNTL , Praha 1967
- [6] MOTEJL, V. : Stroje a zařízení v oděvní výrobě , SNTL , Praha 1984
- [7] LIDÁŘIK, M.: Epoxidové pryskyřice , SNTL , Praha 1983
- [8] JEŽKOVÁ, J.: Adhézni spoje v technických konfekcích, jejich mechanické
a reologické vlastnosti (Diplomová práce) , TU Liberec 1996
- [9] SIMON, J.: Textilní materiály , SPN , Praha 1954
- [10] HLADÍK, V. a kol.: Textilní vlákna , SNTL , Praha 1970
- [11] ŠVÉDOVÁ, J. a kol.: Technické textílie , VÚ lykových vláken , Šumperk 1978
- [12] VOSÁHLOVÁ, R.: Studium mechanických vlastností sílových tkanin a jejich
souvislosti se strukturou a stejnoměrností (Diplomová práce),
VŠST Liberec 1991
- [13] Návod k obsluze TIRATESTU
- [14] POSPÍŠIL, Z. a kol.: Příručka textilního odborníka, sv. 1. 1. vydání , SNTL , Praha
1981
- [15] Akustická emise : Názvosloví , směrnice CDS č.70/1988 ,
SVÚ materiálu , Praha
- [16] SODOMKA, L.: Wissenschaftliche Berichte 13-15. 4. 1988

ZOZNAM PRÍLOH :

- Príloha 1 Programy ťahových skúšok
- Príloha 2 Pracovné diagramy tkanín a vystužených tkanín
- Príloha 3 Pracovné diagramy jednoduchých preplatovaných spojov
- Príloha 4 Pracovné diagramy jednostranne preplatovaných spojov
- Príloha 5 Grafy aktivity akustickej emisie
- Príloha 6 Modelový výpočet adheznej energie



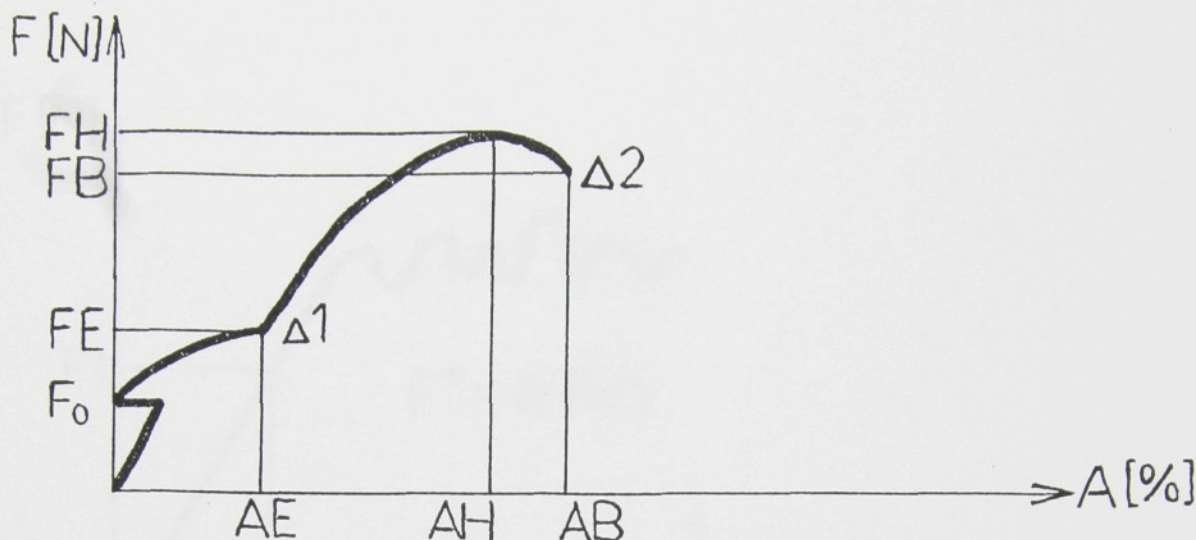
PRÍLOHA 1

Programy ťahových skúšok

Počet listov : 2

Štandardná skúška pre skúšanie textilu a papiera.

T1 (ATP 1)



IN : DAT 1- 4: vstupné data

OUT : NR : bežné číslo skúšky

DIV : 0 pred číslom (tex) - N/ tex

TH: doba roztrhnutia v S

1 hodnoty v N

FE: sila prvého roztrhnutia (narušenie) v N

LO: upínacia dĺžka

FB: sila roztrhnutia v N

FO: predpätie v N

FH: maximálna sila v N

1: pokles prvej sily roztrhnutia v N - sklz

AE: pretiahnutie pri sklze v %

2: pokles sily roztrhnutia v N

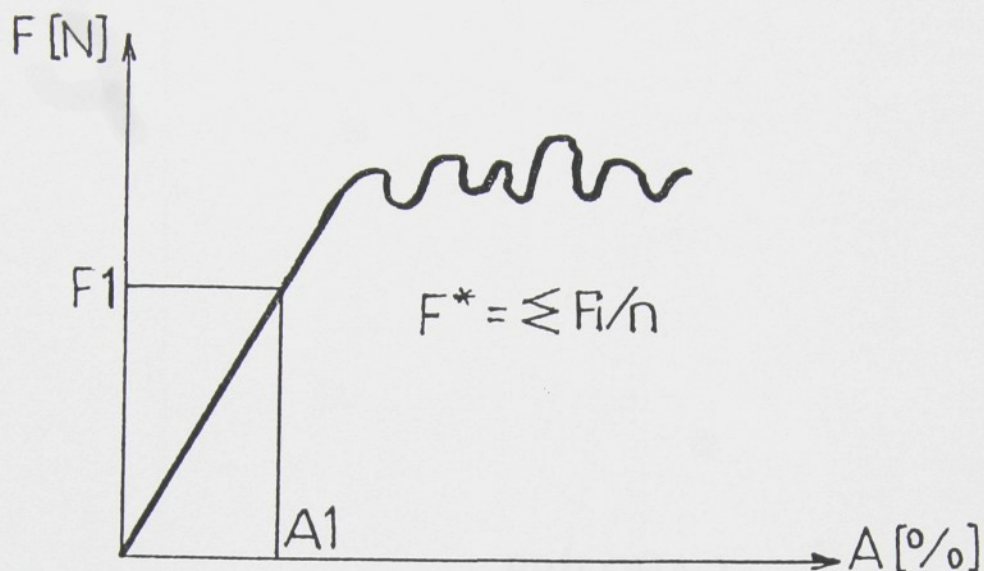
AH: pretiahnutie pri max. sile v %

AB: pretiahnutie pri sile roztrhnutia v %

U tohoto programu sa pri dosiahnutí predpätia FO skoriguje zadaná dĺžka upnutia LO o veľkosť zmeny dĺžky, ku ktorej až do tohoto okamžiku dôjde. Keď dôjde k poklesu sily, ktorá je väčšia ako zadaný pokles sily 1, potom to počítač interpretuje, ako dosiahnutie sily prvého roztrhnutia a vypočíta príslušnú hodnotu rozťahnutia. Keď po novom vzostupe sily dôjde k ďalšiemu poklesu sily, ktorý je rovnaký alebo väčší ako zadaná hodnota 2, je dosiahnuté roztrhnutie vzorku a vypočíta sa sila roztrhnutia a ťažnosť. Keď platí, že 2 je väčšie ako FH - potom sa pre FB a AB určí hodnota 0. Najväčšiu silu, ku ktorej dôjde behom skúšky ťahom - max. pevnosť - a príslušná hodnota pretiahnutia - max. pretiahnutie - potom počítač uloží do pamäti. Mimo to počítač zistí dobu od začiatku skúšky ťahom až po dosiahnutie max. sily.

Skúška d'alšieho roztrhnutia .

T 6 (ATP 6)



IN : DAT : (1-4) vstupné data

DIV : 0 pred číslom tex - N/ tex

1 hodnoty v N

$\neq 1$ hodnoty v N / mm

L0 : upínacia dĺžka v mm

AL : hodnota pretiahnutia v % - po dosiahnutí AL dôjde k vytvoreniu strednej hodnoty F

OUT : NR : číslo skúšky

F1 : hodnota sily v N pri dosiahnutí AL

F: stredná hodnota v N

NUTNO MANUÁLNE PRERUŠIŤ PRIEBEH SKÚŠKY.

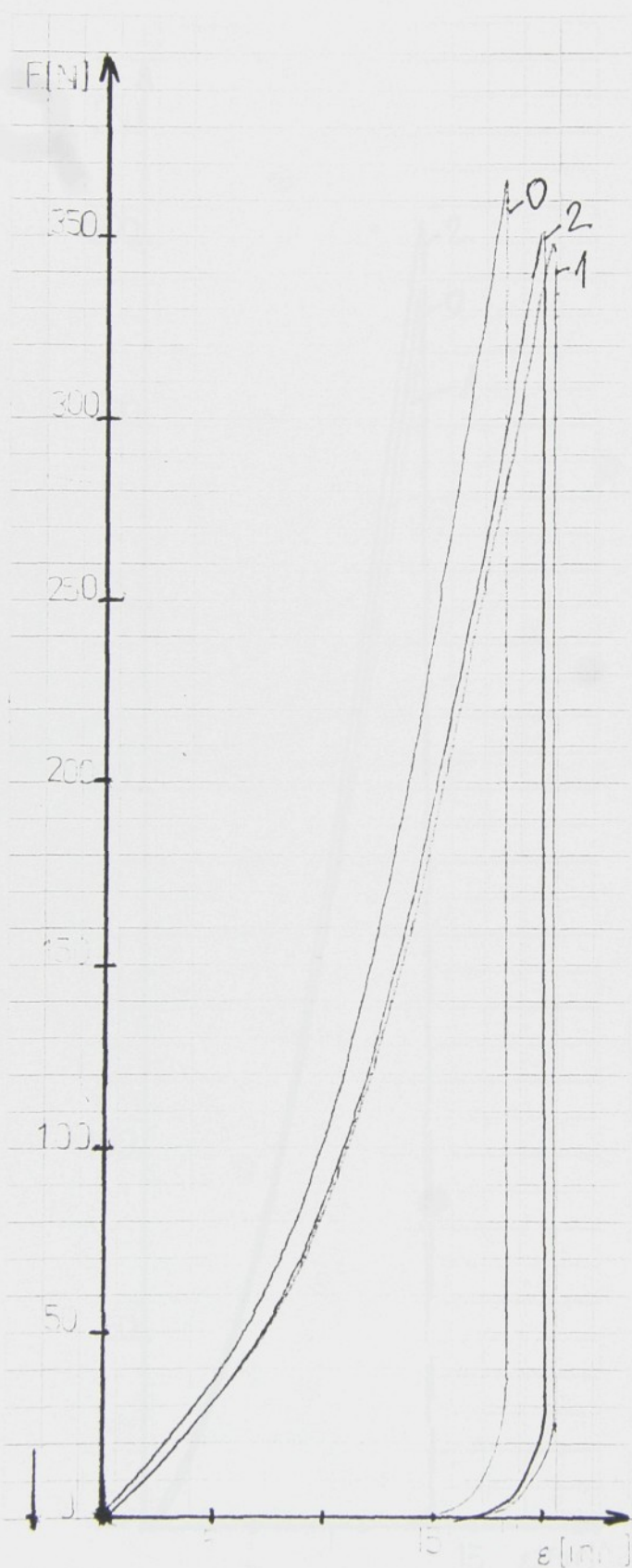
Keď sa u tohto programu dosiahne zadané vzťažné pretiaženie AL, určí sa príslušná hodnota sily. Po dosiahnutí vzťažného pretiaženia sa zistia a spočítajú aktuálne hodnoty sily $F1$ až užívateľ zastaví pohon stisknutím tlačítka STOP. Po ukončení skúšky ťahom sa suma týchto hodnôt sily delí počtom nameraných hodnôt a tým sa F určí ako aritmetická stredná hodnota hodnôt sily.

PRÍLOHA 2

Pracovné diagramy tkanín a vystužených tkanín

Počet listov : 18

ba: 0₀



STANDARDPROGRAMM TEXTIL

L0 = 100mm
Δ2 = 10N
DAT1= 01

NR = 0
TH = 6.8801s
FE = 0N
FB = 366.6N
FH = 366.6N
AE = 0%
AH = 18.4%
AB = 18.4%

NR = 1
TH = 7.4801s
FE = 0N
FB = 346.6N
FH = 347.7N
AE = 0%
AH = 28%
AB = 20.2%

NR = 2
TH = 7.4401s
FE = 0N
FB = 350.5N
FH = 350.5N
AE = 0%
AH = 19.9%
AB = 19.9%

KMW: 1KN
DAT1= 01
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 10N

NR = 3

Σ/FH=354.93N
ε/FH=10.201N
V/FH=2.8743%
P/FH=7.1357%
E/FH=344.73N

Σ/AH=19.433%
ε/AH=0.8953%
V/AH=4.6125%
P/AH=11.451%
E/AH=18.537%

ba:U₀



DAT1= 21

NR = 0
TH = 4.8000s
FE = 0N
FB = 339.1N
FH = 339.1N
AE = 0%
AH = 12.8%
AB = 12.8%

NR = 1
TH = 4.7800s
FE = 0N
FB = 329.2N
FH = 329.2N
AE = 0%
AH = 12.7%
AB = 12.7%

NR = 2
TH = 4.8000s
FE = 0N
FB = 358.5N
FH = 358.6N
AE = 0%
AH = 12.8%
AB = 12.8%

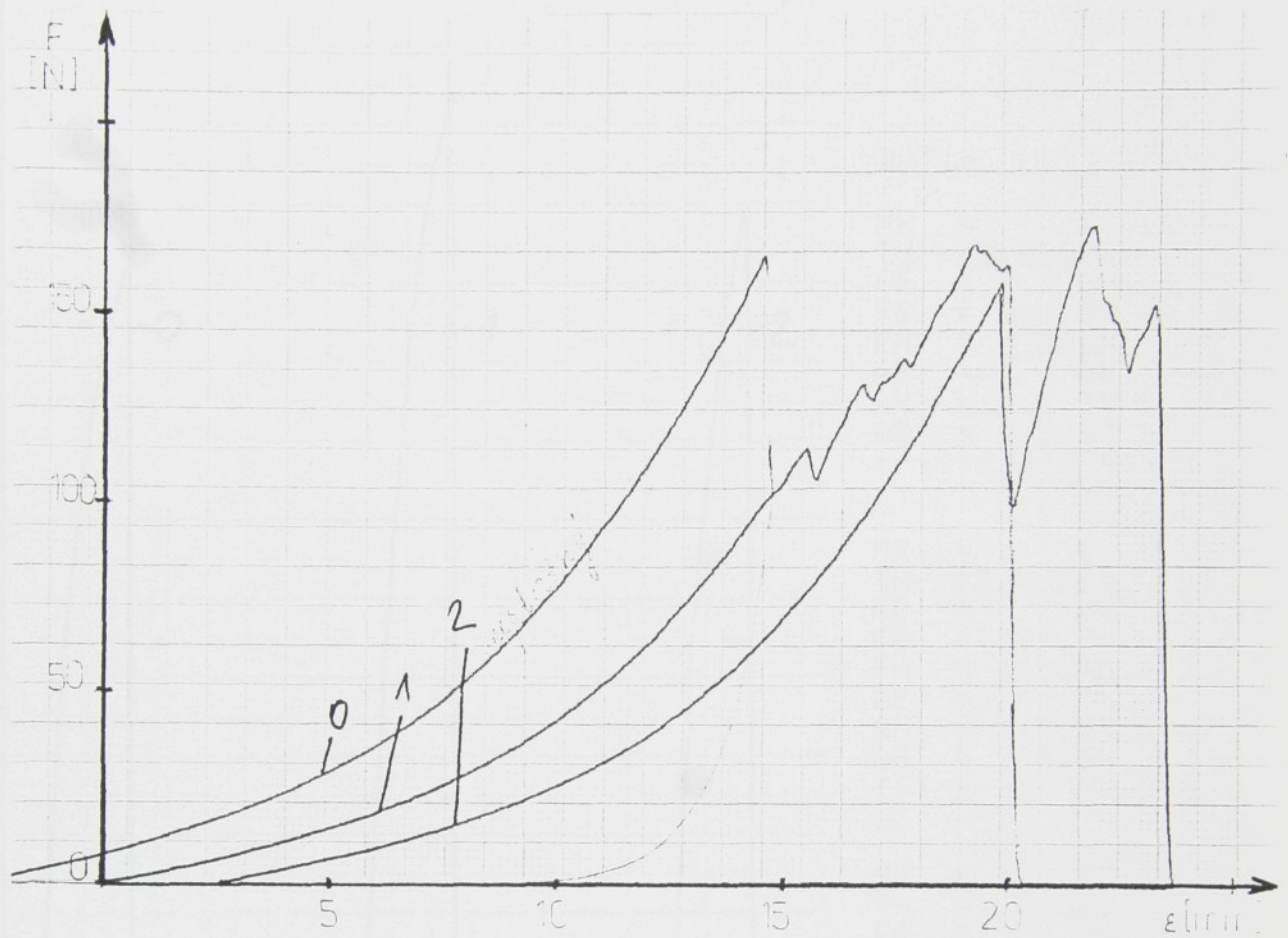
KMW: 1KN
DAT1= 21
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 10N

NR = 3

Σ/FH= 342.3N
s/FH=14.959N
V/FH=4.3702%
P/FH=10.849%
E/FH=327.34N

Σ/AH=12.766%
s/AH=0.0580%
V/AH=0.4548%
P/AH=1.1292%
E/AH=12.708%

ba:45₀



DAT1= 31
Δ2 = 100N

NR = 0
TH = 13.660s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 160.9N
AE = 0%
AH = 36.5%
AB = 0%

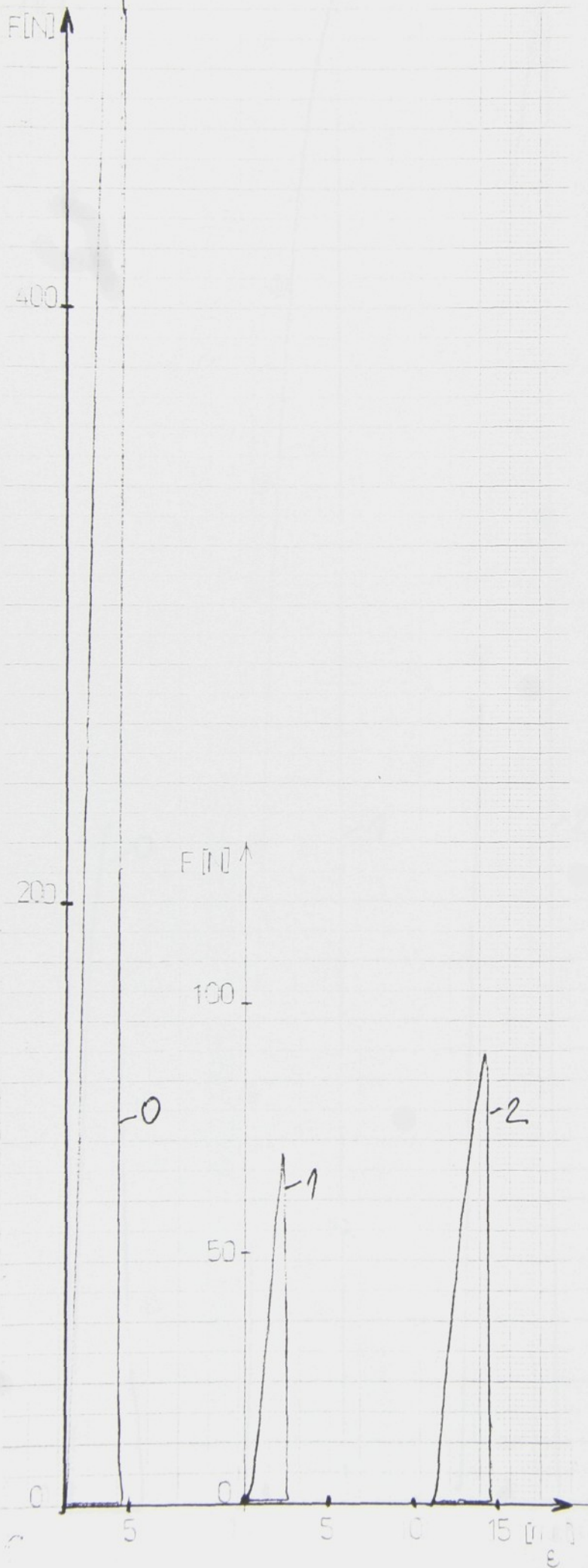
KMW: 1KN
DAT1= 31
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 2
Σ/FH= 163.1N
s/FH=3.1118N
V/FH=1.9079%
P/FH=5.8012%
E/FH=159.98N

NR = 1
TH = 13.520s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 165.3N
AE = 0%
AH = 36.1%
AB = 0%

Σ/AH= 36.3%
s/AH=0.2825%
V/AH=0.7783%
P/AH=2.3666%
E/AH=36.017%

ba: U_1



DAT1= 22

NR = 0
TH = 1.1400s
FE = 0N
FB = 520.8N
FH = 620.5N
AE = 0%
AH = 3%
AB = 3%

NR = 1
TH = 0.9000s
FE = 0N
FB = 474.9N
FH = 474.9N
AE = 0%
AH = 2.3%
AB = 2.3%

NR = 2
TH = 1.2200s
FE = 0N
FB = 584.5N
FH = 599N
AE = 0%
AH = 3.2%
AB = 3.2%

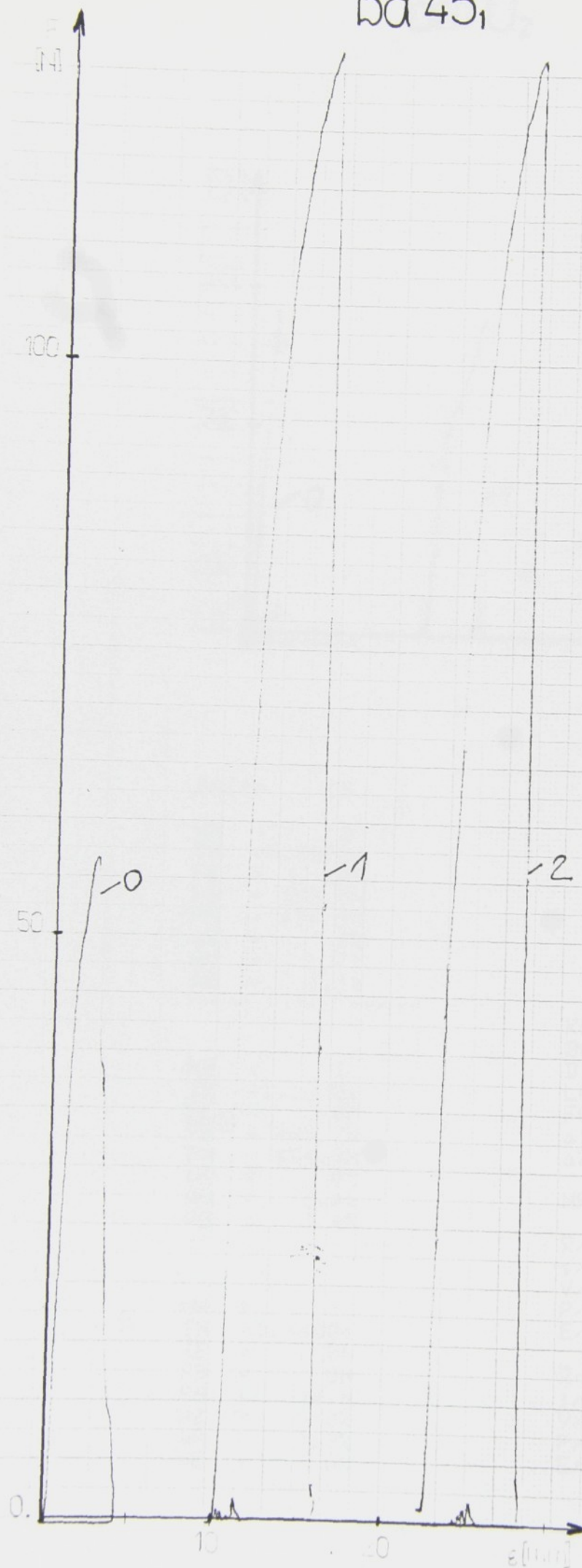
KMW: 1kN
DAT1= 22
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
 $\Delta 1$ = 0N
 $\Delta 2$ = 100N

NR = 3

$\bar{x}/FH = 564.8N$
 $\bar{s}/FH = 78.594N$
 $\bar{v}/FH = 13.915\%$
 $\bar{p}/FH = 34.546\%$
 $\bar{e}/FH = 486.20N$

$\bar{x}/AH = 2.8333\%$
 $\bar{s}/AH = 0.4725\%$
 $\bar{v}/AH = 16.679\%$
 $\bar{p}/AH = 41.408\%$
 $\bar{e}/AH = 2.3607\%$

ba 45,



DAT1= 32

NR = 0
TH = 0.9200s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 223.4N
AE = 0%
AH = 2.4%
AB = 0%

NR = 1
TH = 2.1400s
FE = 0N
FB = 437.5N
FH = 504.8N
AE = 0%
AH = 5.6%
AB = 5.7%

NR = 2
TH = 1.9600s
FE = 0N
FB = 411.5N
FH = 497.9N
AE = 0%
AH = 5.2%
AB = 5.3%

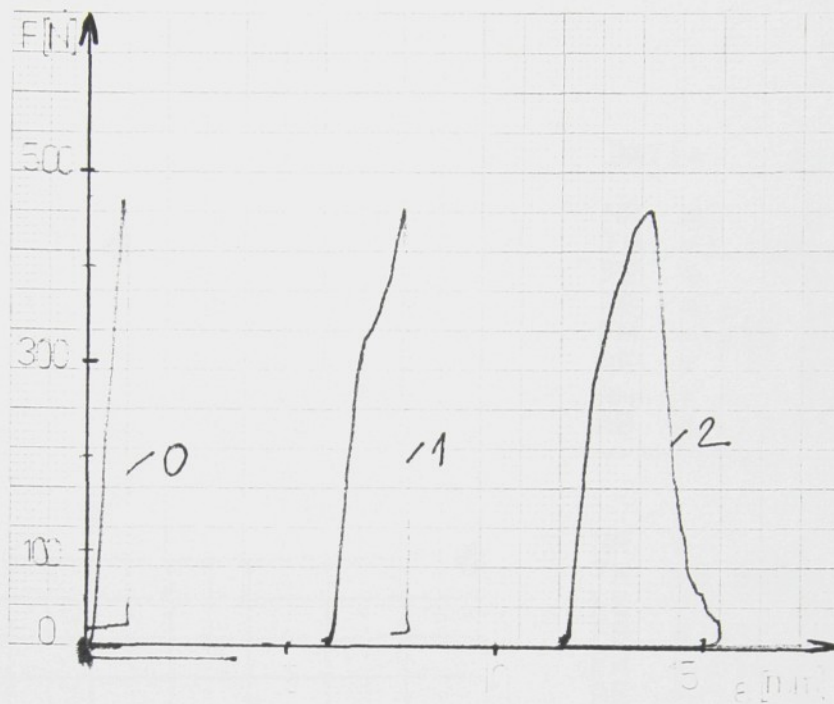
KMW: 1KN
DAT1= 32
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3

X/FH= 408.7N
s/FH=160.51N
V/FH=39.273%
P/FH=97.501%
E/FH=248.18N

X/AH= 4.4%
s/AH=1.7435%
V/AH=39.626%
P/AH=98.376%
E/AH=2.6564%

ba: O₂



DAT1= 13

NR = 0
TH = 0.6800s
FE = 0N
FB = 452.5N
FH = 474.9N
AE = 0%
AH = 1.7%
AB = 1.8%

NR = 1
TH = 1.2800s
FE = 0N
FB = 445.7N
FH = 454.3N
AE = 0%
AH = 3.4%
AB = 3.4%

NR = 2
TH = 1.4400s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 441N
AE = 0%
AH = 3.8%
AB = 0%

KMW: 1KN

DAT1= 13
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3

X/FH=456.73N
s/FH=17.081N
V/FH=3.7399%
P/FH=9.2848%
E/FH=439.65N

X/AH=2.9666%
s/AH=1.1150%
V/AH=37.586%
P/AH=93.311%
E/AH=1.8516%

ba:U₂



DAT1= 23

NR = 0
TH = 1.1600s
FE = 0N
FB = 612.1N
FH = 638.2N
AE = 0%
AH = 3%
AB = 3.1%

NR = 1
TH = 0.9000s
FE = 0N
FB = 437.1N
FH = 516.2N
AE = 0%
AH = 2.3%
AB = 2.4%

NR = 2
TH = 1.3800s
FE = 0N
FB = 658.6N
FH = 658.6N
AE = 0%
AH = 3.6%
AB = 3.6%

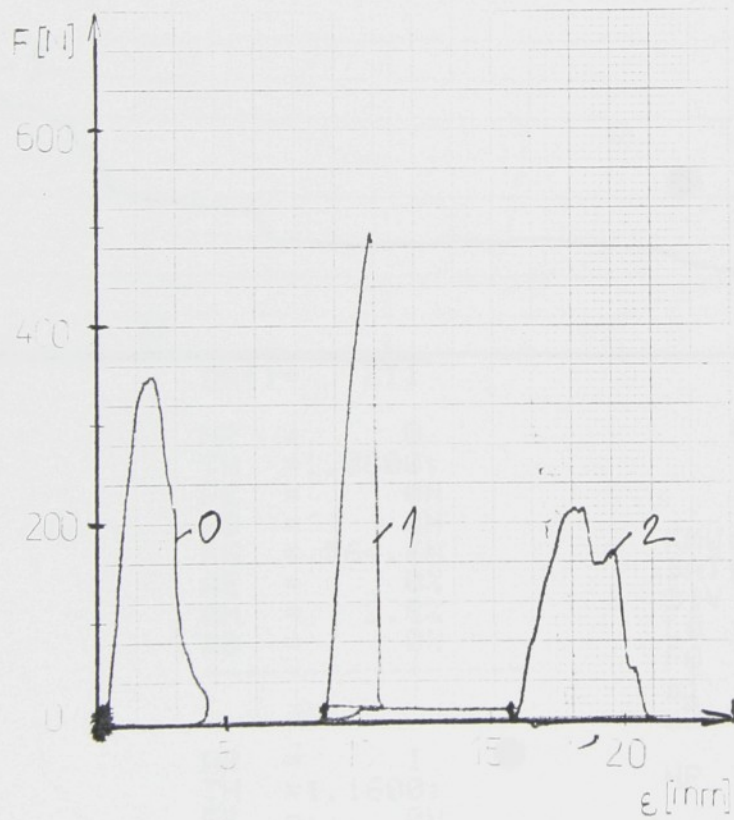
KMW: 1KN
DAT1= 23
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3

Σ/FH=604.33N
s/FH=77.004N
V/FH=12.742%
P/FH=31.633%
E/FH=527.32N

Σ/AH=2.9666%
s/AH=0.6506%
V/AH=21.931%
P/AH=54.448%
E/AH=2.3160%

ba: 45₂



NR = 0
TH = 0.9000s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 347.9N
AE = 0%
AH = 2.3%
AB = 0%

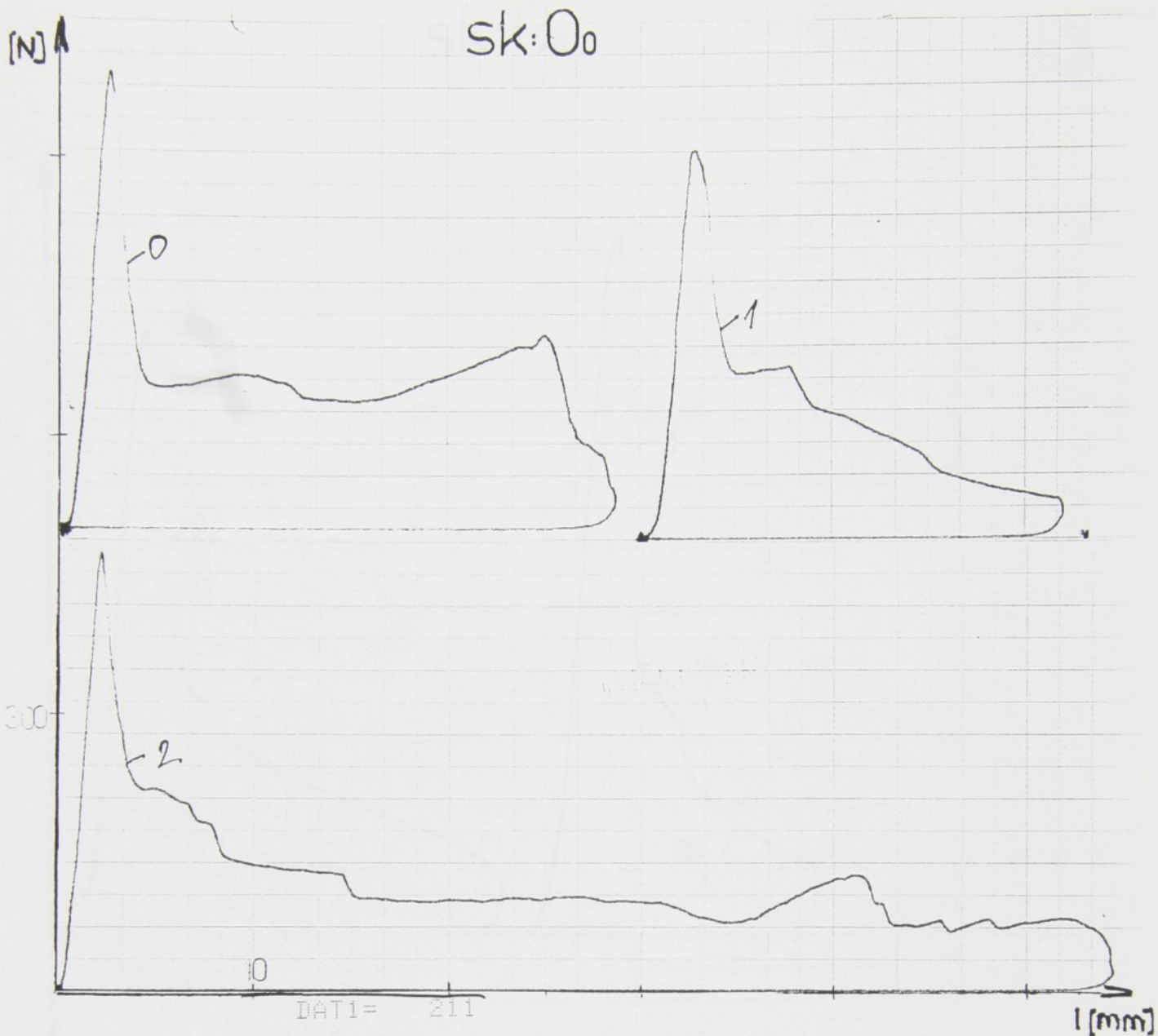
NR = 1
TH = 0.8800s
FE = 0N
FB = 437.2N
FH = 497.6N
AE = 0%
AH = 2.3%
AB = 2.4%

NR = 2
TH = 1.0800s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 215.8N
AE = 0%
AH = 2.8%
AB = 0%

KW: 1KN
DAT1 = 33
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3
Σ/FH = 353.76N
Σ/FH = 140.99N
V/FH = 39.854%
P/FH = 98.942%
E/FH = 212.77N

Σ/AH = 2.4666%
Σ/AH = 0.2886%
V/AH = 11.703%
P/AH = 29.854%
E/AH = 2.1779%



DAT1= 211

NR = 0
 TH = 1.0600s
 FE = 0N
 FB = 0N
 FH = 564.6N
 AE = 0%
 AH = 2.8%
 AB = 0%

KMW: 1KN
 DAT1= 211
 DIV = 1
 L0 = 100mm
 F0 = 0N
 Δ1 = 0N
 Δ2 = 100N

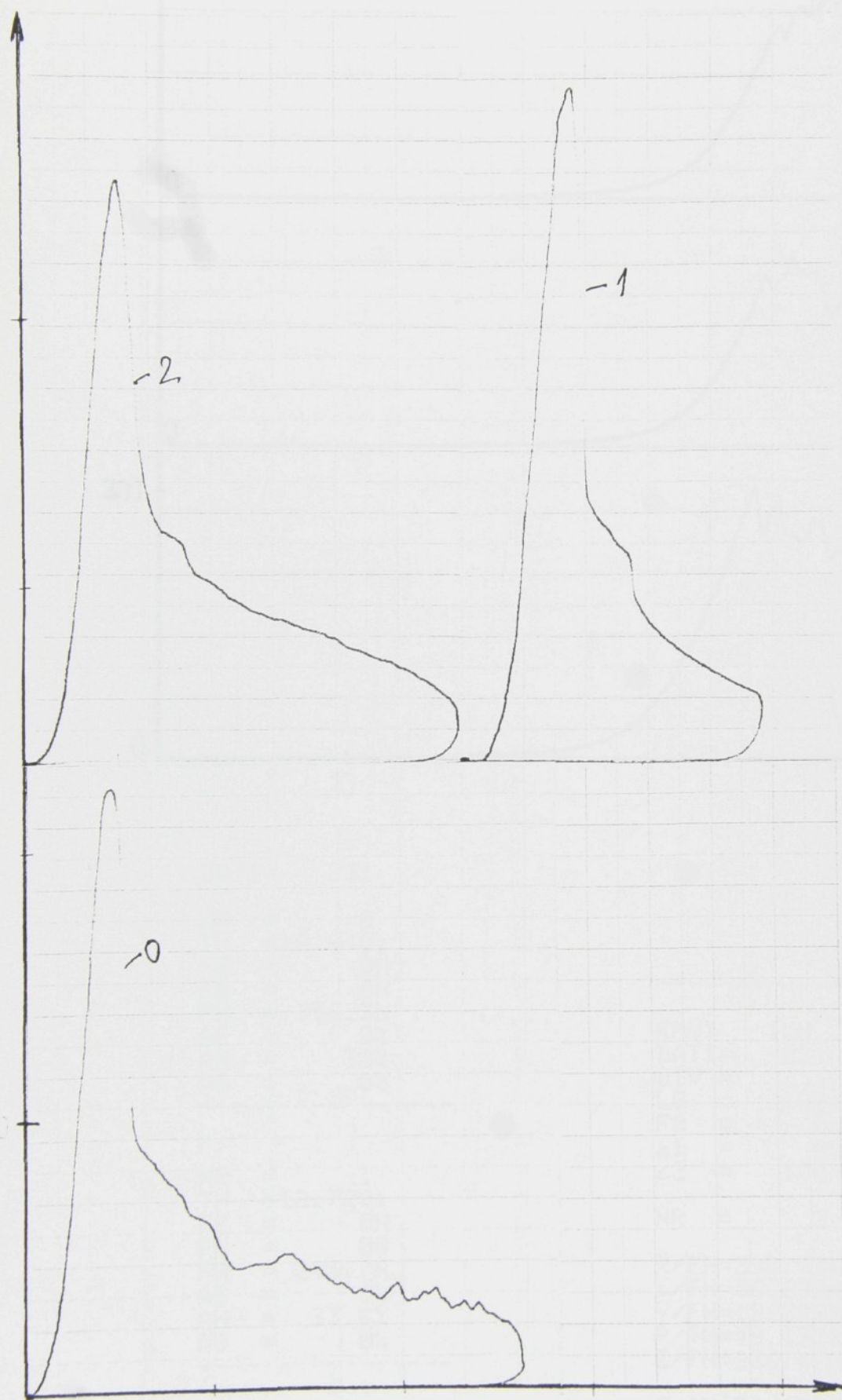
NR = 1
 TH = 1.1600s
 FE = 0N
 FB = 0N
 FH = 475.9N
 AE = 0%
 AH = 3%
 AB = 0%

NR = 3
 X/FH= 528.2N
 s/FH=46.439N
 V/FH=8.7920%
 P/FH=21.827%
 E/FH=481.76N

X/AH=2.7666%
 s/AH=0.2516%
 V/AH=9.8963%
 P/AH=22.582%
 E/AH= 2.515%

NR = 2
 TH = 0.9600s
 FE = 0N
 FB = 0N
 FH = 544.1N
 AE = 0%
 AH = 2.5%
 AB = 0%

sk: $\dot{U}_0$



DAT1= 221

NR = 0
TH = 1.7680s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 770.6N
AE = 0%
AH = 4.7%
AB = 0%

NR = 1
TH = 2.2200s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 874.1N
AE = 0%
AH = 5.8%
AB = 0%

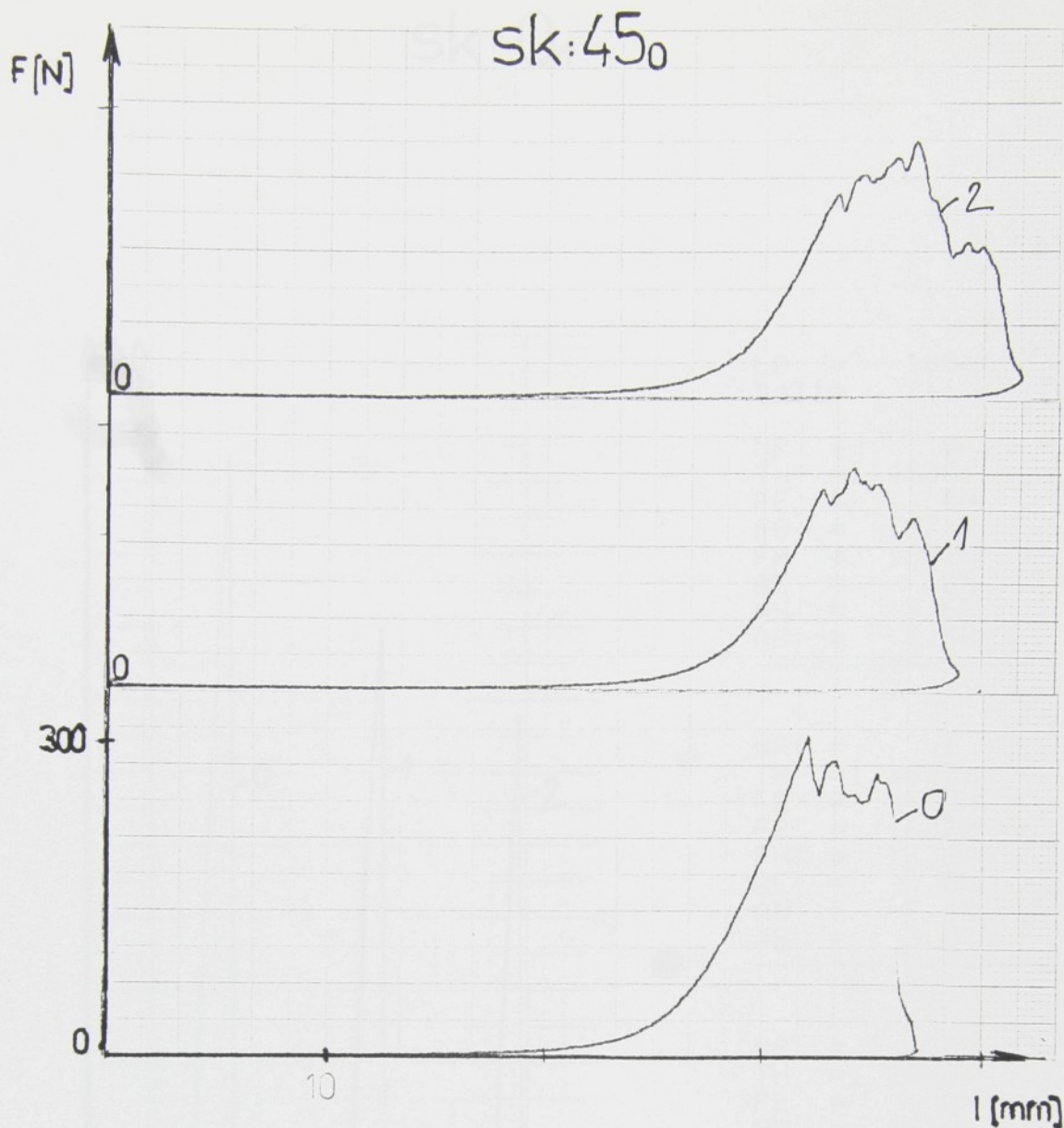
NR = 2
TH = 1.9200s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 753.3N
AE = 0%
AH = 5%
AB = 0%

KMW: 1KN
DAT1= 221
DIV = 1
LO = 100mm
FO = 0N
 $\Delta 1$ = 0N
 $\Delta 2$ = 100N

NR = 3

$\bar{x}/FH=799.33N$
 $\bar{s}/FH=65.324N$
 $\bar{v}/FH=8.1723N$
 $\bar{p}/FH=20.286N$
 $\bar{e}/FH=734.80N$

$\bar{x}/AH=5.1665\%$
 $\bar{s}/AH=0.5686\%$
 $\bar{v}/AH=11.008\%$
 $\bar{p}/AH=27.322\%$
 $\bar{e}/AH=4.5980\%$



DAT1= 231

NR = 0
 TH = 12.040s
 FE = 0N
 FB = 0N
 FH = 356.3N
 AE = 0%
 AH = 32%
 AB = 0%

KMU: 1KN
 DAT1= 231
 DIV = 1
 LG = 100mm
 FG = 0N
 Δ1 = 0N
 Δ2 = 100N

NR = 1
 TH = 12.720s
 FE = 0N
 FB = 0N
 FH = 245.7N
 AE = 0%
 AH = 33.8%
 AB = 0%

NR = 3
 X/FH=293.33%
 s/FH=56.872%
 V/FH=19.388%
 P/FH=48.133%
 E/FH=236.46%

NR = 2
 TH = 13.640s
 FE = 0N
 FB = 0N
 FH = 278N
 AE = 0%
 AH = 36.3%
 AB = 0%

X/AH=34.033%
 s/AH=2.1594%
 V/AH=6.3451%
 P/AH=15.752%
 E/AH=31.873%

sk: 0₁



LO = 100mm
DAT1= 211

NR = 0
TH = 1.4800s
FE = 0N
FB = 1871N
FH = 1871N
AE = 0%
AH = 3.6%
AB = 3.6%

NR = 1
TH = 1.3600s
FE = 0N
FB = 1632N
FH = 1632N
AE = 0%
AH = 3.4%
AB = 3.4%

NR = 2
TH = 1.2400s
FE = 0N
FB = 1519N
FH = 1519N
AE = 0%
AH = 3.2%
AB = 3.2%

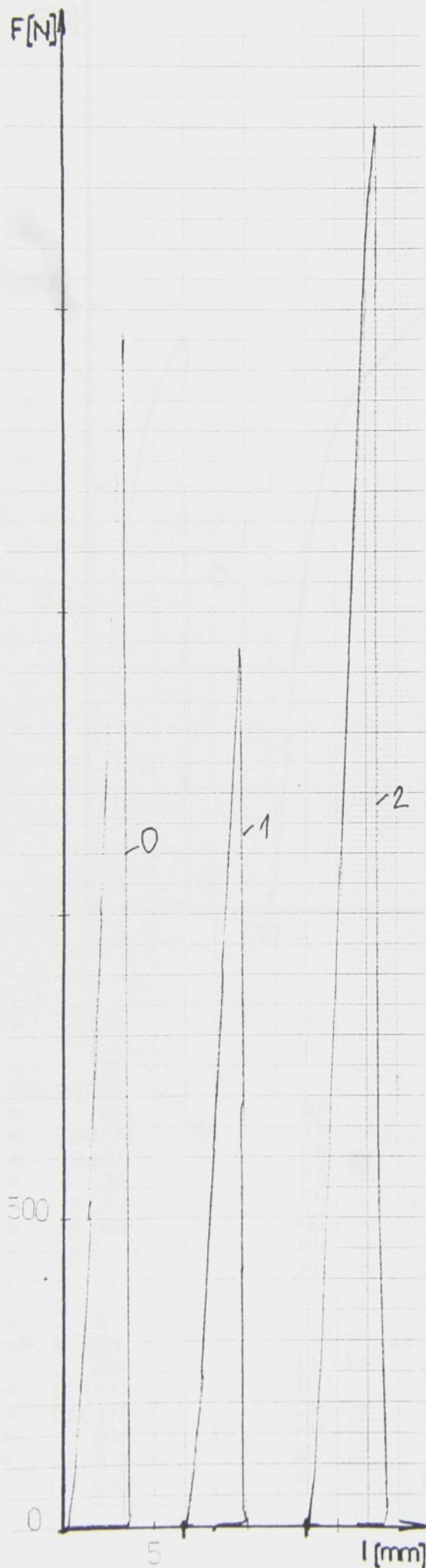
KMW: 10KN
DAT1= 211
DIV = 1
LO = 100mm
F0 = 0N
 $\Delta 1$ = 0N
 $\Delta 2$ = 100N

NR = 3

$\bar{x}/FH$ = 1674N
 $\bar{s}/FH$ = 179.71N
 $\bar{v}/FH$ = 10.735%
 $\bar{p}/FH$ = 26.553%
 $\bar{e}/FH$ = 1494.2N

$\bar{x}/AH$ = 3.4%
 $\bar{s}/AH$ = 0.2000%
 $\bar{v}/AH$ = 5.8825%
 $\bar{p}/AH$ = 14.604%
 $\bar{e}/AH$ = 3.1999%

sk: U₁



DAT1= 212

NR = 0
TH = 1.3000s
FE = 0N
FB = 2001N
FH = 2001N
AE = 0%
AH = 3.3%
AB = 3.3%

NR = 1
TH = 1.2200s
FE = 0N
FB = 1448N
FH = 1471N
AE = 0%
AH = 3.1%
AB = 3.2%

NR = 2
TH = 1.5600s
FE = 0N
FB = 2346N
FH = 2346N
AE = 0%
AH = 4%
AB = 4%

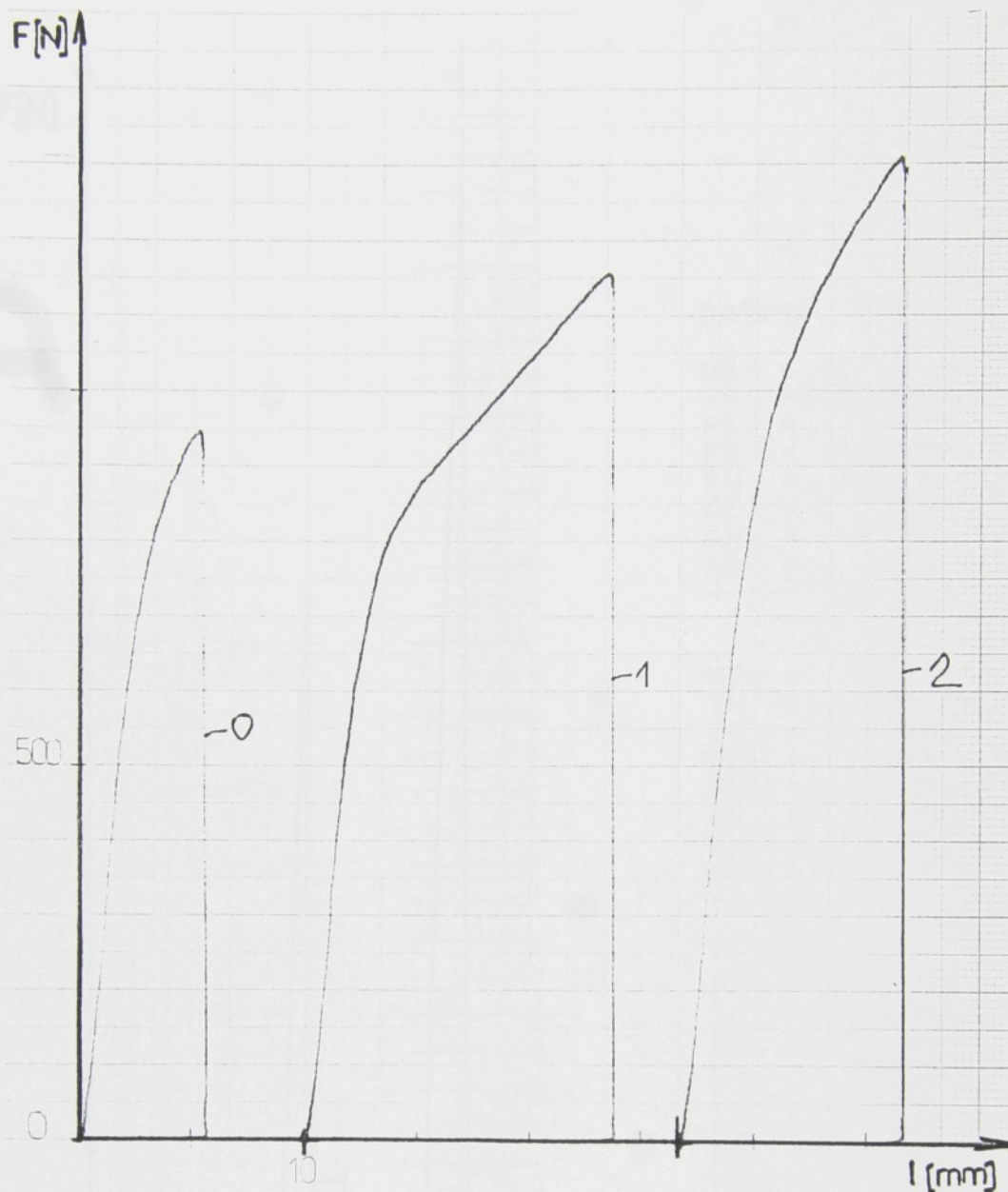
KMW: 10KN
DAT1= 212
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3

$\bar{x}/FH=1939.3N$
 $\bar{s}/FH=440.74N$
 $\bar{V}/FH=22.725\%$
 $\bar{P}/FH=56.421\%$
 $\bar{E}/FH=1498.5N$

$\bar{x}/AH=3.4666\%$
 $\bar{s}/AH=0.4725\%$
 $\bar{V}/AH=13.632\%$
 $\bar{P}/AH=33.843\%$
 $\bar{E}/AH=2.9940\%$

sk.: 45,



DAT1= 213

NR = 0
TH = 2.0400s
FE = 0N
FB = 905N
FH = 949N
AE = 0%
AH = 5.2%
AB = 5.4%

NR = 2
TH = 3.8000s
FE = 0N
FB = 1318N
FH = 1318N
AE = 0%
AH = 9.8%
AB = 9.8%

NR = 3

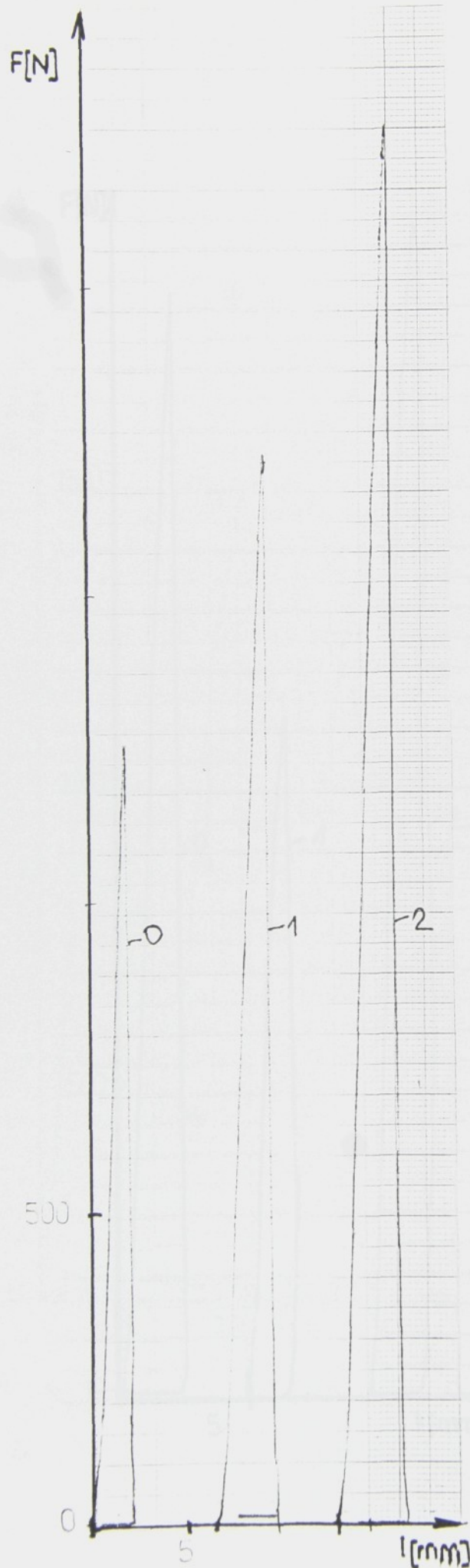
$\bar{x}/FH = 1142.6N$
 $s/FH = 185.18N$
 $V/FH = 16.206\%$
 $P/FH = 40.233\%$
 $E/FH = 957.48N$

NR = 1
TH = 5.1600s
FE = 0N
FB = 1146N
FH = 1161N
AE = 0%
AH = 13.3%
AB = 13.6%

KMW: 10KN
DAT1= 213
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
 $\Delta 1 = 0N$
 $\Delta 2 = 100N$

$\bar{x}/AH = 9.4333\%$
 $s/AH = 4.0624\%$
 $V/AH = 43.064\%$
 $P/AH = 106.91\%$
 $E/AH = 5.3709\%$

sk: O₂



DAT1= 221

NR = 0
TH = 0.9000s
FE = 0N
FB = 1301N
FH = 1301N
AE = 0%
AH = 2.2%
AB = 2.2%

NR = 1
TH = 1.2600s
FE = 0N
FB = 1786N
FH = 1786N
AE = 0%
AH = 3.2%
AB = 3.2%

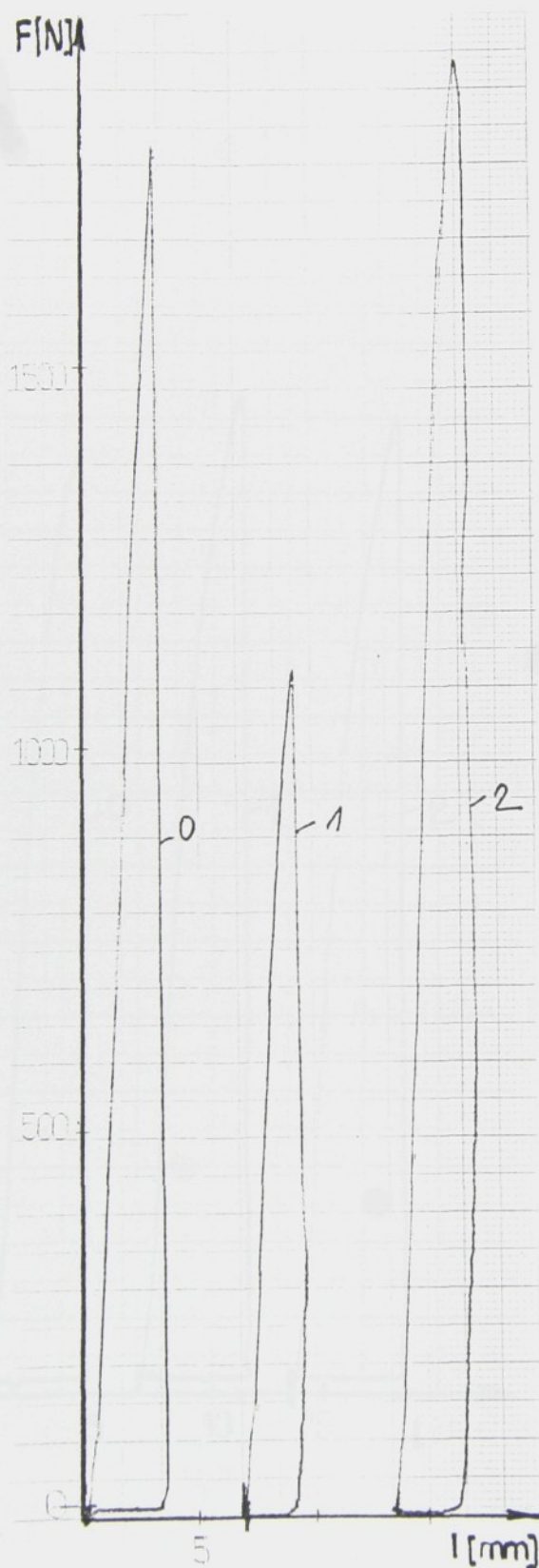
NR = 2
TH = 1.3600s
FE = 0N
FB = 2335N
FH = 2335N
AE = 0%
AH = 3.4%
AB = 3.4%

KMW: 10KN
DAT1= 221
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3

$\bar{x}/FH=1807.3N$
 $\bar{s}/FH=517.33N$
 $\bar{v}/FH=28.624\%$
 $\bar{p}/FH=71.062\%$
 $\bar{e}/FH=1290N$

$\bar{x}/AH=2.9333\%$
 $\bar{s}/AH=0.6429\%$
 $\bar{v}/AH=21.917\%$
 $\bar{p}/AH=54.412\%$
 $\bar{e}/AH=2.2904\%$



DAT1= 222

NR = 0
TH = 1.2400s
FE = 0N
FB = 1852N
FH = 1852N
AE = 0%
AH = 3.2%
AB = 3.2%

NR = 1
TH = 1.4200s
FE = 0N
FB = 2429N
FH = 2430N
AE = 0%
AH = 3.6%
AB = 3.7%

NR = 2
TH = 1.3400s
FE = 0N
FB = 1792N
FH = 1912N
AE = 0%
AH = 3.4%
AB = 3.7%

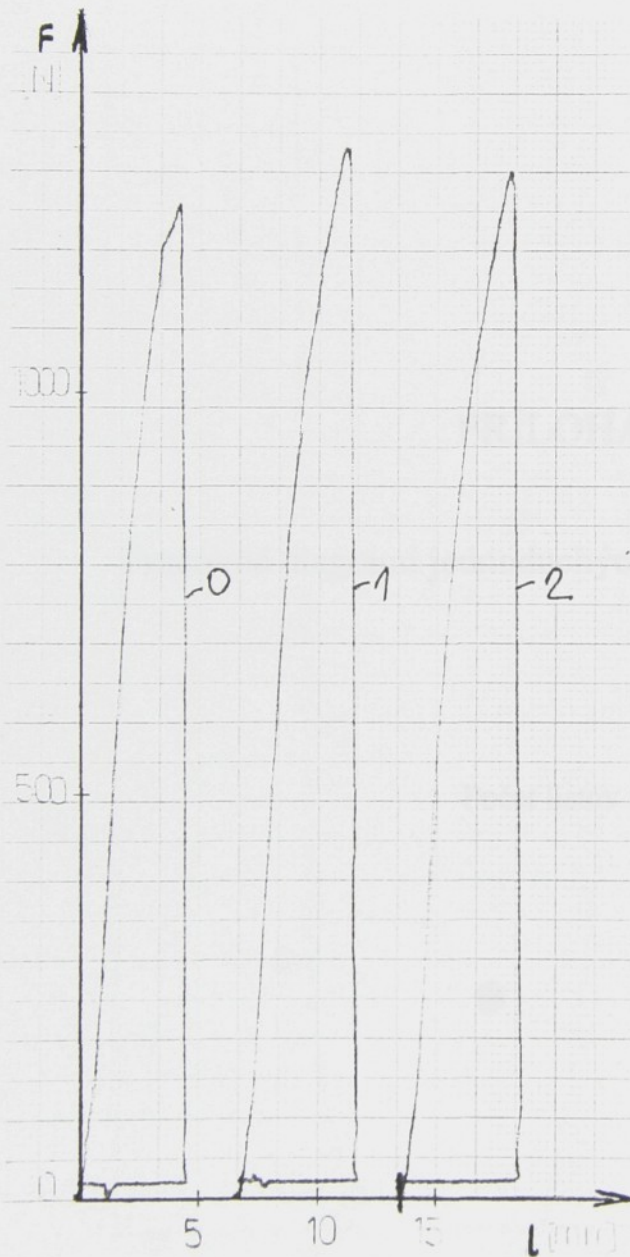
KMW: 10KN
DAT1= 222
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3

X/FH=2064.6N
s/FH=317.81N
V/FH=15.392%
P/FH=38.214%
E/FH=1746.8N

X/AH= 3.4%
s/AH=0.2000%
V/AH=5.8825%
P/AH=14.604%
E/AH=3.1999%

sk 45₂



DAT1= 223

NR = 0
TH = 1.7200s
FE = 0N
FB = 1230N
FH = 1236N
AE = 0%
AH = 4.4%
AB = 4.4%

NR = 1
TH = 1.7800s
FE = 0N
FB = 1277N
FH = 1300N
AE = 0%
AH = 4.6%
AB = 4.7%

NR = 2
TH = 1.8800s
FE = 0N
FB = 1284N
FH = 1284N
AE = 0%
AH = 4.8%
AB = 4.8%

KMW: 10KN
DAT1= 223
DIV = 1
L0 = 100mm
F0 = 0N
 $\Delta 1$ = 0N
 $\Delta 2$ = 100N

NR = 3

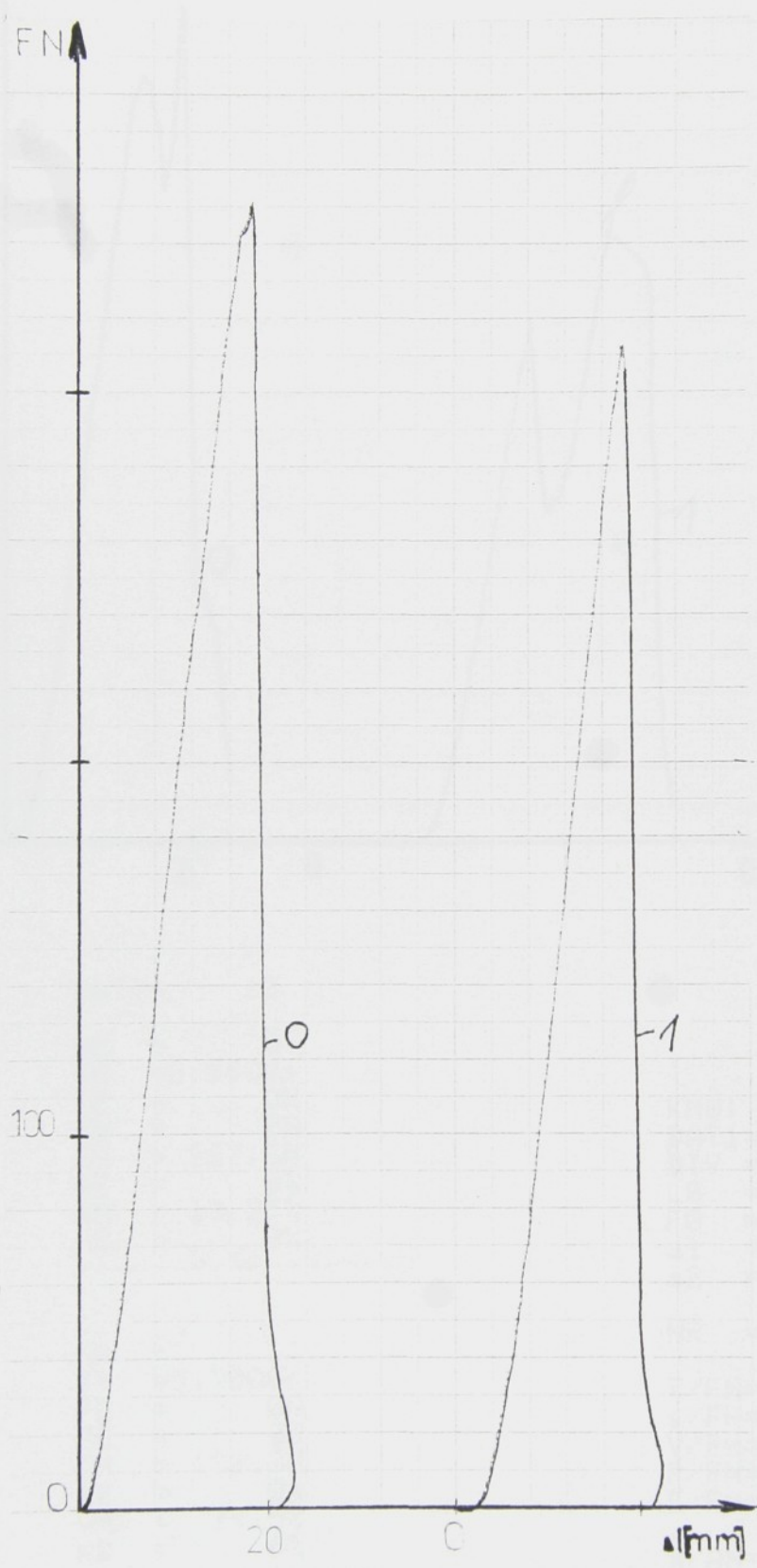
$\bar{x}/FH=1273.3N$
 $\bar{s}/FH=33.312N$
 $\bar{v}/FH=2.6162N$
 $\bar{p}/FH=6.4949N$
 $\bar{e}/FH=1240.0N$

$\bar{x}/AH= 4.6\%$
 $\bar{s}/AH= 0.2\%$
 $\bar{v}/AH=4.3478\%$
 $\bar{p}/AH=10.794\%$
 $\bar{e}/AH= 4.4\%$

PRÍLOHA 3

Pracovné diagramy jednoduchých preplátovaných spojov

Počet listov : 15



DAT : 11.

NR = 0
 TH = 2.7600s
 FE = 0N
 FB = 0N
 FH = 351.1N
 AE = 0%
 AH = 18.5%
 AB = 0%

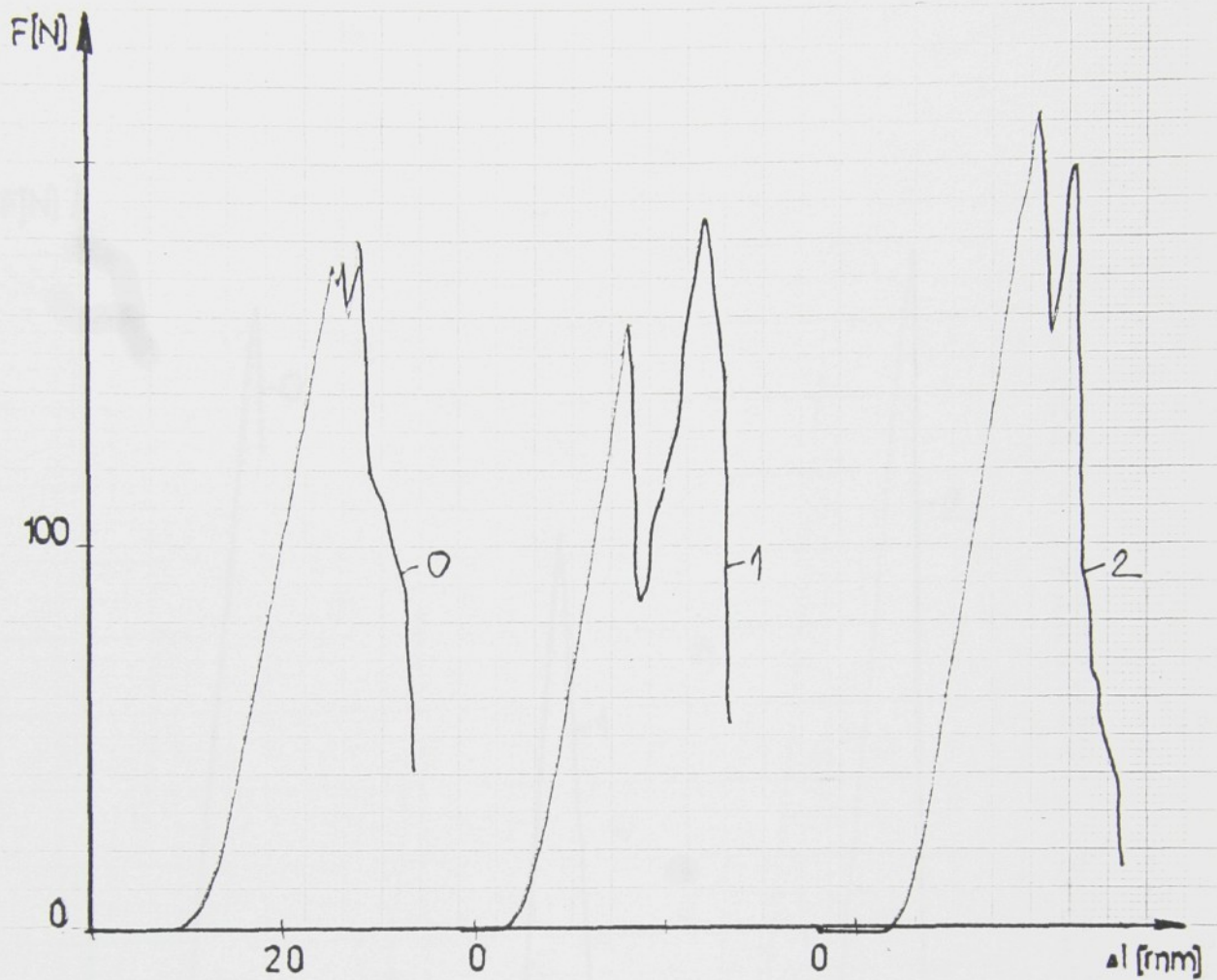
NR = 1
 TH = 2.8000s
 FE = 0N
 FB = 0N
 FH = 314.8N
 AE = 0%
 AH = 18.25%
 AB = 0%

KMW: 1KN
 DIV = 1
 LO = 40mm
 FO = 0N
 Δ1 = 0N
 Δ2 = 100N

NR = 2
 X/FH=332.95N
 s/FH=25.668N
 V/FH=7.7093%
 P/FH=23.440%
 E/FH=307.28N
 X/AH=18.375%
 s/AH=0.1767%
 V/AH=0.9620%
 P/AH=2.9251%
 E/AH=18.198%

ENDE ZERTIFIKAT

ba:0/45



DAT1= 13

NR = 0
TH = 4.4400s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 181.1N
AE = 0%
AH = 29.5%
AB = 0%

KMW: 1KN
DAT1= 13
DIV = 1
L0 = 40mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 1
TH = 3.9600s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 185.9N
AE = 0%
AH = 26.5%
AB = 0%

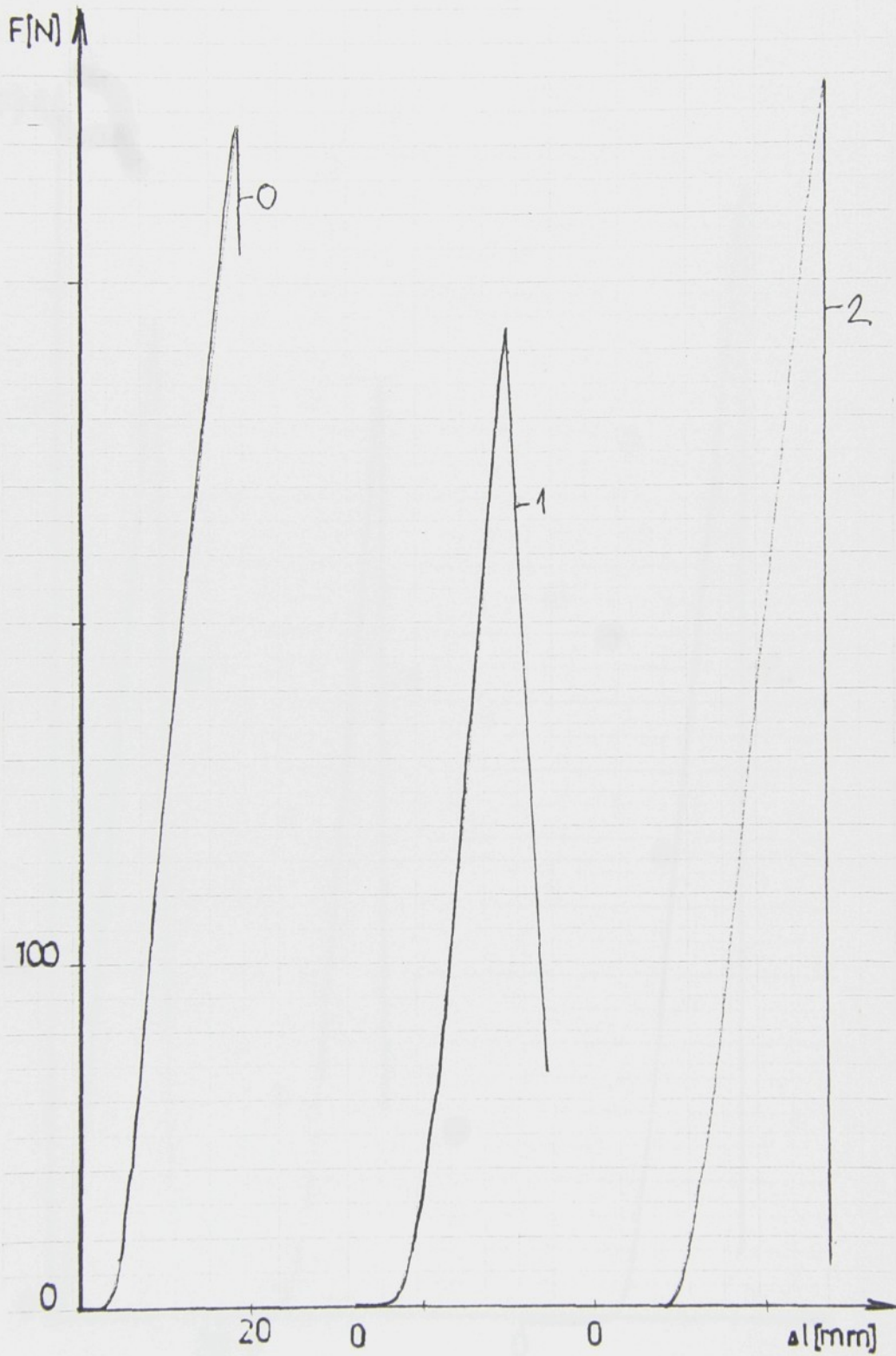
NR = 3
Σ/FH=194.06N
s/FH=18.459N
V/FH=9.5117%
P/FH=23.613%
E/FH=175.60N

Σ/AH=26.583%
s/AH=2.8758%
V/AH=10.818%
P/AH=26.857%
E/AH=23.707%

NR = 2
TH = 3.5400s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 215.2N
AE = 0%
AH = 23.75%
AB = 0%

ENDE ZERTIFIKAT

ba: 0/U



DAT1= 14

NR = 0
TH = 2.8800%
FE = 0%
FB = 321.38N
FH = 348.24N
AE = 0%
AH = 19.25%
AB = 19.25%

NR = 1
TH = 2.7200%
FE = 0%
FB = 0%
FH = 288.24N
AE = 0%
AH = 18.25%
AB = 0%

NR = 2
TH = 2.9200%
FE = 0%
FB = 295.04N
FH = 361.44N
AE = 0%
AH = 19.25%
AB = 19.25%

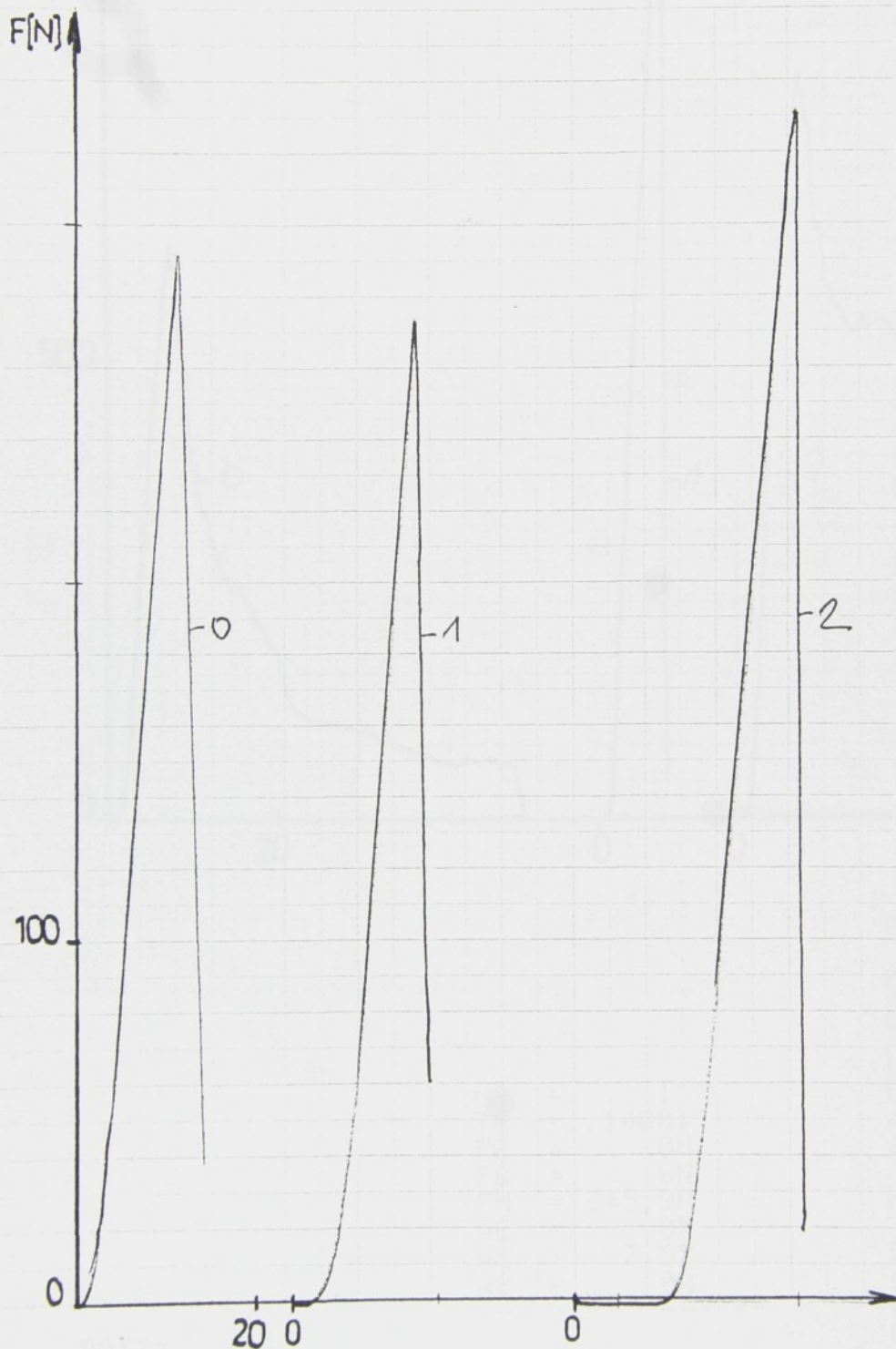
KMW: 1KN
DAT1= 14
DIV = 1
L0 = 40mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3

Σ/FH= 332.64
s/FH=39.8144
V/FH= 11.78%
P/FH=29.121%
E/FH=293.33N

Σ/AH=18.916%
s/AH=0.5773%
V/AH=3.0522%
P/AH=7.5775%
E/AH=18.339%

ba: U/U



DAT1= 15

NR = 0
TH = 1.7880s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 293.6N
AE = 0%
AH = 11.75%
AB = 0%

NR = 1
TH = 2.0880s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 279.5N
AE = 0%
AH = 14%
AB = 0%

NR = 2
TH = 3.8880s
FE = 0N
FB = 321.9N
FH = 337.3N
AE = 0%
AH = 25.25%
AB = 25.5%

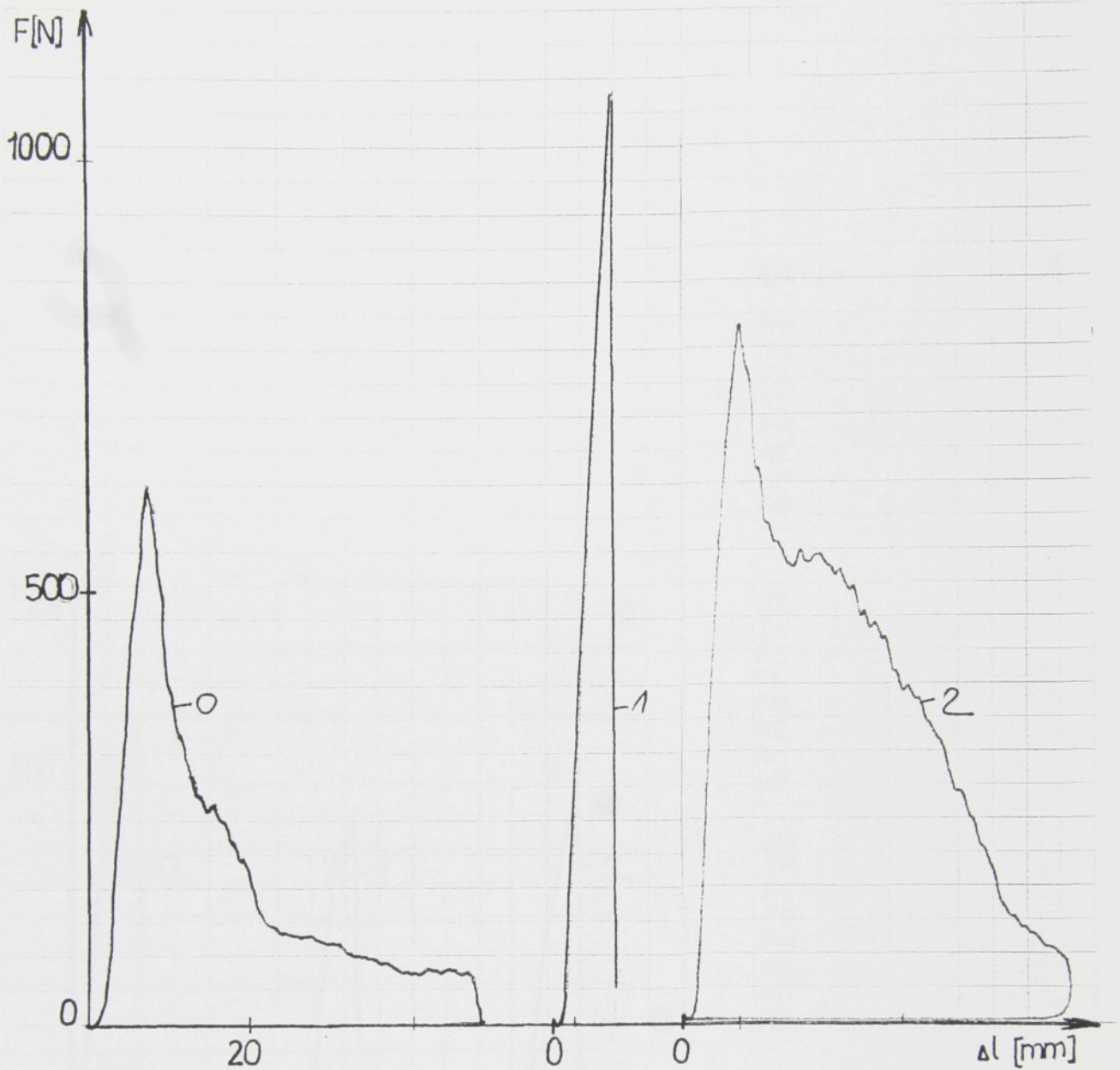
KMW: 1kN
DAT1= 15
DIV = 1
L0 = 40mm
F0 = 0N
 $\Delta 1$ = 0N
 $\Delta 2$ = 100N

NR = 3

$\bar{x}/FH=303.46N$
 $s/FH=30.136N$
 $V/FH=9.9388\%$
 $P/FH=24.654\%$
 $E/FH=273.33N$

$\bar{x}/AH=17\%$
 $s/AH=7.2327\%$
 $V/AH=42.545\%$
 $P/AH=105.62\%$
 $E/AH=9.7672\%$

sk 0/0



NR = 1
TH = 1.1400s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 645.9N
AE = 0%
AH = 7.5%
AB = 0%

DAT1= 1

NR = 0
TH = 1.0600s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 829.2N
AE = 0%
AH = 6.75%
AB = 0%

NR = 2
TH = 1.0200s
FE = 0N
FB = 1108.9N
FH = 1108.9N
AE = 0%
AH = 6.75%
AB = 6.75%

KMW: 1KN
DAT1= 21
DIV = 1
L0 = 40mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3
Σ/FH=953.33N
s/FH=266.25N
V/FH=27.928%
P/FH=69.335%
E/FH=687.08N

Σ/AH=8.5833%
s/AH=2.5536%
V/AH=29.750%
P/AH=73.859%
E/AH=6.0297%

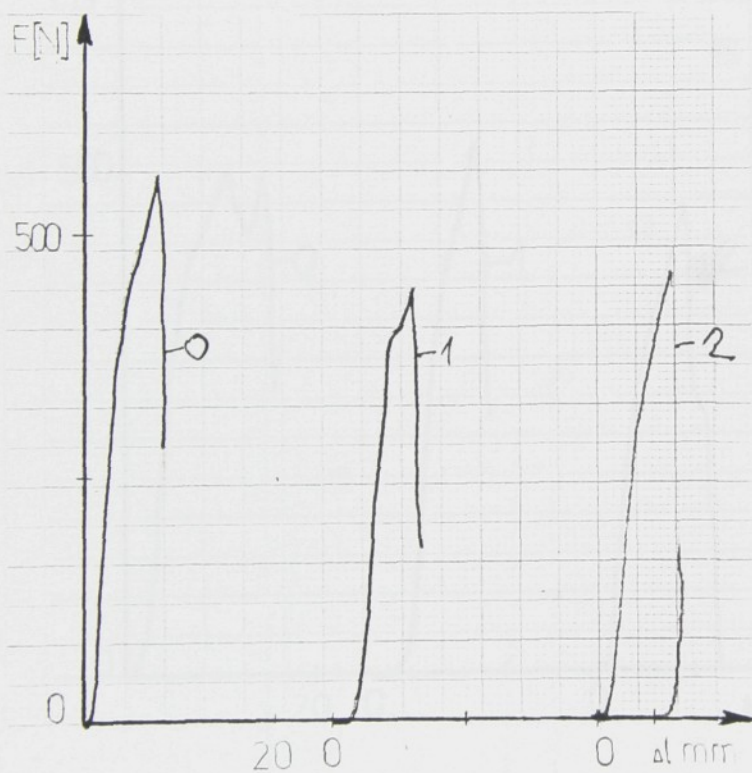
ENDE ZERTIFIKAT

sk: 0/45

DAT1= 22

26

NR = 0
TH = 1.2200s
FE = 0N
FB = 508.7N
FH = 564.2N
AE = 0%
AH = 8%
AB = 8.25%



NR = 1
TH = 1.3000s
FE = 0N
FB = 443.1N
FH = 459.4N
AE = 0%
AH = 8.75%
AB = 8.75%

NR = 0
TH = 1.3400s
FE = 0N
FB = 434.7N
FH = 457.9N
AE = 0%
AH = 8.5%
AB = 8.75%

KMW: 1KN
DAT1= 22
DIV = 1
LG = 40mm
FG = 0N
 $\Delta 1$ = 0N
 $\Delta 2$ = 100N

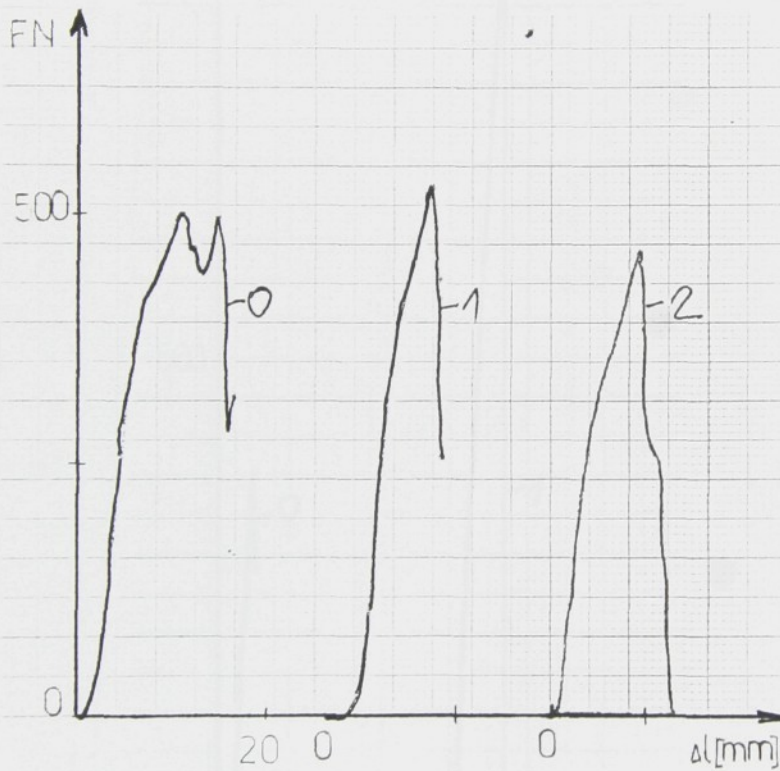
NR = 2

$\bar{x}/FH = 507.3N$ 490,233
 $s/FH = 80.468N$
 $V/FH = 15.862\%$
 $P/FH = 48.229\%$
 $E/FH = 426.83N$

$\bar{x}/AH = 8.375\%$ 8,414
 $s/AH = 0.5303\%$
 $V/AH = 6.3323\%$
 $P/AH = 19.253\%$
 $E/AH = 7.8446\%$

sk: U/45

DAT1= 24



NR = 0
TH = 1.5200s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 474.6N
AE = 0%
AH = 9.75%
AB = 0%

NR = 0
TH = 2.2200s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 517.8N
AE = 0%
AH = 14.75%
AB = 0%

NR = 1
TH = 1.7400s
FE = 0N
FB = 422.5N
FH = 550.7N
AE = 0%
AH = 11.25%
AB = 11.75%

KMW: 1KN
DAT1= 24
DIV = 1
L0 = 40mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 2

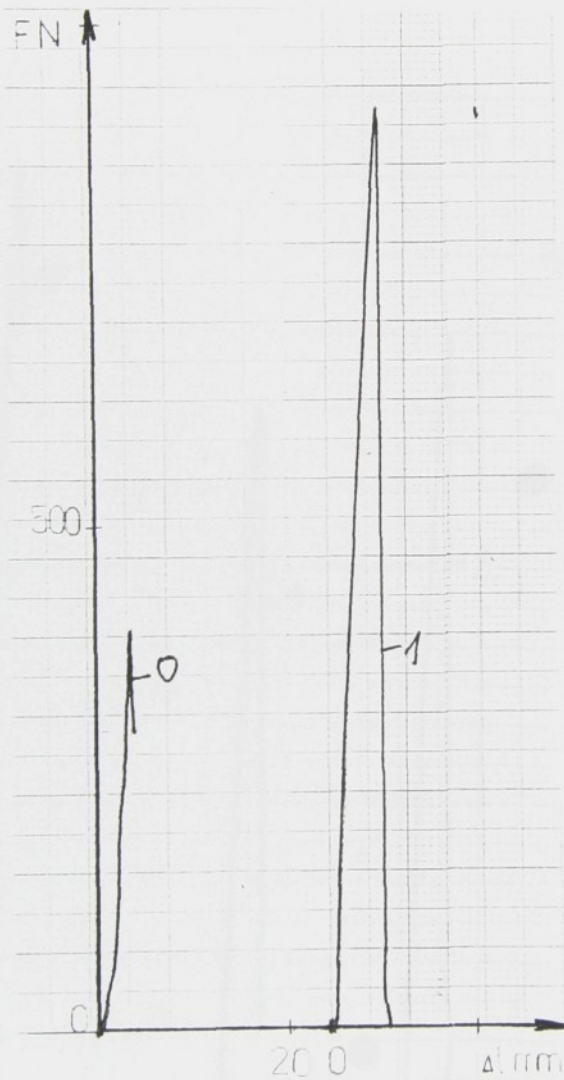
$\bar{x}/FH = 534.25N$
 $\bar{s}/FH = 23.263N$
 $\bar{v}/FH = 4.3544\%$
 $\bar{p}/FH = 13.239\%$
 $\bar{e}/FH = 510.98N$

$\bar{x}/AH = 13\%$
 $\bar{s}/AH = 2.4748\%$
 $\bar{v}/AH = 19.037\%$
 $\bar{p}/AH = 57.884\%$
 $\bar{e}/AH = 10.525\%$

5/4, 5/2

1/4 -

SK: O/U



DAT1= 23

NR = 0
TH = 0.6000s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 420.8N
AE = 0%
AH = 4%
AB = 0%

NR = 0
TH = 0.9000s
FE = 0N
FB = 964.6N
FH = 964.6N
AE = 0%
AH = 5.75%
AB = 5.75%

KMU: 1KN
DAT1= 23
DIV = 1
LO = 40mm
FO = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 2

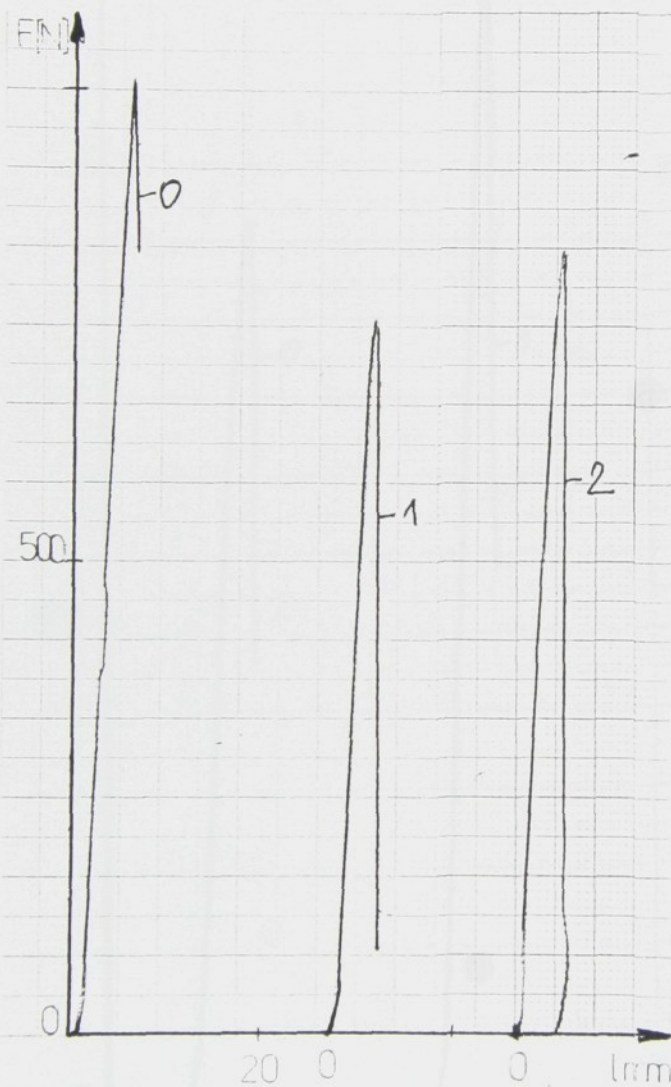
X/FH=566.65N
s/FH=206.26N
V/FH=36.400%
P/FH=110.67%
E/FH=360.38N

699,3

X/AH= 4.25%
s/AH=0.3535%
V/AH=8.3190%
P/AH=25.294%
E/AH=3.8964%

475

SK:U/U



DAT1= 25 29

NR = 0
TH = 0.8800s
FE = 0N
FB = 1004.7N
FH = 1004.7N
AE = 0%
AH = 5.75%
AB = 5.75%

NR = 1
TH = 0.7800s
FE = 0N
FB = 751.5N
FH = 751.5N
AE = 0%
AH = 5%
AB = 5%

NR = 0
TH = 0.8200s
FE = 0N
FB = 817.4N
FH = 817.4N
AE = 0%
AH = 5.25%
AB = 5.25%

KMW: 1KN
DAT1= 25
DIV = 1
L0 = 40mm
F0 = 0N
 $\Delta 1$ = 0N
 $\Delta 2$ = 100N

NR = 2

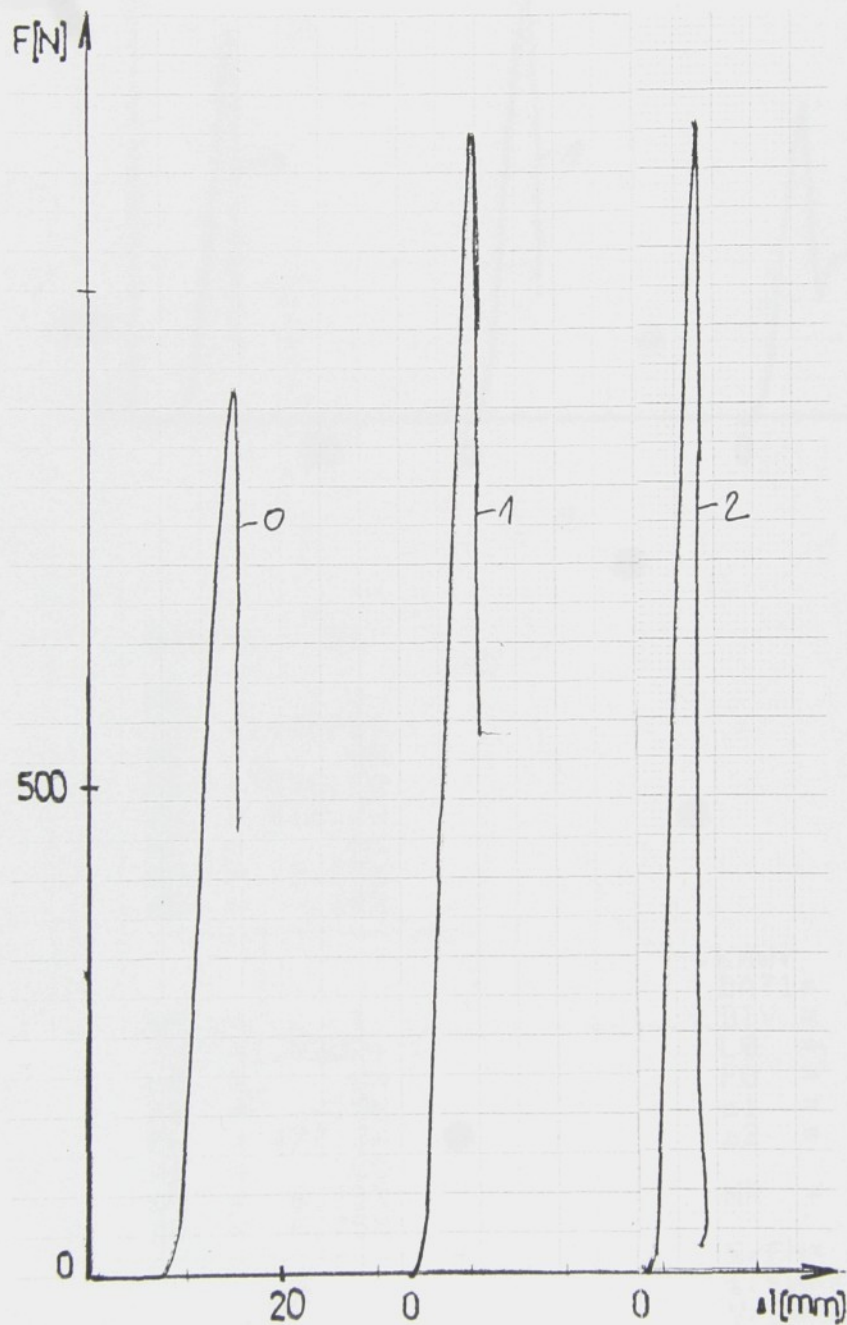
$\bar{x}/FH = 878.1N$
 $s/FH = 179.03N$
 $V/FH = 20.389\%$
 $P/FH = 61.995\%$
 $E/FH = 699.06N$

$\bar{x}/AH = 5.375\%$
 $s/AH = 0.5303\%$
 $V/AH = 9.8665\%$
 $P/AH = 29.999\%$
 $E/AH = 4.8446\%$

257/867

5,333

skp:0/0



DAT1= 31

NR = 0
TH = 2.2200s
FE = 0N
FB = 868.5N
FH = 909.4N
AE = 0%
AH = 14.75%
AB = 15%

NR = 1
TH = 1.1200s
FE = 0N
FB = 919.2N
FH = 1165N
AE = 0%
AH = 7.5%
AB = 7.5%

NR = 2
TH = 0.8800s
FE = 0N
FB = 1159.6N
FH = 1175.1N
AE = 0%
AH = 5.75%
AB = 5.75%

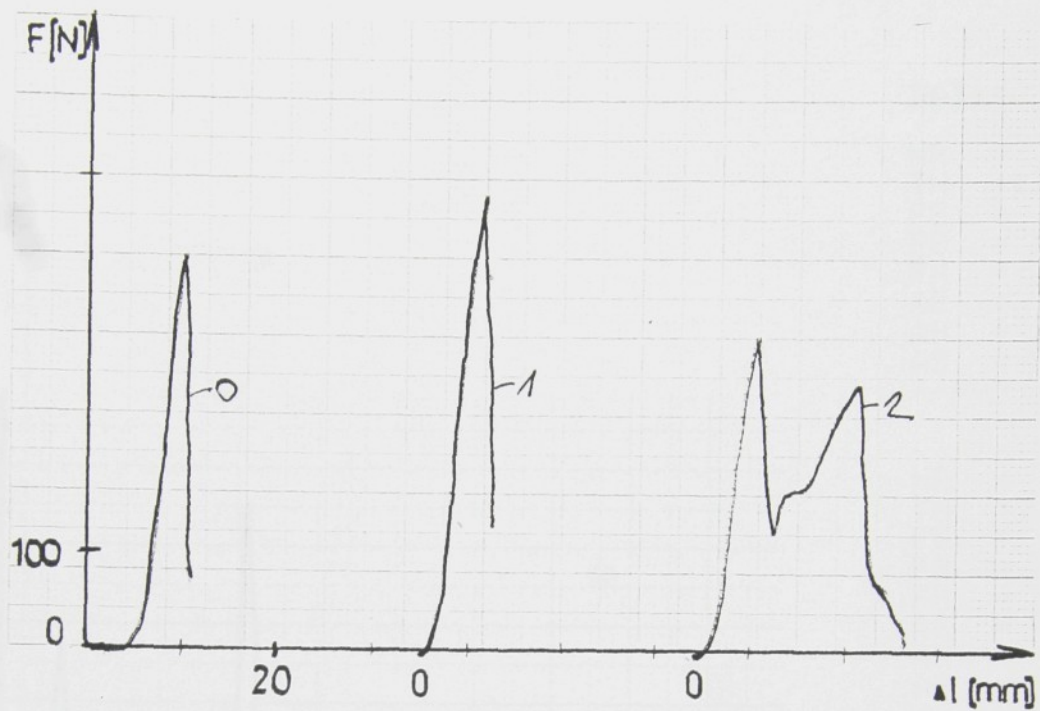
KMW: 1kN
DAT1= 31
DIV = 1
LO = 40mm
FG = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3

X/FH=1083.1N
s/FH=150.57N
V/FH=13.901N
P/FH=34.510N
E/FH=932.59N

X/AH=9.3333%
s/AH=4.7713%
V/AH=51.127%
P/AH=128.92%
E/AH=4.5614%

skp:0/45



DAT1= 32

NR = 0
TH = 1.4800s
FE = 0N
FB = 348.7N
FH = 416.7N
AE = 0%
AH = 9.75%
AB = 10%

KMW: 1KN

DAT1= 32

DIV = 1

L0 = 40mm

F0 = 0N

$\Delta 1$ = 0N

$\Delta 2$ = 100N

NR = 3

$\bar{x}/FH = 407.6N$

$s/FH = 74.667N$

$V/FH = 18.318\%$

$P/FH = 45.478\%$

$E/FH = 332.93N$

$\bar{x}/AH = 7.75\%$

$s/AH = 1.7328\%$

$V/AH = 22.349\%$

$P/AH = 55.484\%$

$E/AH = 6.0179\%$

NR = 2
TH = 1.0200s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 328.8N
AE = 0%
AH = 6.75%
AB = 0%

SKP:U/U

DAT1= 35

NR = 0
TH = 1.0400s
FE = 0N
FB = 559.8N
FH = 640N
AE = 0%
AH = 6.75%
AB = 7%

NR = 1
TH = 1.4200s
FE = 0N
FB = 760.9N
FH = 798.9N
AE = 0%
AH = 9.25%
AB = 9.5%

NR = 2
TH = 1.8000s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 554.7N
AE = 0%
AH = 11.75%
AB = 0%

KMW: 1KN
DAT1= 35
DIV = 1
L0 = 40mm
F0 = 0N
 $\Delta 1$ = 0N
 $\Delta 2$ = 100N

NR = 3

$\bar{x}/FH=664.53N$
 $s/FH=123.93N$
 $V/FH=18.649\%$
 $P/FH=46.300\%$
 $E/FH=540.59N$

$\bar{x}/AH= 9.25\%$
 $s/AH= 2.5\%$
 $V/AH=27.027\%$
 $P/AH=67.097\%$
 $E/AH= 6.75\%$



skp:0/U



DAT1= 33

NR = 0
TH = 0.4600s
FE = 0N
FB = 785.9N
FH = 785.9N
AE = 0%
AH = 5.25%
AB = 5.25%

NR = 1
TH = 1.2600s
FE = 0N
FB = 1107.5N
FH = 1107.5N
AE = 0%
AH = 8%
AB = 8%

NR = 2
TH = 0.7800s
FE = 0N
FB = 695.8N
FH = 695.8N
AE = 0%
AH = 5%
AB = 5%

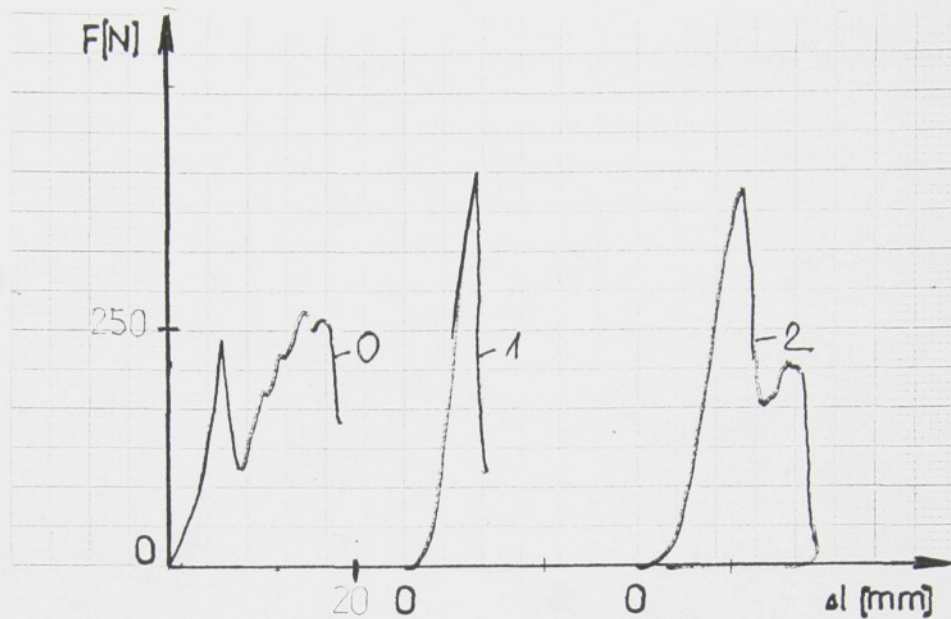
KMW: 1KN
DAT1= 33
DIV = 1
L0 = 40mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 3

$\bar{x}/FH = 863.66\%$
 $s/FH = 216.42\%$
 $V/FH = 25.076\%$
 $P/FH = 62.254\%$
 $E/FH = 646.64\%$

$\bar{x}/AH = 6.8833\%$
 $s/AH = 1.6645\%$
 $V/AH = 27.363\%$
 $P/AH = 67.931\%$
 $E/AH = 4.4187\%$

skp: U/45



PRÍLOHA 4

DAT1= 34

NR = 0
TH = 3.3000s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 264.3N
AE = 0%
AH = 22%
AB = 0%

KMU: 1KN
DAT1= 34
DIV = 1
L0 = 40mm
F0 = 0N
Δ1 = 0N
Δ2 = 100N

NR = 1
TH = 1.1800s
FE = 0N
FB = 371.1N
FH = 407.5N
AE = 0%
AH = 7.75%
AB = 7.75%

NR = 3
Σ/FH=354.76N
s/FH=78.704N
V/FH=22.184%
P/FH=55.076%
E/FH=276.06N

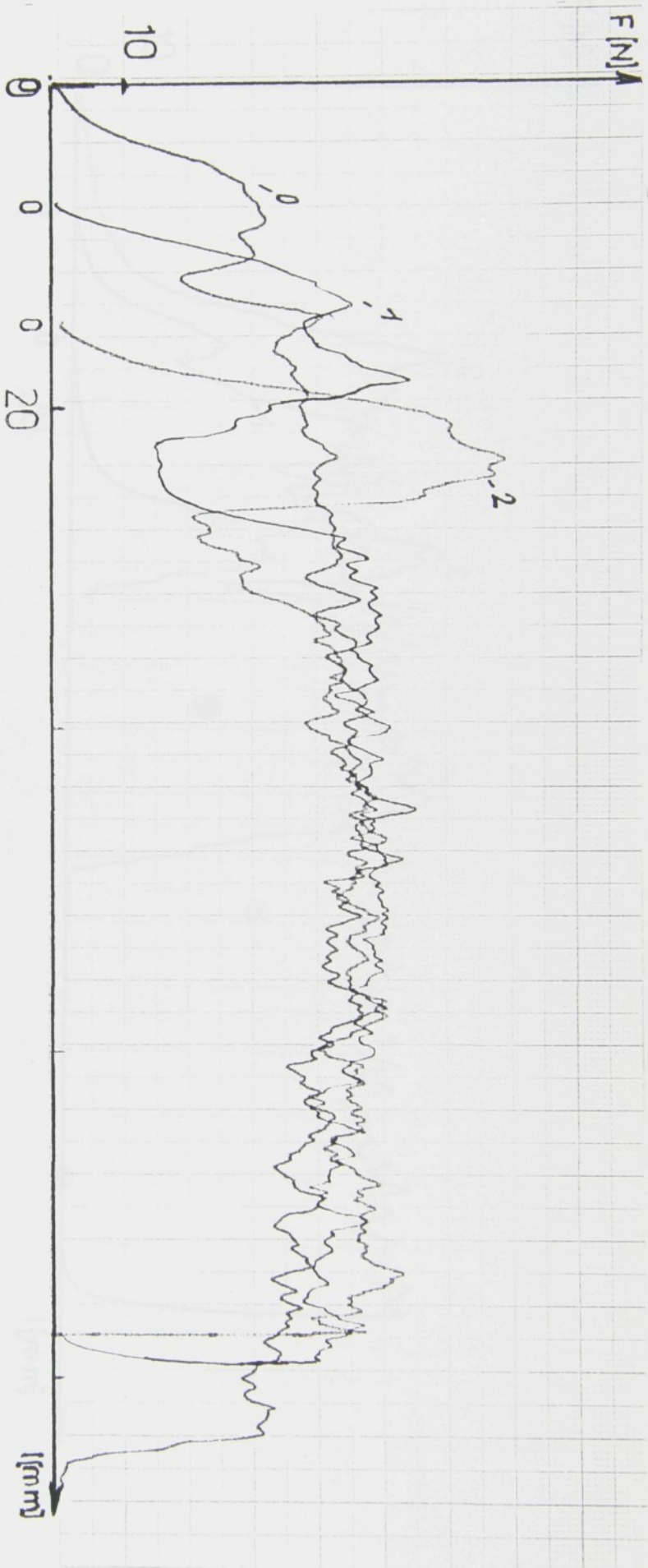
Σ/AH=13.666%
s/AH=7.4260%
V/AH=54.336%
P/AH=134.89%
E/AH=6.2406%

NR = 2
TH = 1.7000s
FE = 0N
FB = 0N
FH = 392.5N
AE = 0%
AH = 11.25%
AB = 0%

PRÍLOHA 4

Pracovné diagramy jednostranne preplatovaných spojov

Počet listov : 14

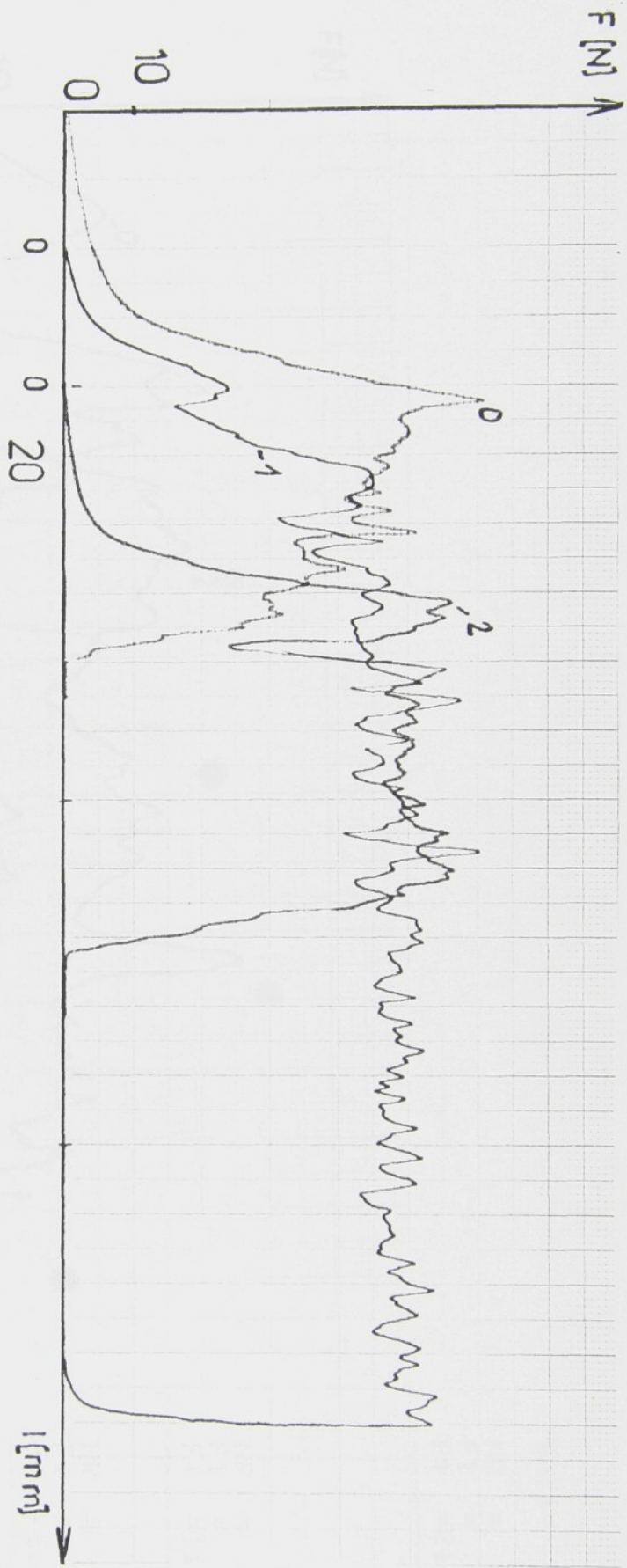


NR = 8
E1 = 35.704 N
F* = 35.704 N

NR = 1
E1 = 41.289 N
F* = 41.289 N

NR = 2
E1 = 42.035 N
F* = 42.035 N

KMM: 1KH
DAT1 = 11
DIV = 1
LO = 20mm
H1 = 6%
NR = 3
E/F* = 39.676 N
E/F* = 3.4601 N
V/F* = 8.7268 %
P/F* = 21.656 %
E/F* = 36.216 N



DAT1= 13

NR = 3
E1 = 0N
F* = 22.054N

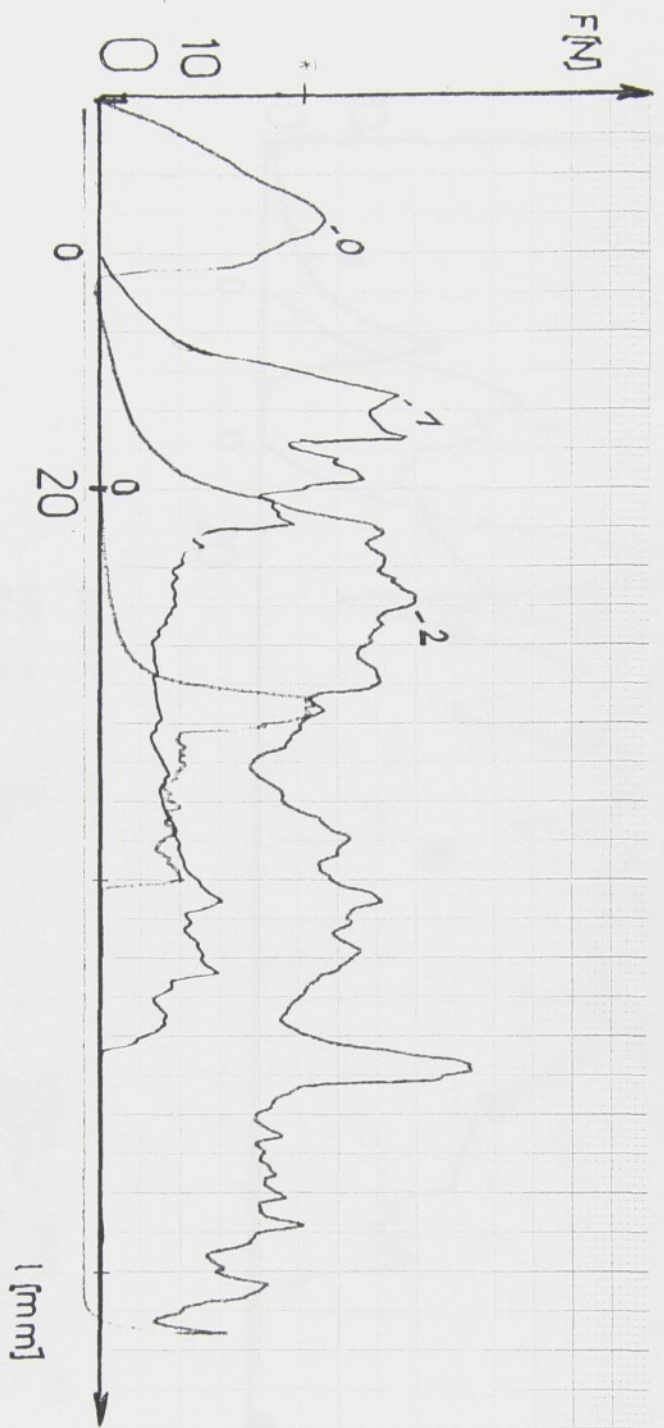
NR = 1
E1 = 0N
F* = 40.218N

NR = 2
E1 = 0N
F* = 27.768N

KMD: 1KN
DAT1= 13
DIV = 1
LG = 20mm
G1 = 0%

NR = 3

X/E*=30.011N
S/E*=9.2889N
V/E*=30.951%
F/E*=26.840%
E/F*=20.722N



DATA = 12

HR = 0
F1 = 0N
F* = 21.656N

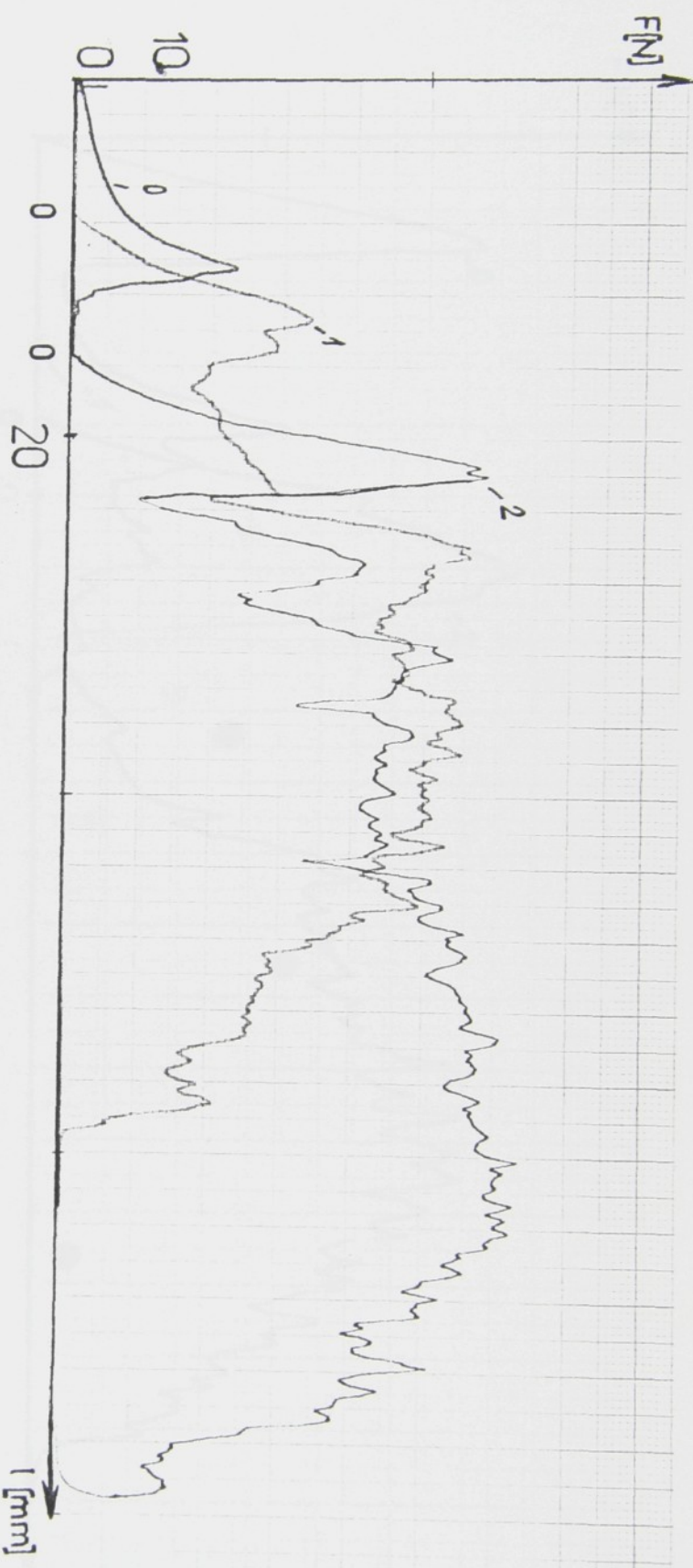
HR = 1
F1 = 0N
F* = 11.758N

HR = 2
F1 = 0N
F* = 6.1783N

KMM: 1KN
DATA = 12
DIV = 1
LO = 20mm
HI = 0%

HR = 3
X/E* = 13.197N
Y/E* = 7.8388N
V/E* = 59.334%
P/E* = 147.45%
E/E* = 5.3596N

DA: 0/0



DATA= 14

NR = 0
F1 = 0N
F* = 4.7216N

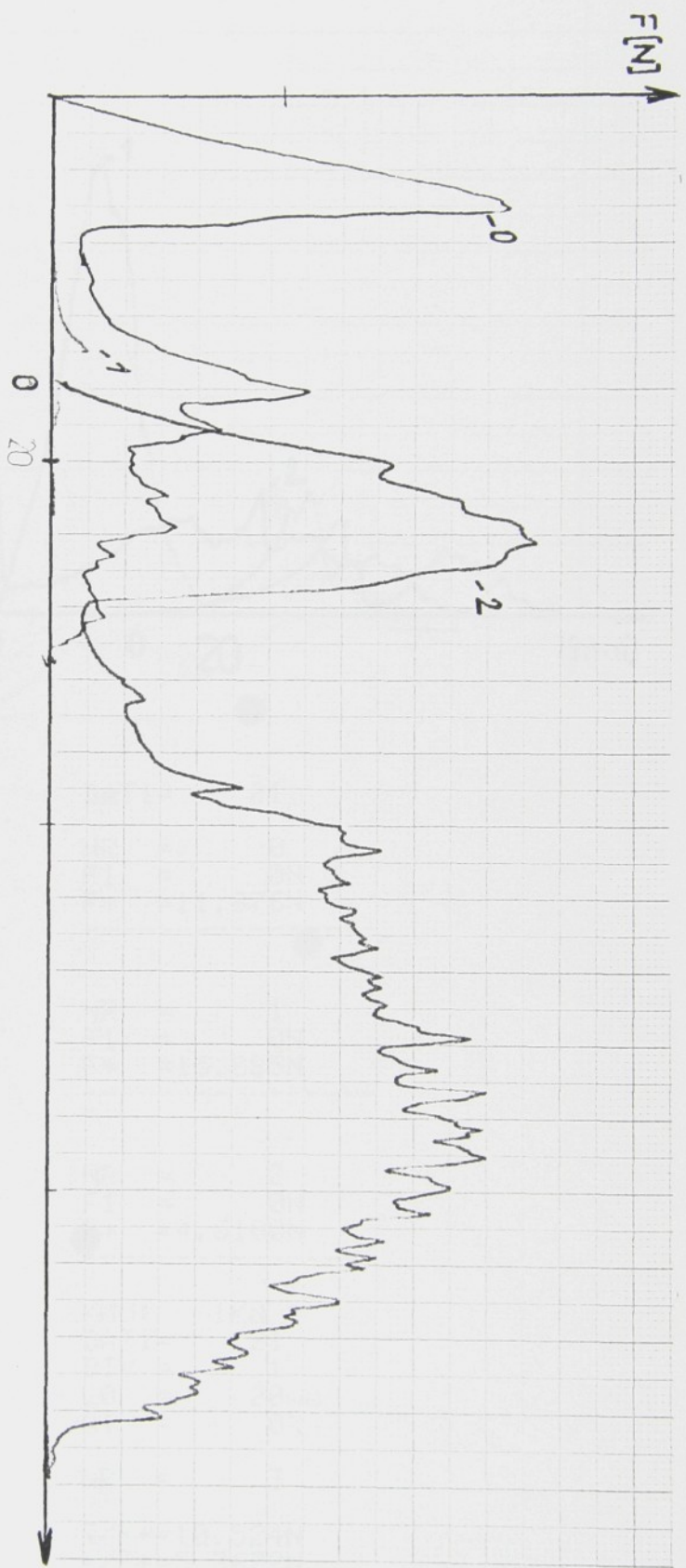
NR = 1
F1 = 0N
F* = 29.452N

NR = 2
F1 = 0N
F* = 41.504N

KMM: 1KN
DATA= 14
DIV = 1
LO = 20mm
H1 = 0%

NR = 3

X/F* = 26.226N
Y/F* = 18.751N
V/F* = 74.335%
P/F* = 184.54%
E/F* = 6.4742N



DATA= 15

NR = 0

F1 = 0.6584

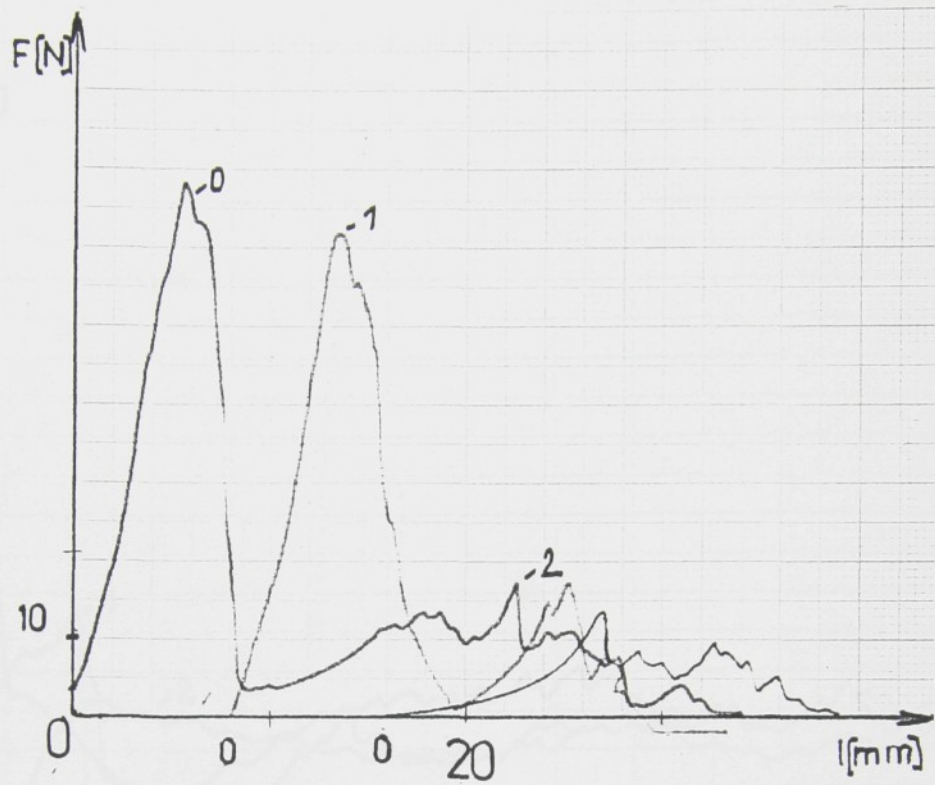
NR = 1

F1 = 0.22194

NR = 2

F1 = 0.4

sk: 0/0



DAT1= 21

NR = 0
F1 = 0N
F* = 11.876N

NR = 1
F1 = 0N
F* = 15.885N

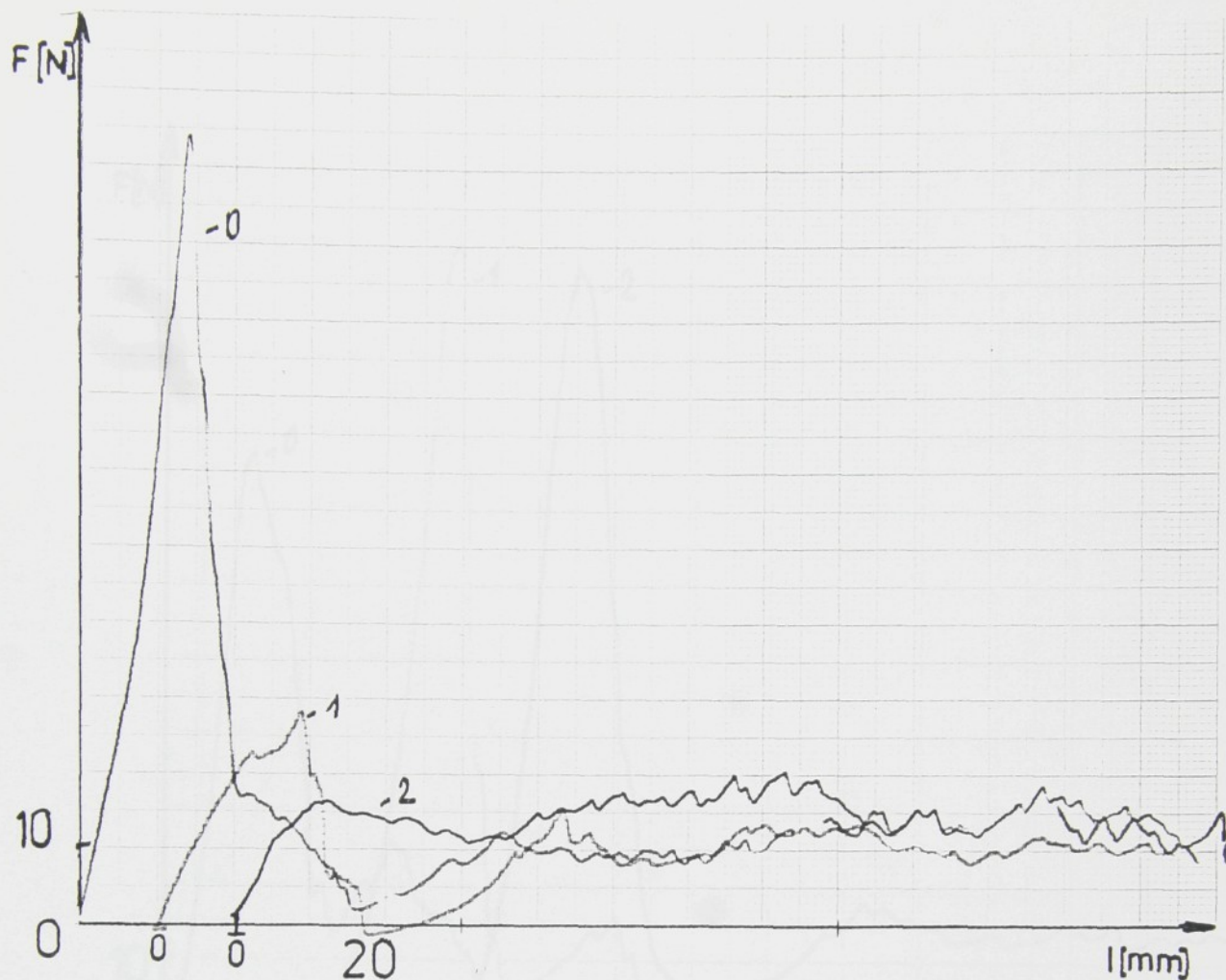
NR = 2
F1 = 0N
F* = 4.6100N

KMU: 1KN
DAT1= 21
DIV = 1
L0 = 20mm
A1 = 0%

NR = 3

$\bar{x}/F^* = 10.524N$
 $s/F^* = 5.3672N$
 $V/F^* = 50.999\%$
 $P/F^* = 126.61\%$
 $E/F^* = 5.1568N$

sk: 0/45



DAT1= 23

NR = 0
F1 = 0N
F* = 15.609N

NR = 1
F1 = 0N
F* = 10.705N

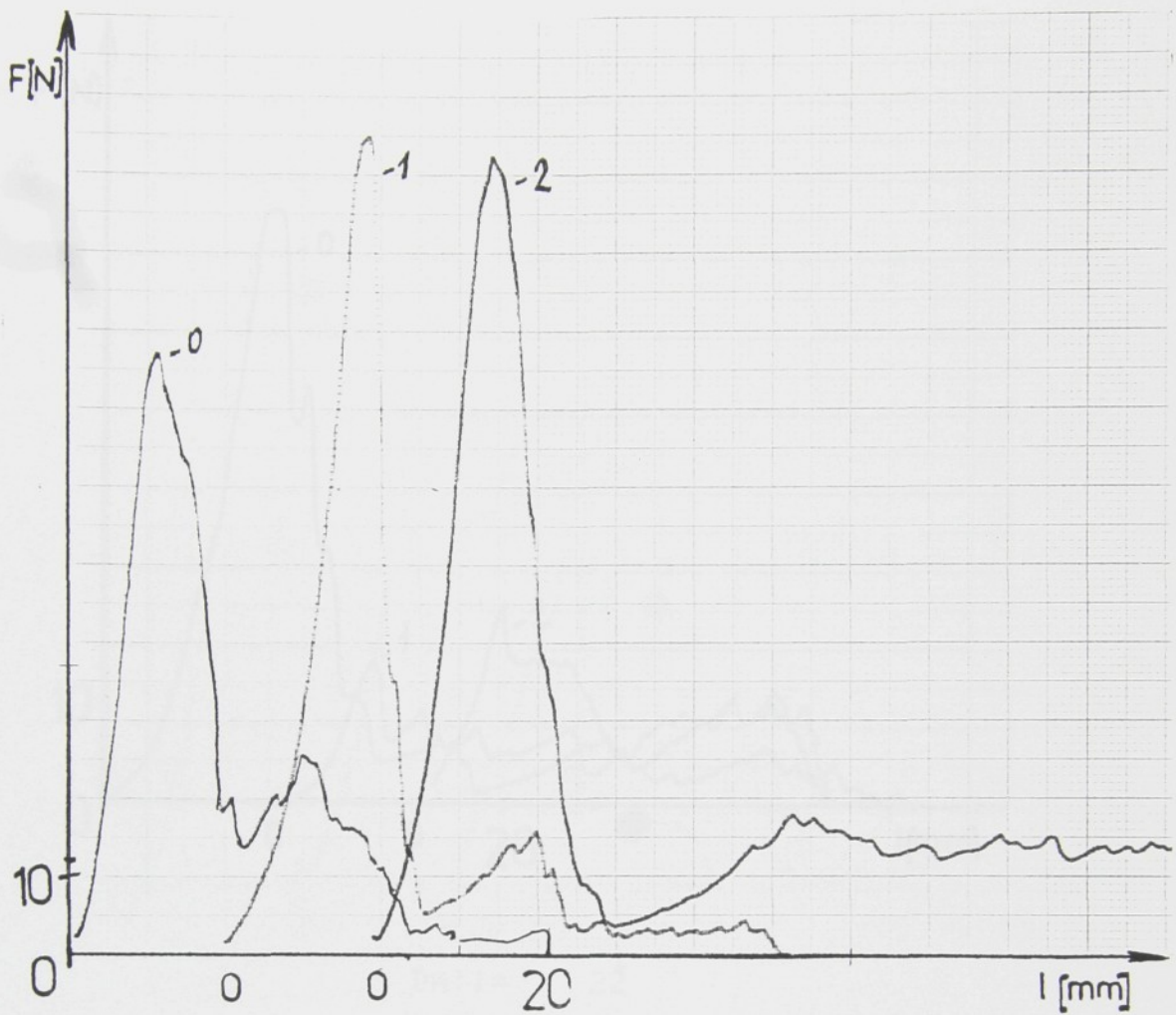
NR = 2
F1 = 0N
F* = 12.362N

KMW: 1KN
DAT1= 23
DIV = 1
L0 = 20mm
A1 = 0%

NR = 3

$\bar{x}/F^* = 12.892N$
 $\bar{s}/F^* = 2.4944N$
 $\bar{v}/F^* = 19.348\%$
 $\bar{p}/F^* = 48.034\%$
 $\bar{e}/F^* = 10.397N$

sk: Ů/45



DAT1= 24

NR = 0
F1 = 0N
F* = 23.684N

NR = 1
F1 = 0N
F* = 15.931N

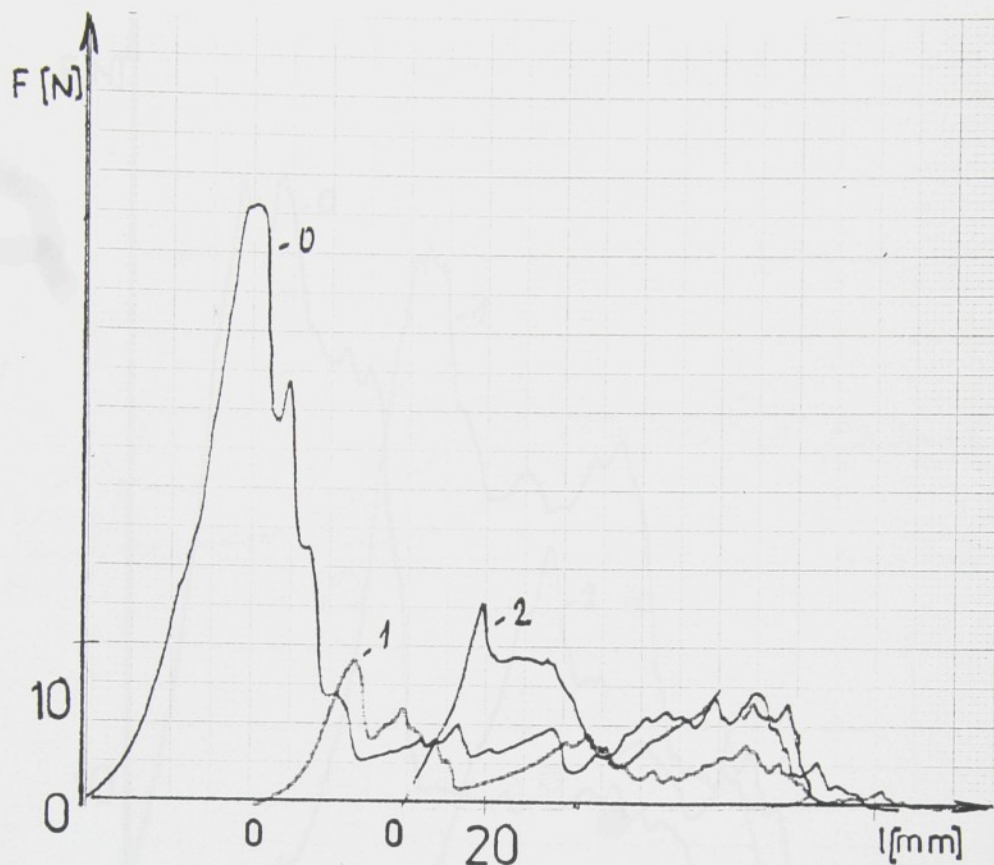
NR = 2
F1 = 0N
F* = 15.853N

KMM: 1KN
DAT1= 24
DIV = 1
L0 = 20mm
A1 = 0%

NR = 3

$\bar{x}/F^* = 18.49N$
 $s/F^* = 4.4989N$
 $V/F^* = 24.331\%$
 $P/F^* = 60.405\%$
 $E/F^* = 13.991N$

sk: 0/U



DAT1= 22

NR = 0
F1 = 0N
F* = 14.839N

NR = 1
F1 = 0N
F* = 6.1954N

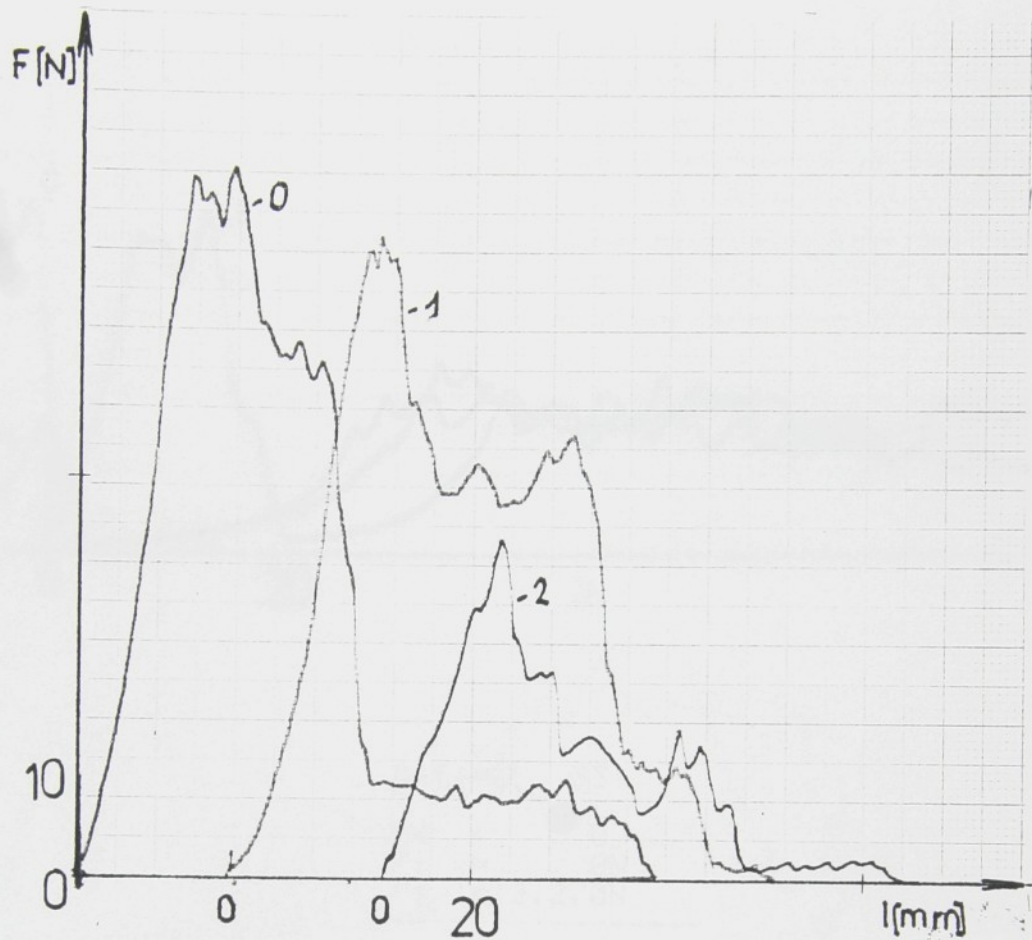
NR = 1
F1 = 0N
F* = 6.1954N

KMW: 1KN
DAT1= 22
DIV = 1
L0 = 20mm
A1 = 0%

NR = 3

$\bar{\epsilon}/F^* = 9.8477N$
 $\bar{\epsilon}/F^* = 4.4750N$
 $V/F^* = 45.442\%$
 $P/F^* = 112.81\%$
 $E/F^* = 5.3727N$

sk:U/U



DAT1= 25

NR = 0
F1 = 0N
F* = 30.893N

NR = 1
F1 = 0N
F* = 34.386N

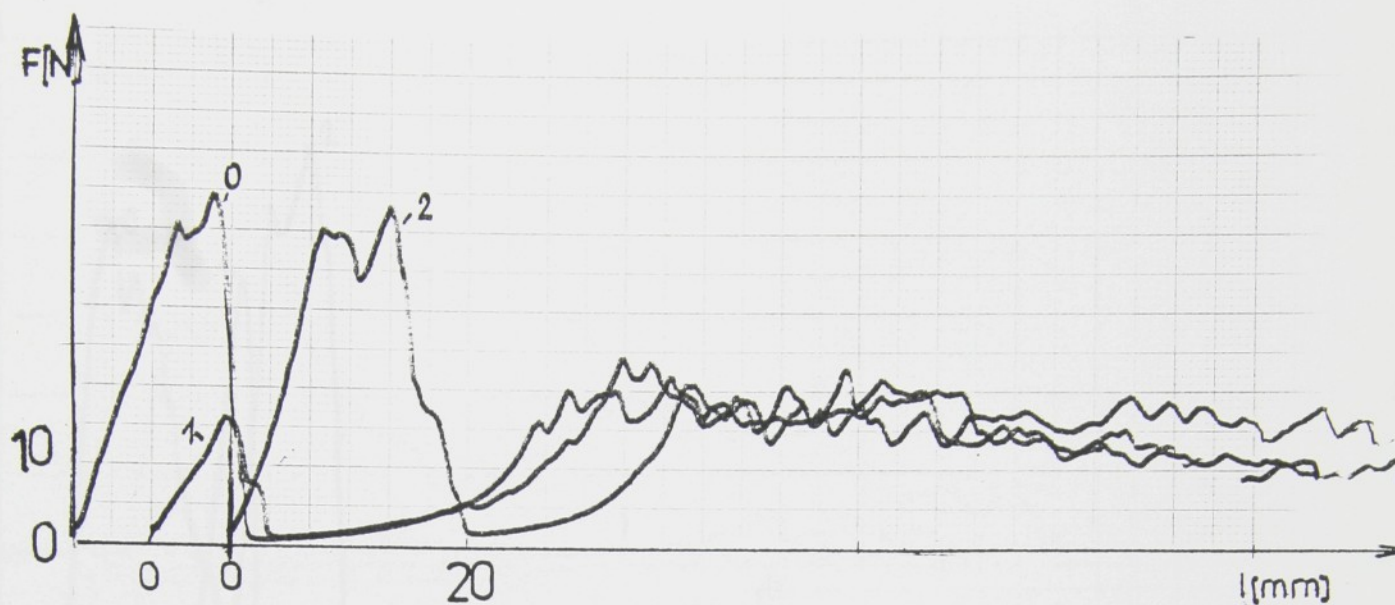
NR = 2
F1 = 0N
F* = 11.08N

KMW: 1KN
DAT1= 25
DIV = 1
L0 = 20mm
A1 = 0%

NR = 3

$\bar{x}/F^* = 25.453N$
 $s/F^* = 12.569N$
 $V/F^* = 49.382\%$
 $P/F^* = 122.59\%$
 $E/F^* = 12.883N$

skp:0/45



DAT1= 33

NR = 0
F1 = 0N
F* = 12.270N

NR = 1
F1 = 0N
F* = 9.5091N

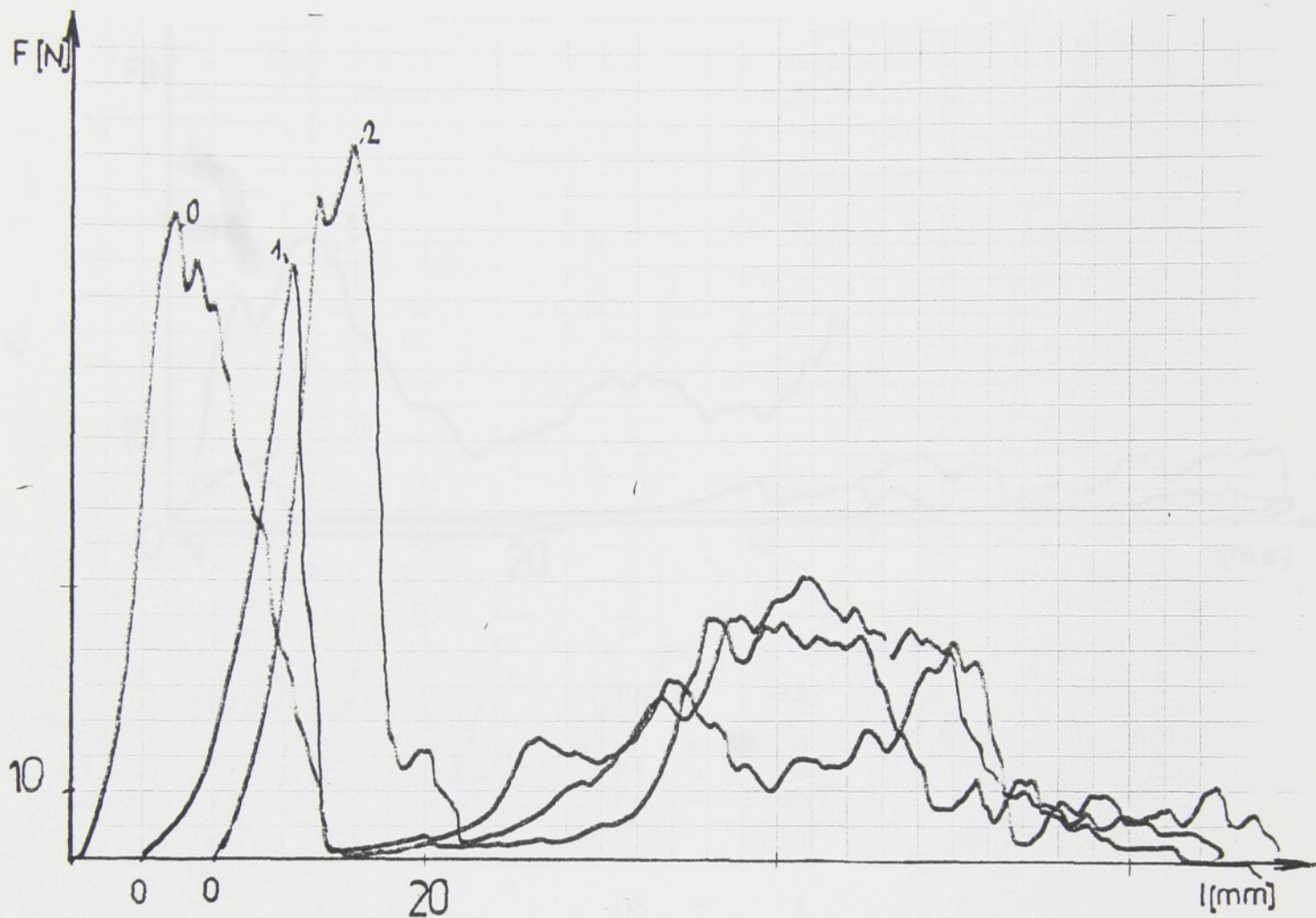
NR = 2
F1 = 0N
F* = 14.479N

KMW: 1KN
DAT1= 33
DIV = 1
LO = 20mm
A1 = 0%

NR = 3

$\bar{x}/F^* = 12.086N$
 $s/F^* = 2.4901N$
 $V/F^* = 20.603\%$
 $P/F^* = 51.150\%$
 $E/F^* = 9.5960N$

skp U/45



DAT1= 34

NR = 0
F1 = 0N
F* = 18.338N

NR = 1
F1 = 0N
F* = 13.055N

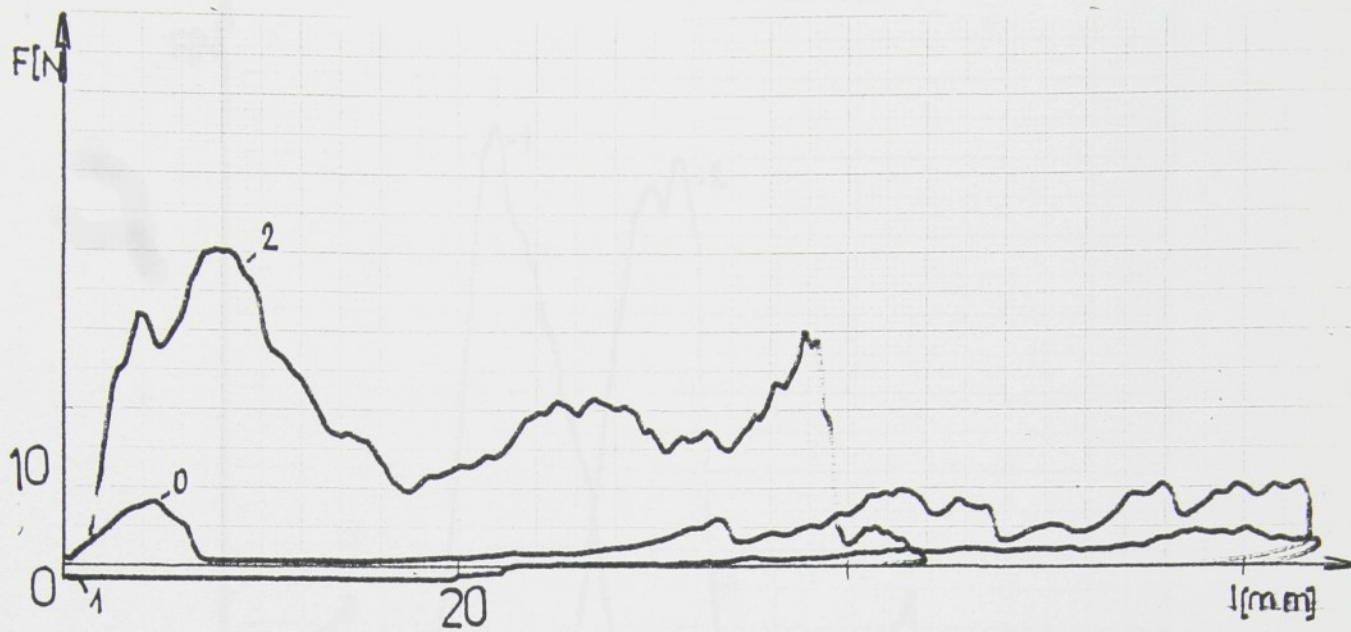
NR = 2
F1 = 0N
F* = 19.844N

KMU: 1KN
DAT1= 34
DIV = 1
L0 = 20mm
A1 = 0%

NR = 3

$\bar{x}/F^* = 17.079N$
 $\bar{s}/F^* = 3.5650N$
 $\bar{v}/F^* = 20.873\%$
 $\bar{p}/F^* = 51.820\%$
 $\bar{e}/F^* = 13.514N$

skp0/Ú



DAT1= 32

NR = 0
F1 = 0N
F* = 9.3785N

NR = 1
F1 = 0N
F* = 3.5061N

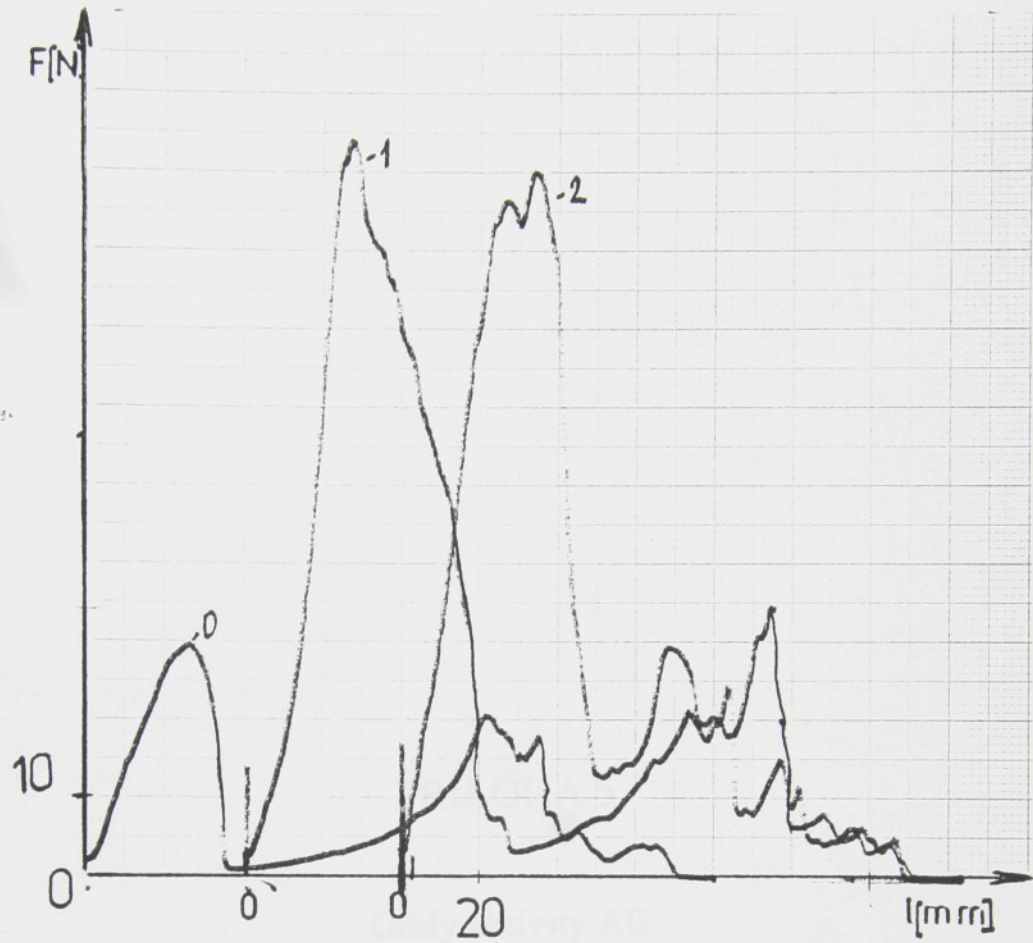
NR = 2
F1 = 0N
F* = 17.486N

KMW: 1KN
DAT1= 32
DIV = 1
L0 = 20mm
A1 = 0%

NR = 3

$\Sigma F^* = 10.121N$
 $\sigma F^* = 7.0204N$
 $V F^* = 69.364\%$
 $P F^* = 172.20\%$
 $E F^* = 3.1007N$

sk₀U/U



DAT1= 35

NR = 0
F1 = 0N
F* = 7.0609N

NR = 1
F1 = 0N
F* = 19.616N

NR = 2
F1 = 0N
F* = 23.924N

KMW: 1KN
DAT1= 35
DIV = 1
LO = 20mm
A1 = 0%

NR = 3

$\bar{x}/F^* = 16.867N$
 $s/F^* = 8.7615N$
 $V/F^* = 51.943\%$
 $P/F^* = 128.95\%$
 $E/F^* = 8.1057N$



PRÍLOHA 5

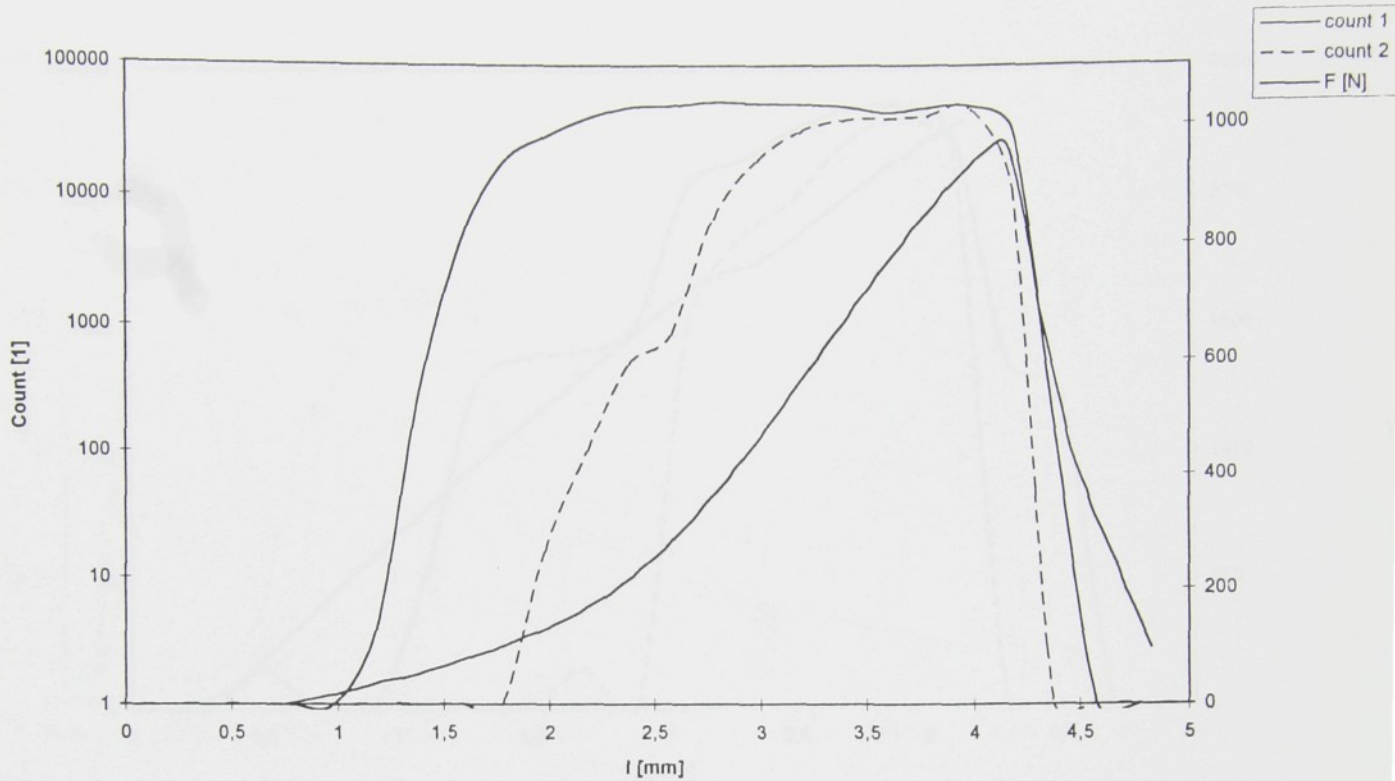
Grafy aktivity AE

Graf aktivity AE v ročníku Q-4

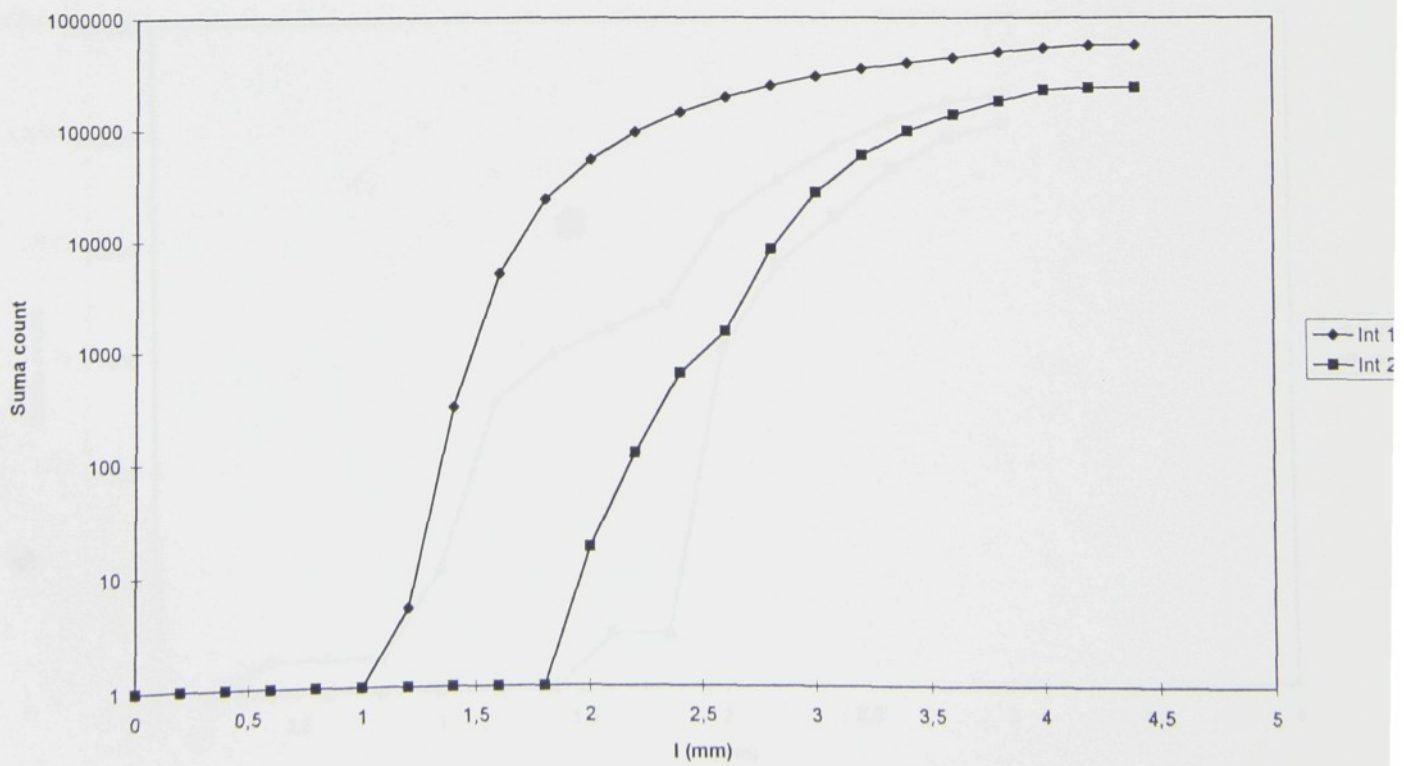
Počet listov : 14



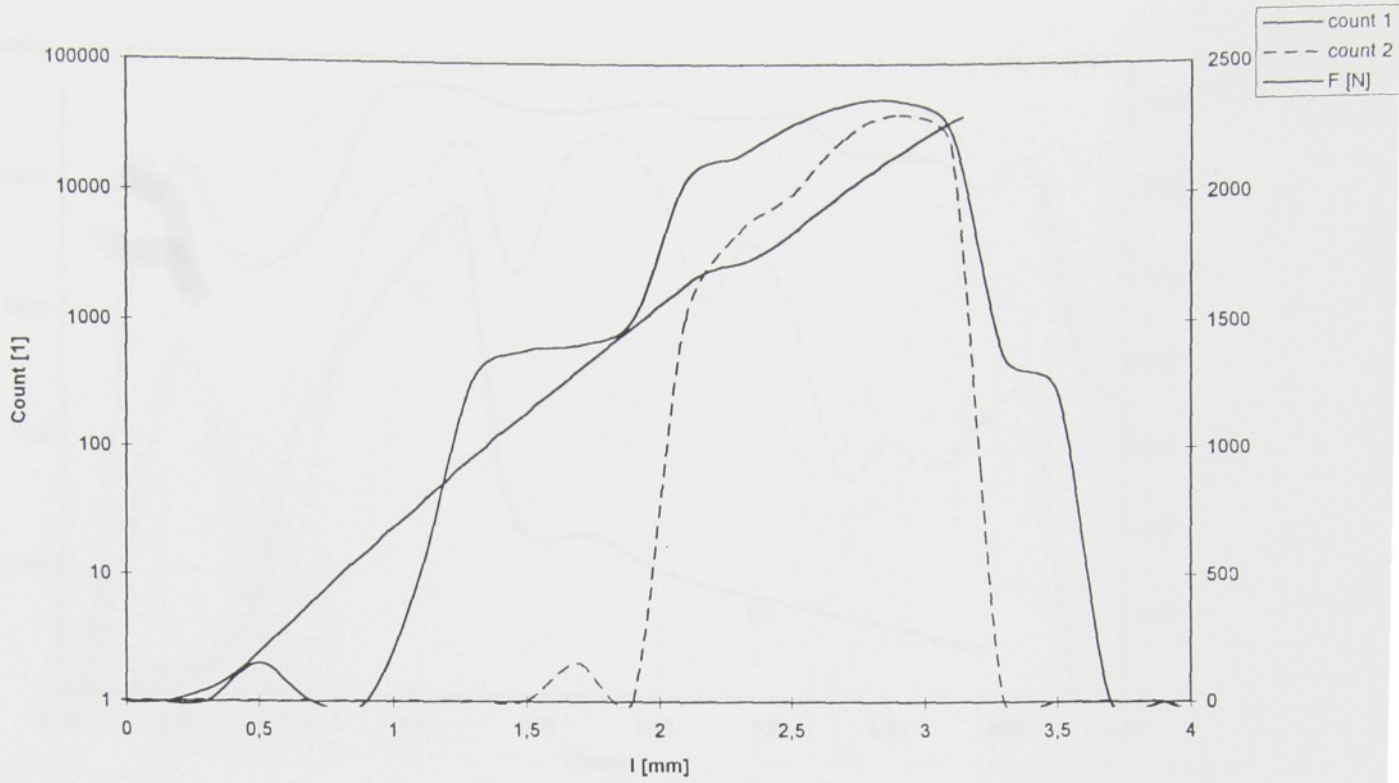
Graf aktivty AE u vzorku O-3



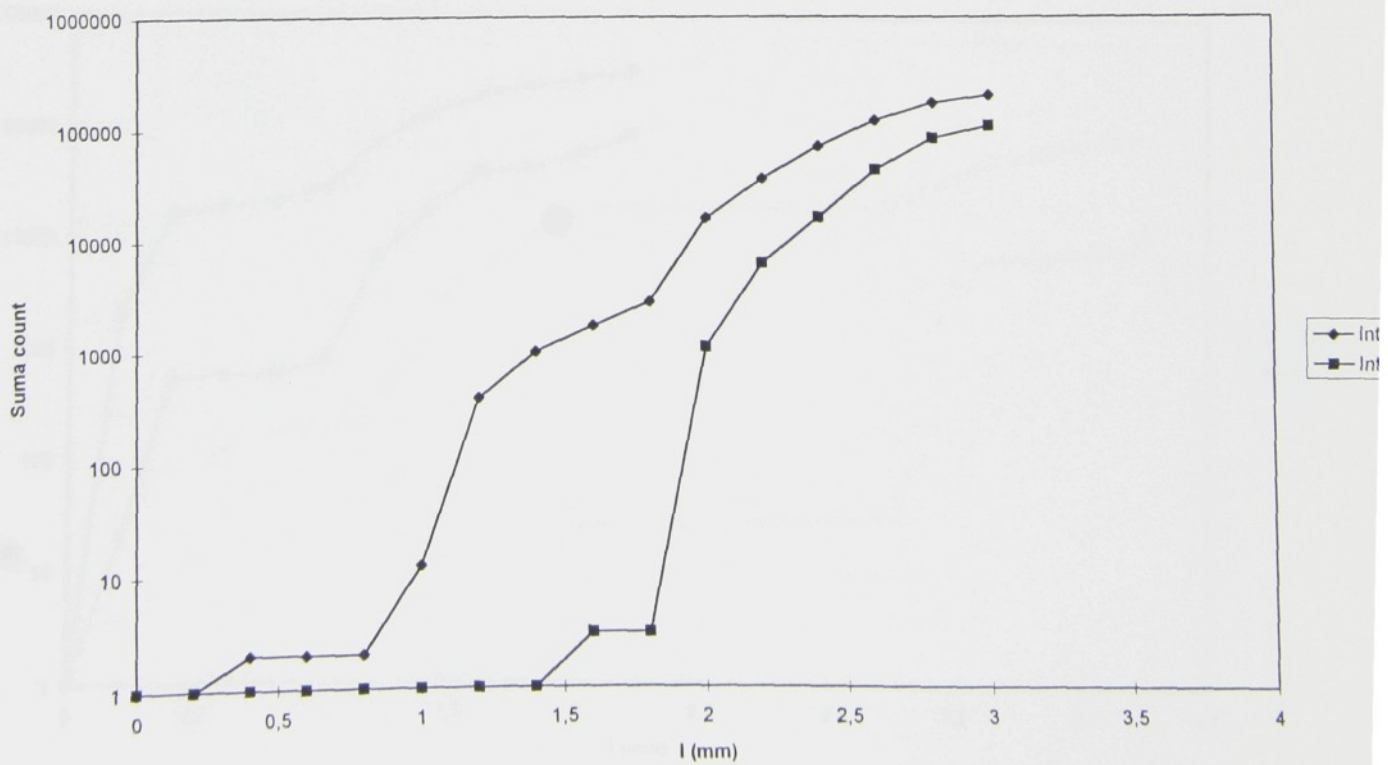
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku O-3



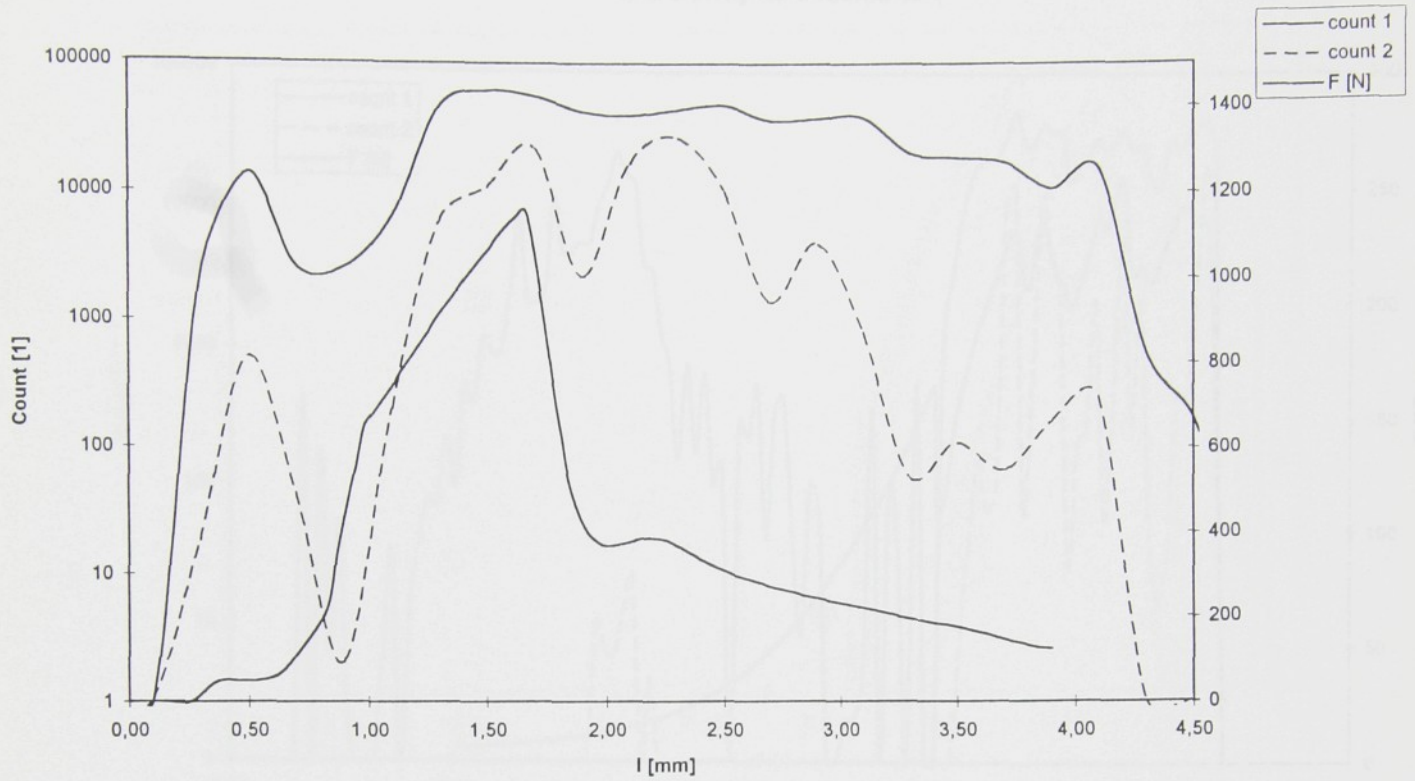
Graf aktivity AE u vzorku O-6



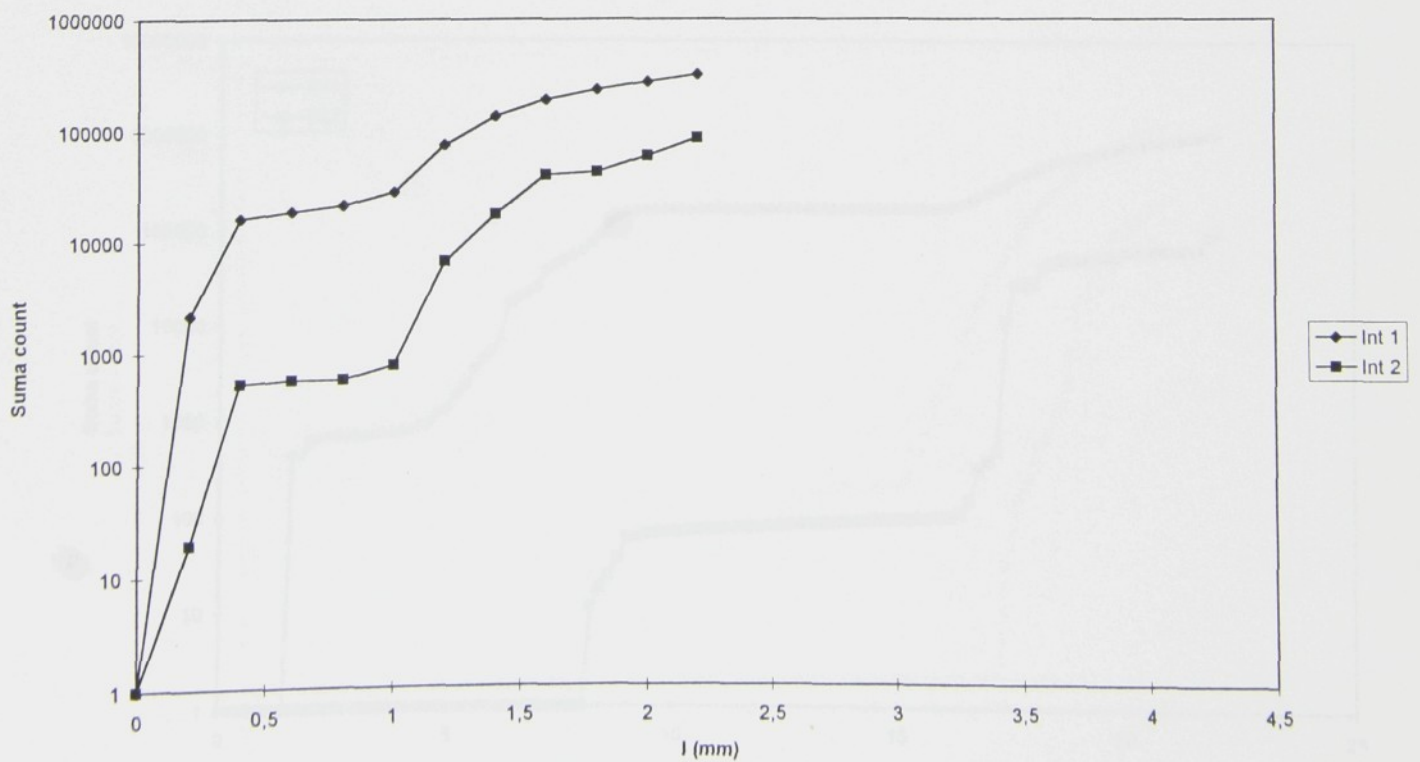
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku O-6



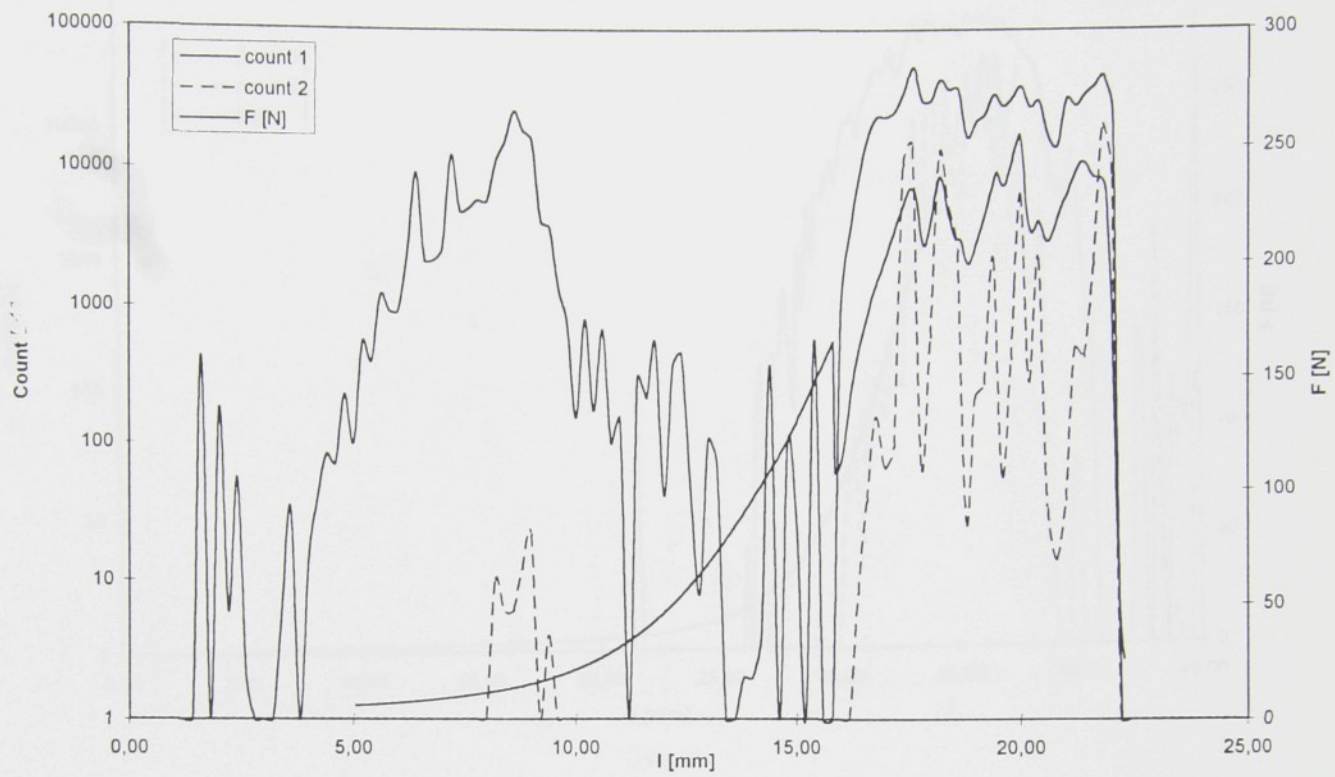
Graf aktivity AE u vzorku O-9



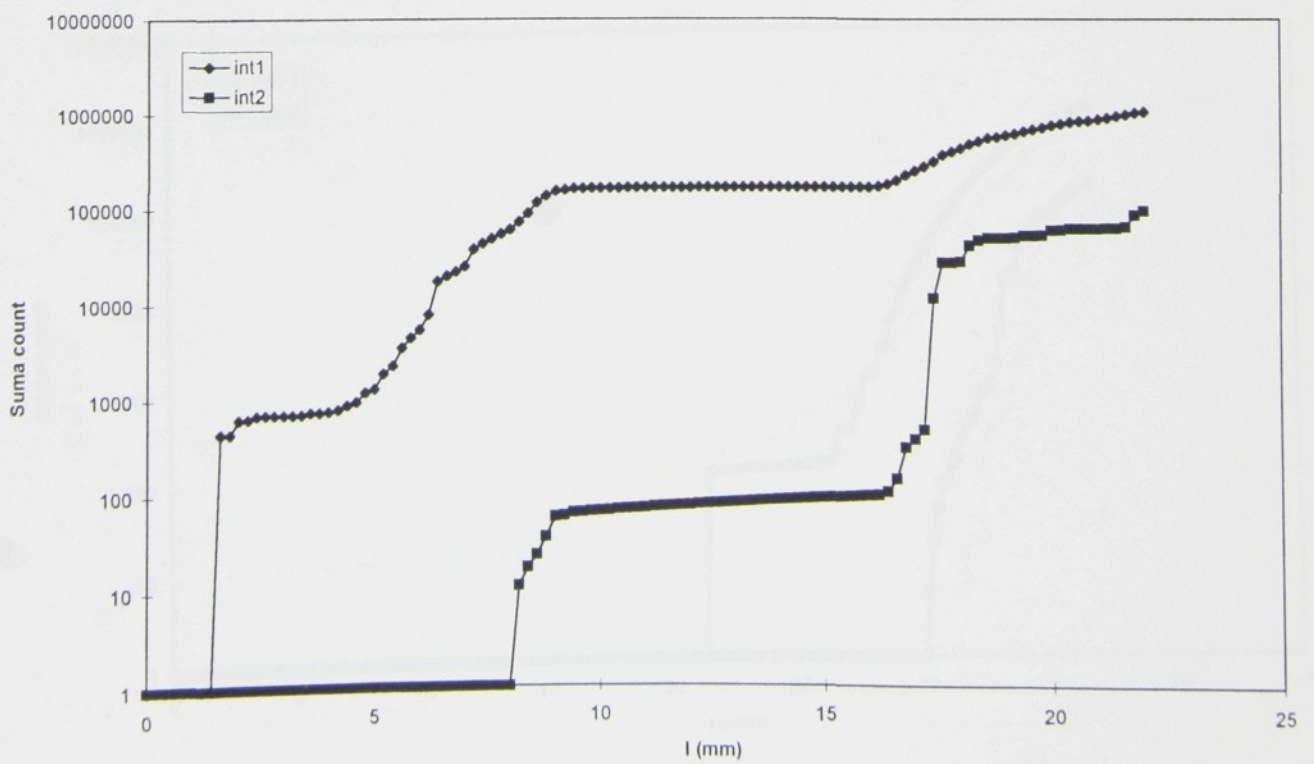
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku O-9



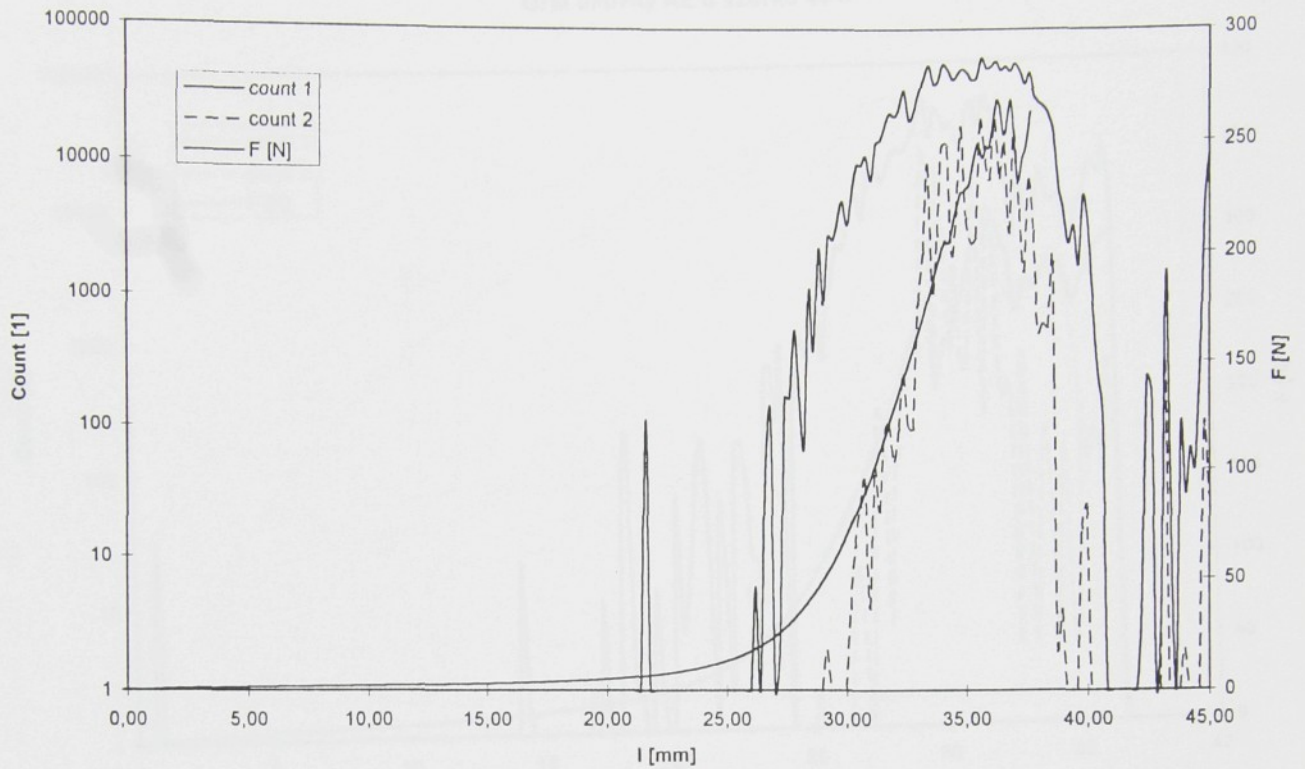
Graf aktivity AE u vzorku 45-1



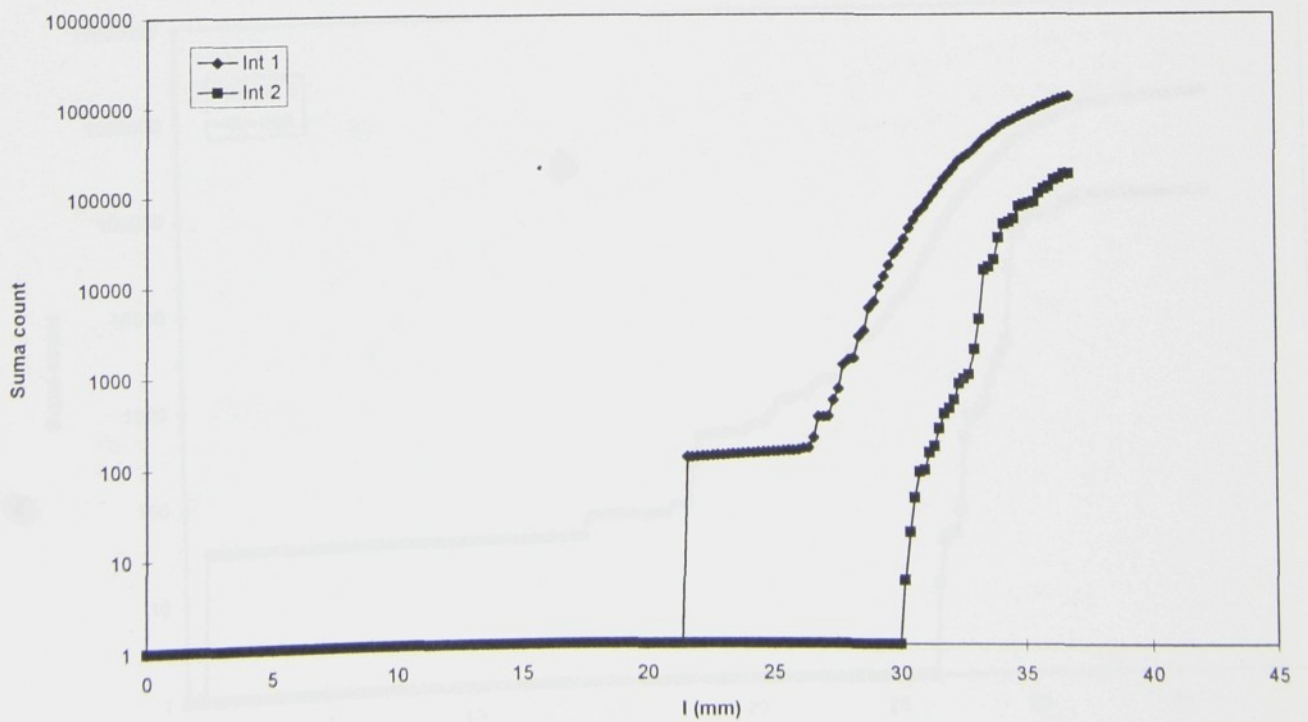
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku 45-1



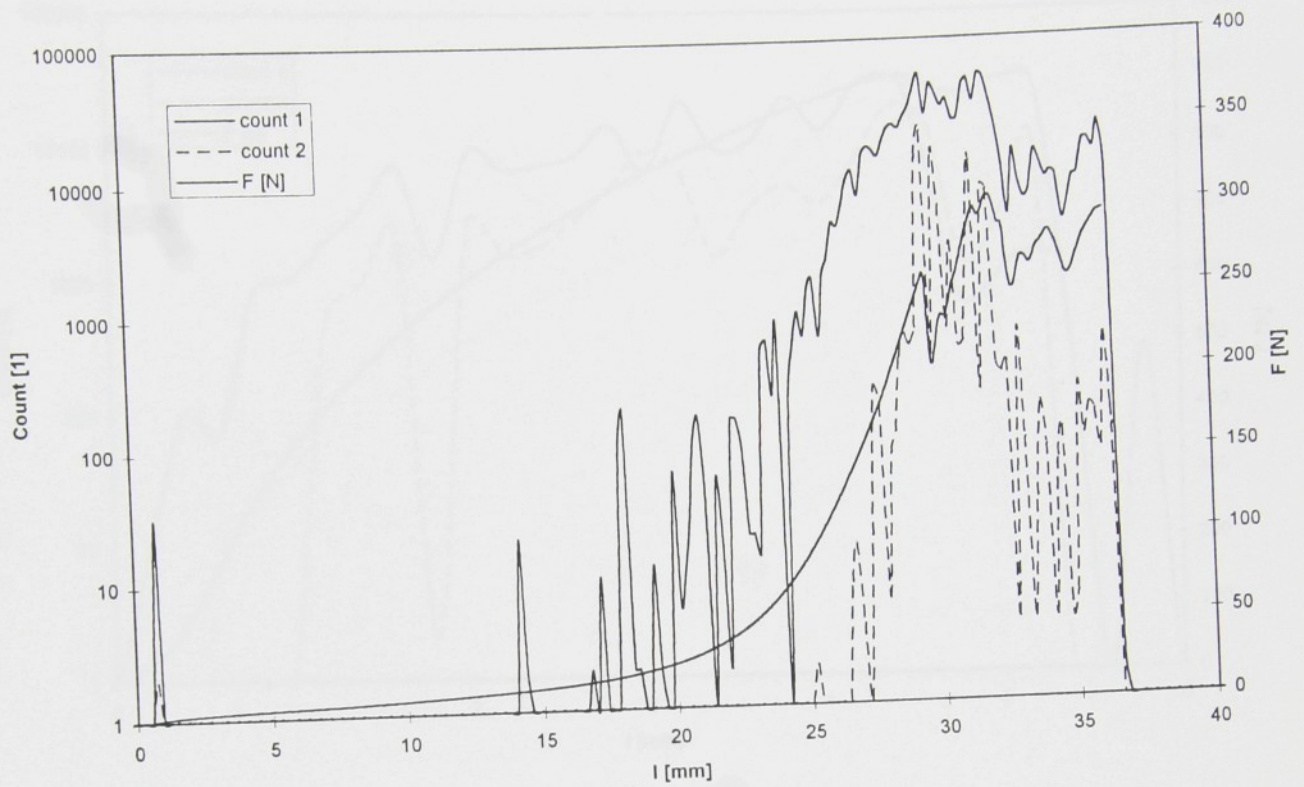
Graf aktivity AE u vzorku 45-2



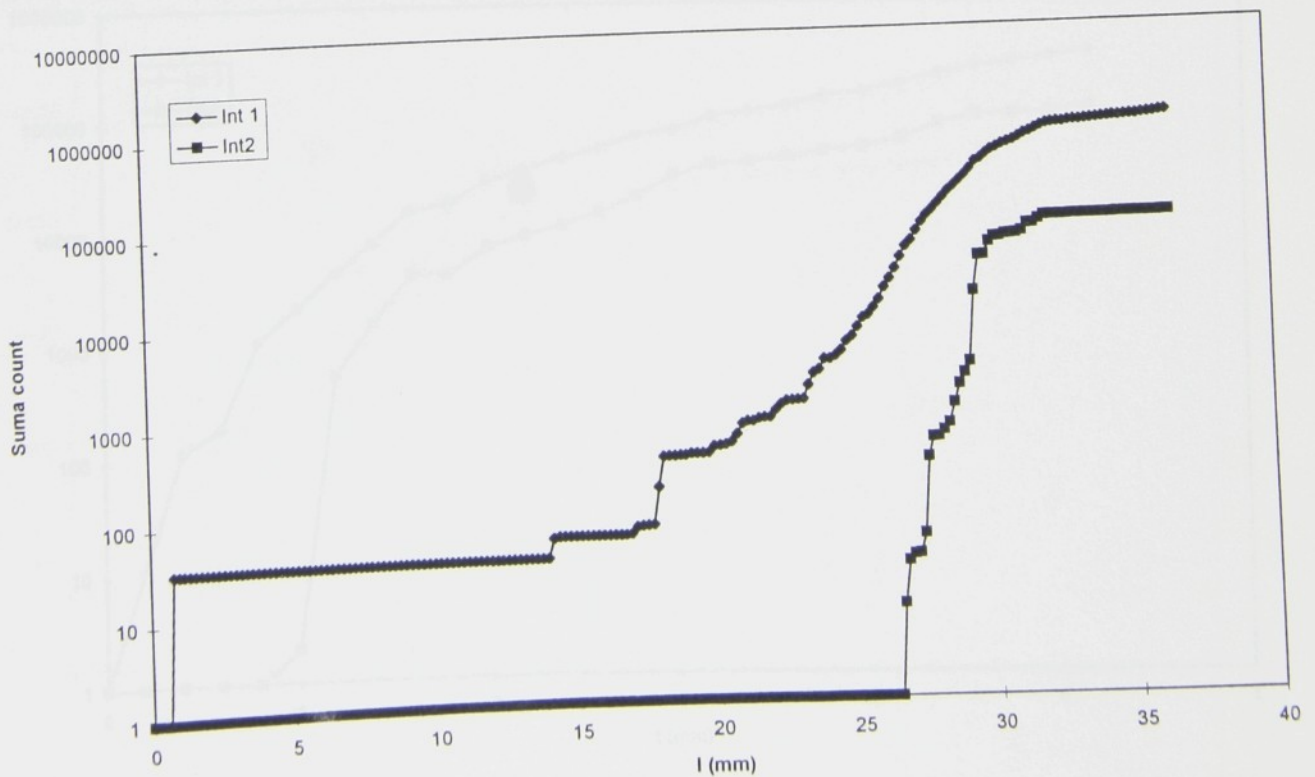
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku 45-2



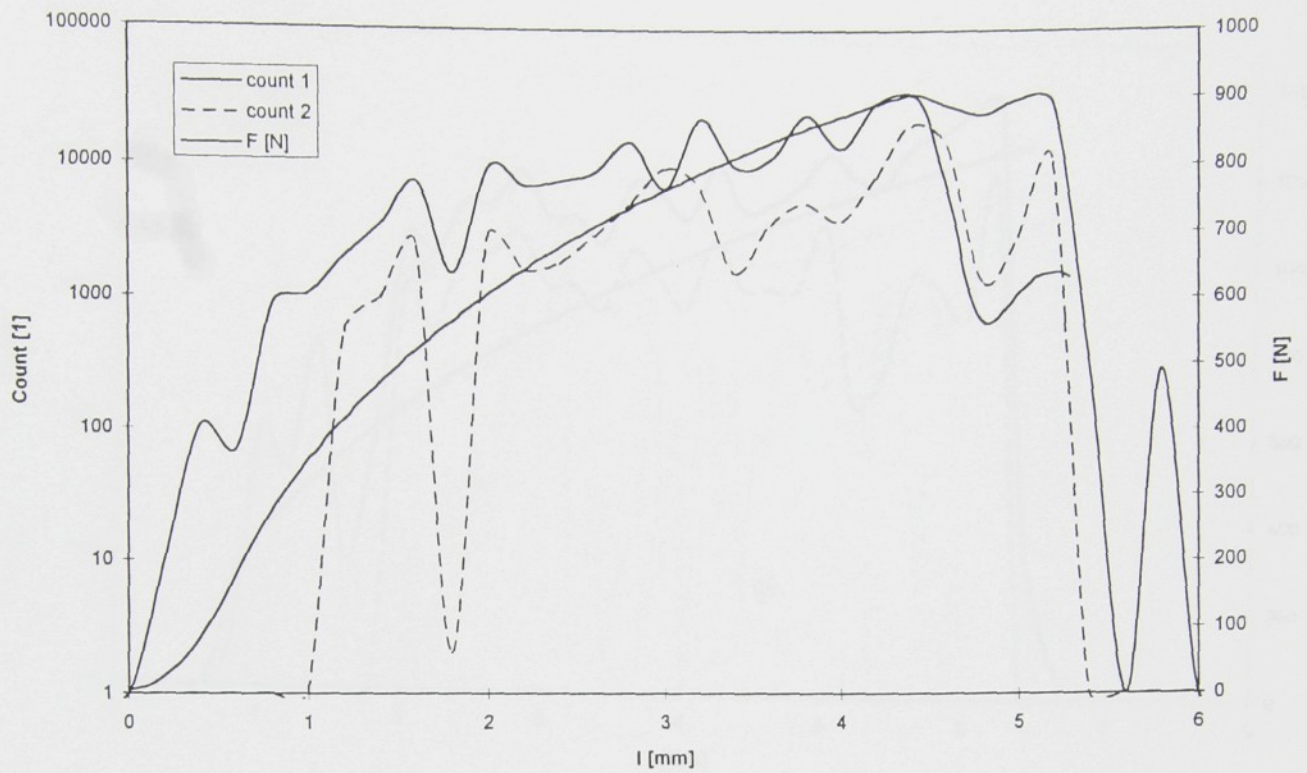
Graf aktivity AE u vzorku 45-3



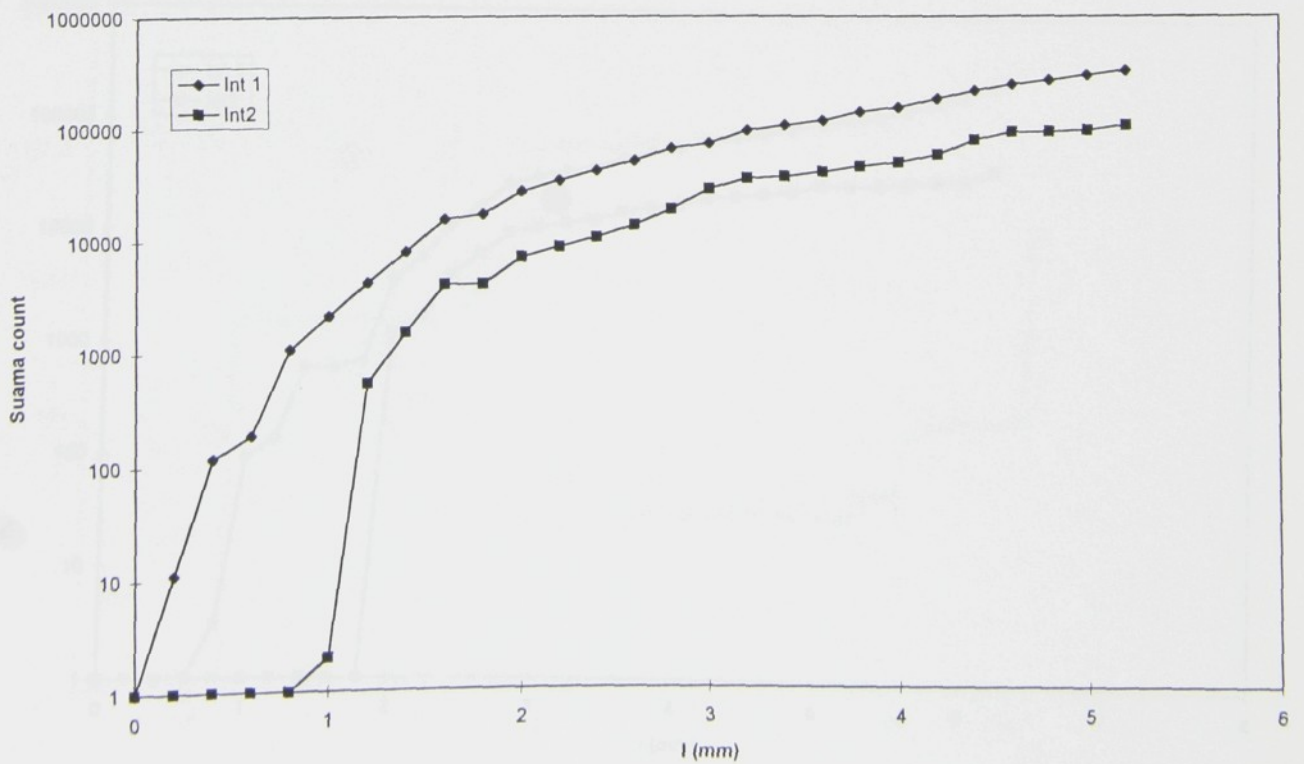
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku 45-3



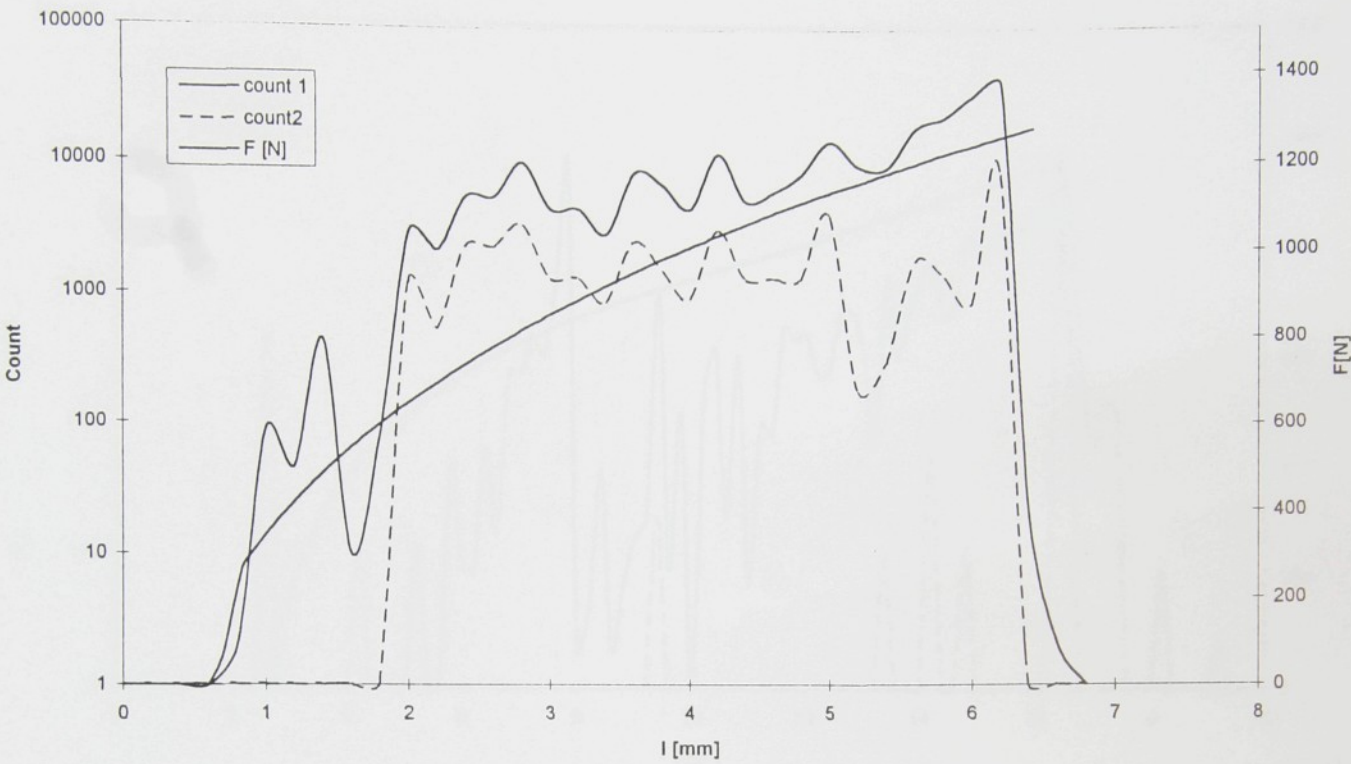
Graf aktivty AE 45-4



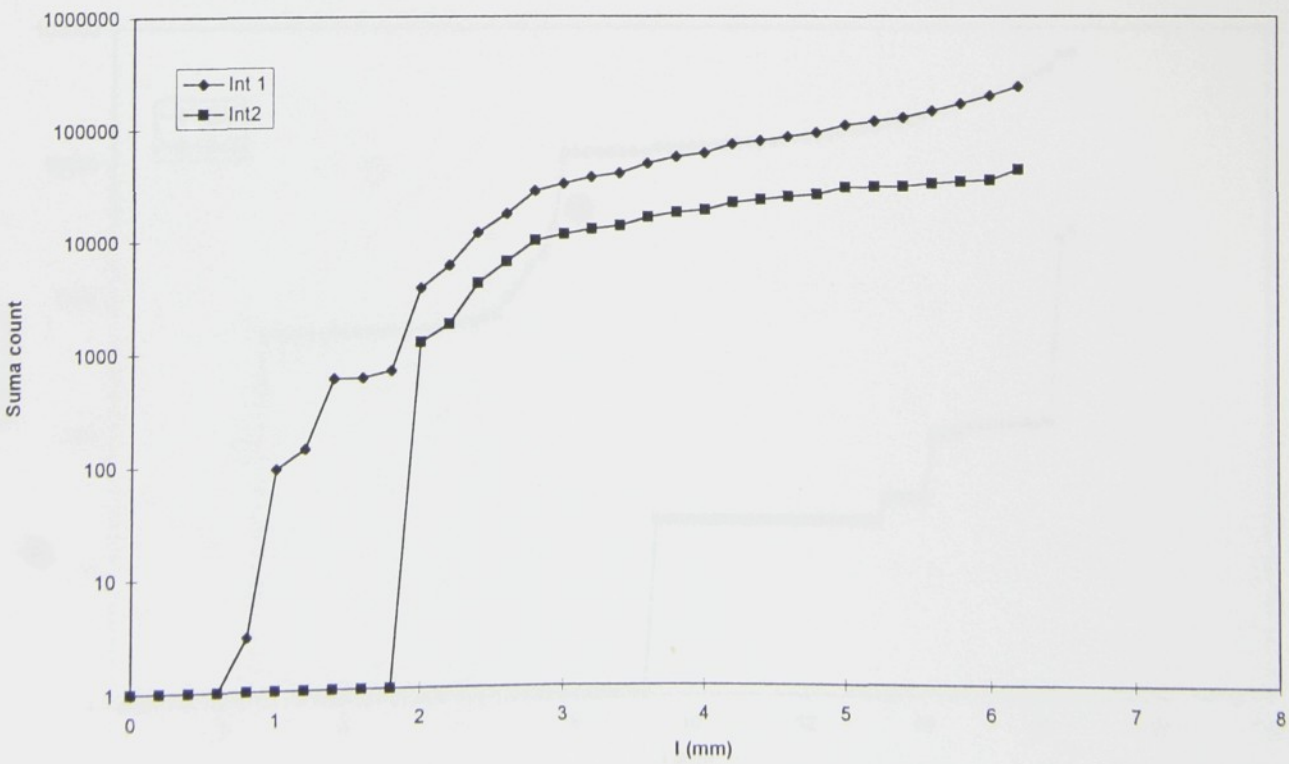
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku 45-4



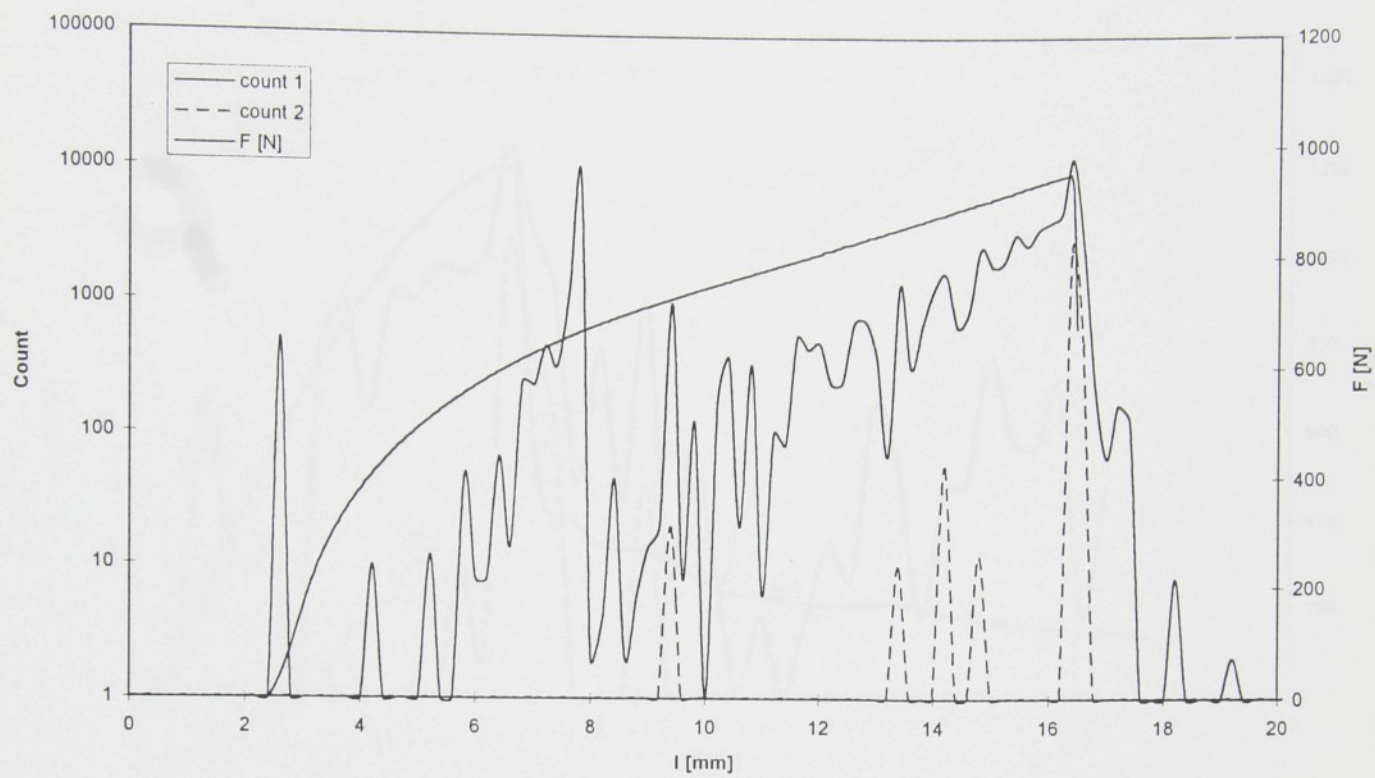
Graf aktivity AE u vzorku 45-5



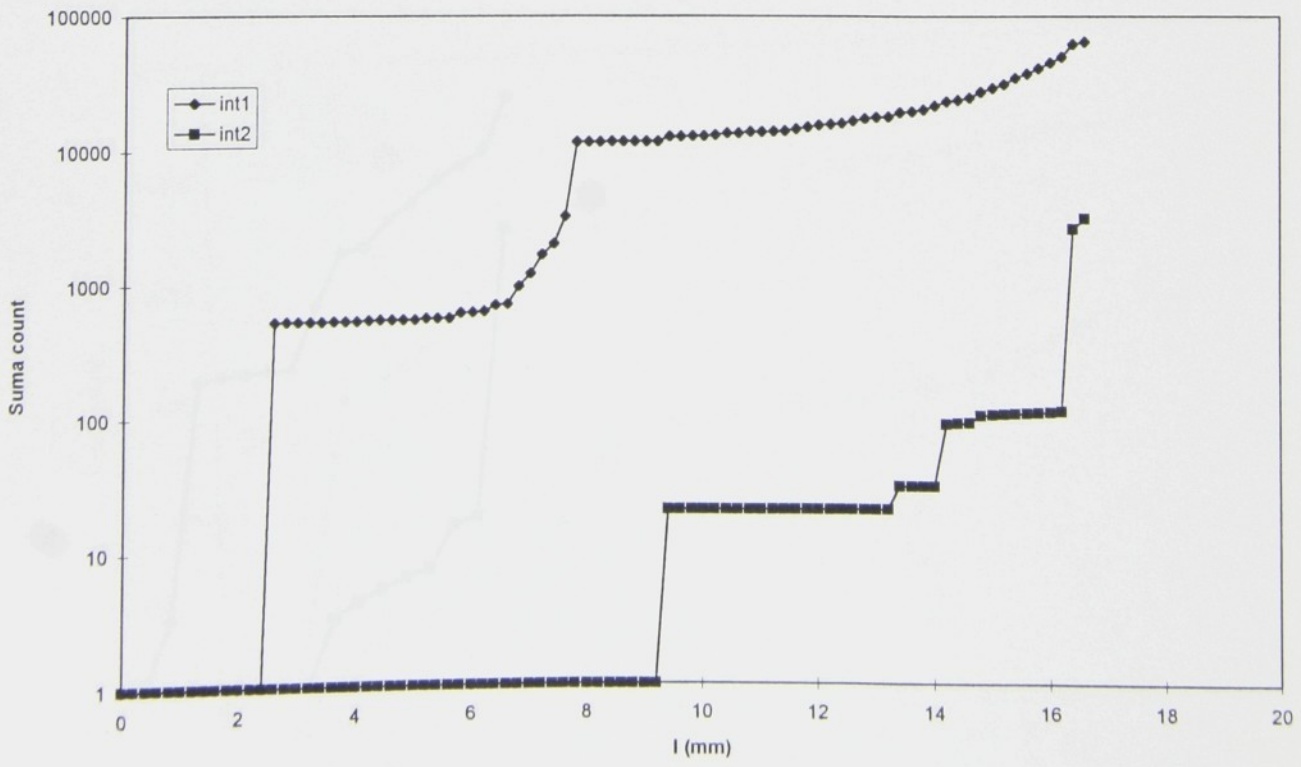
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku 45-5



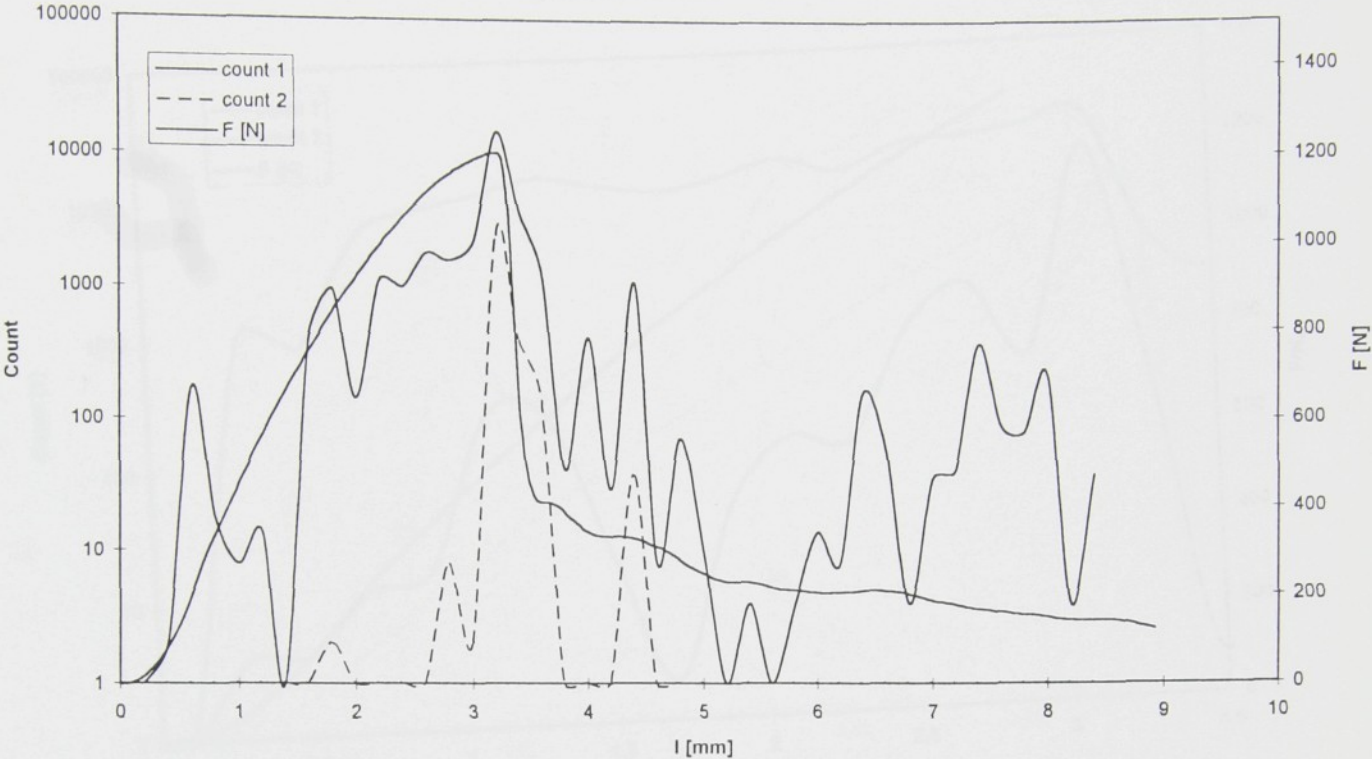
Graf aktivity AE u vzorku 45-6



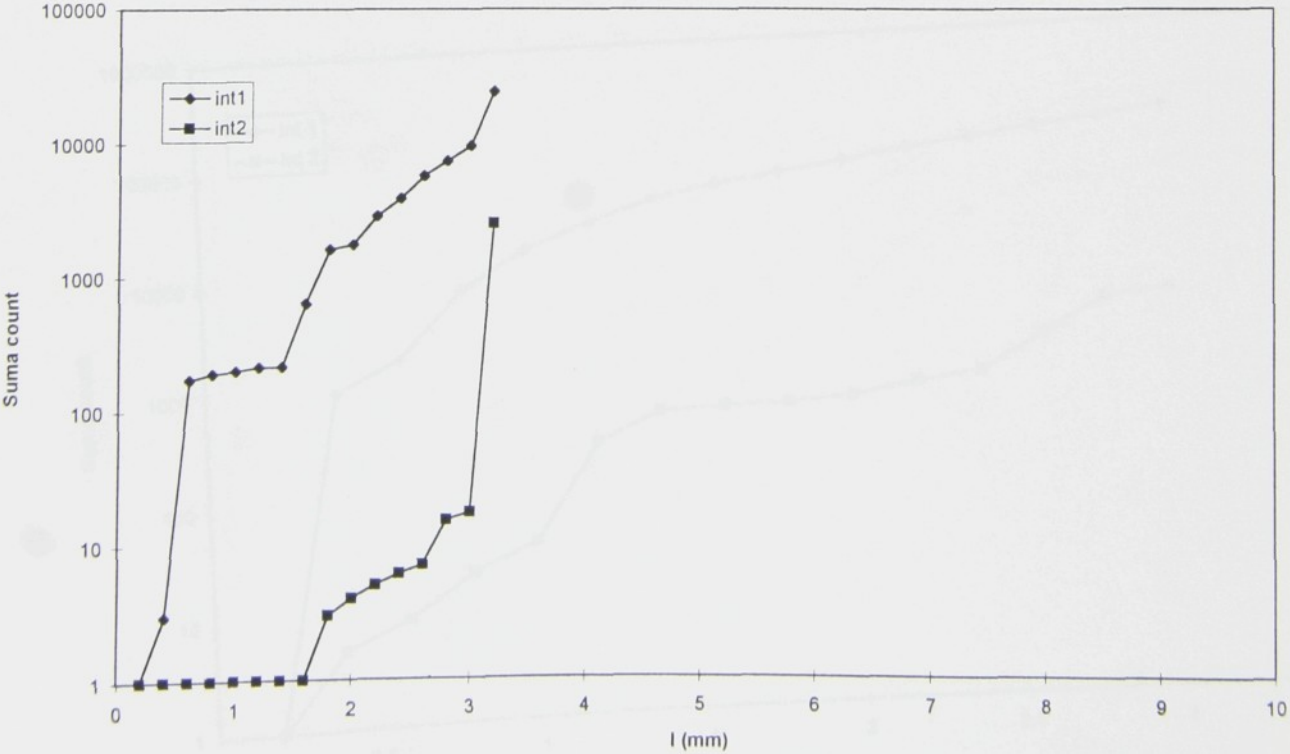
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku 45-6



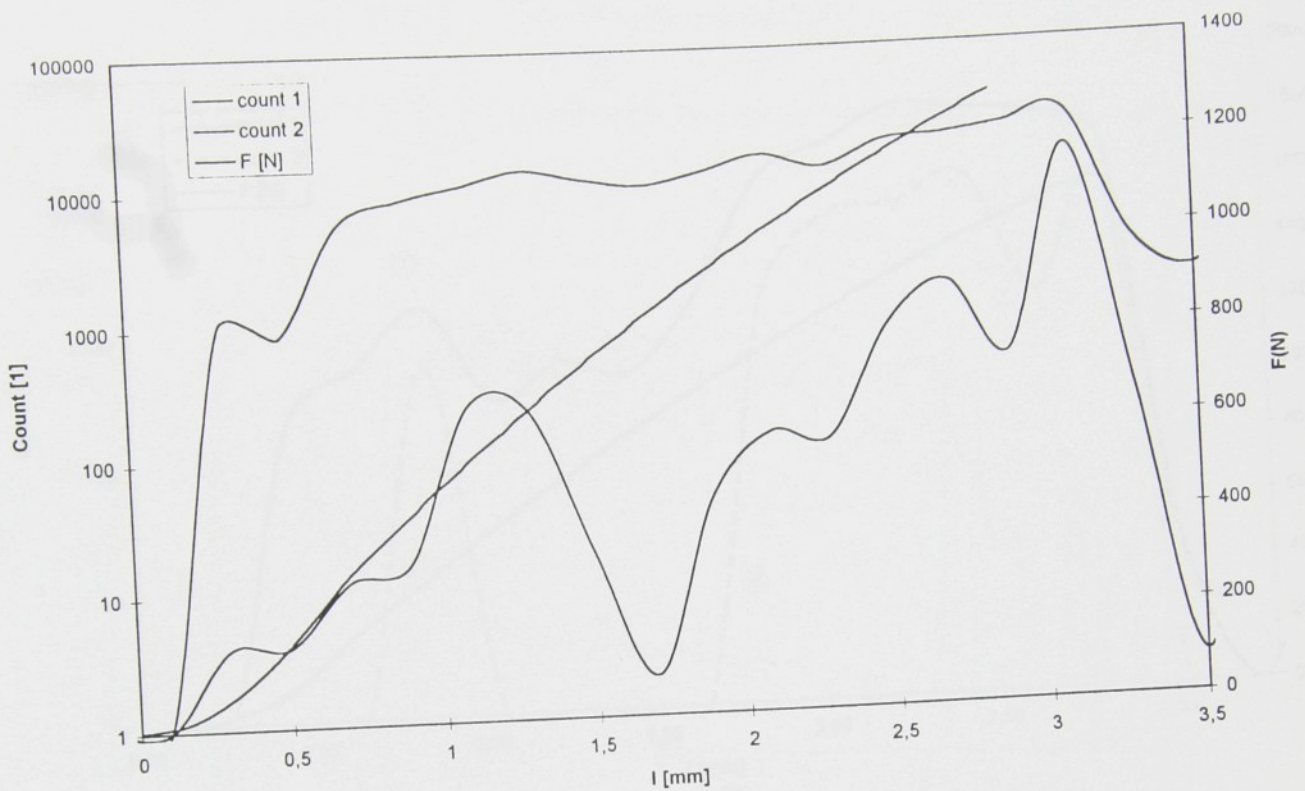
Graf aktivity u vzorku 45-7



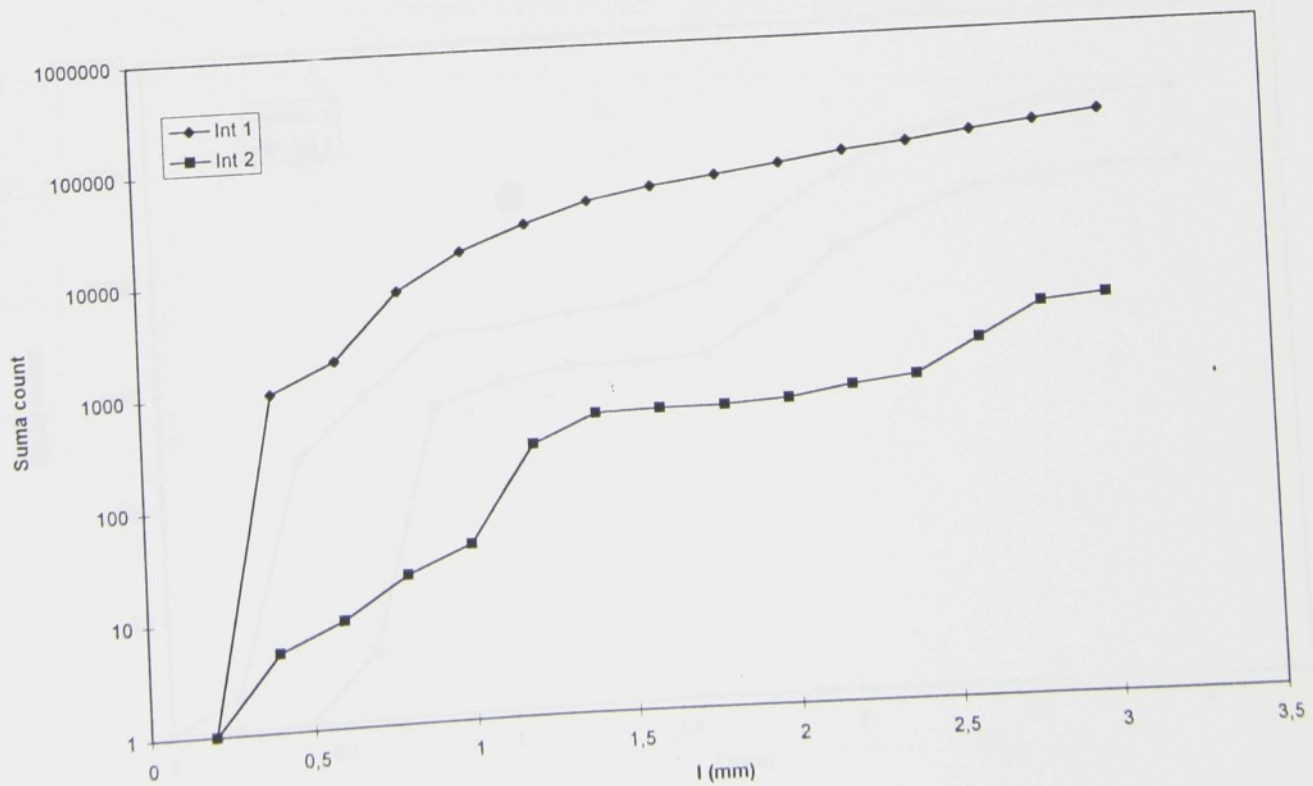
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku 45-7



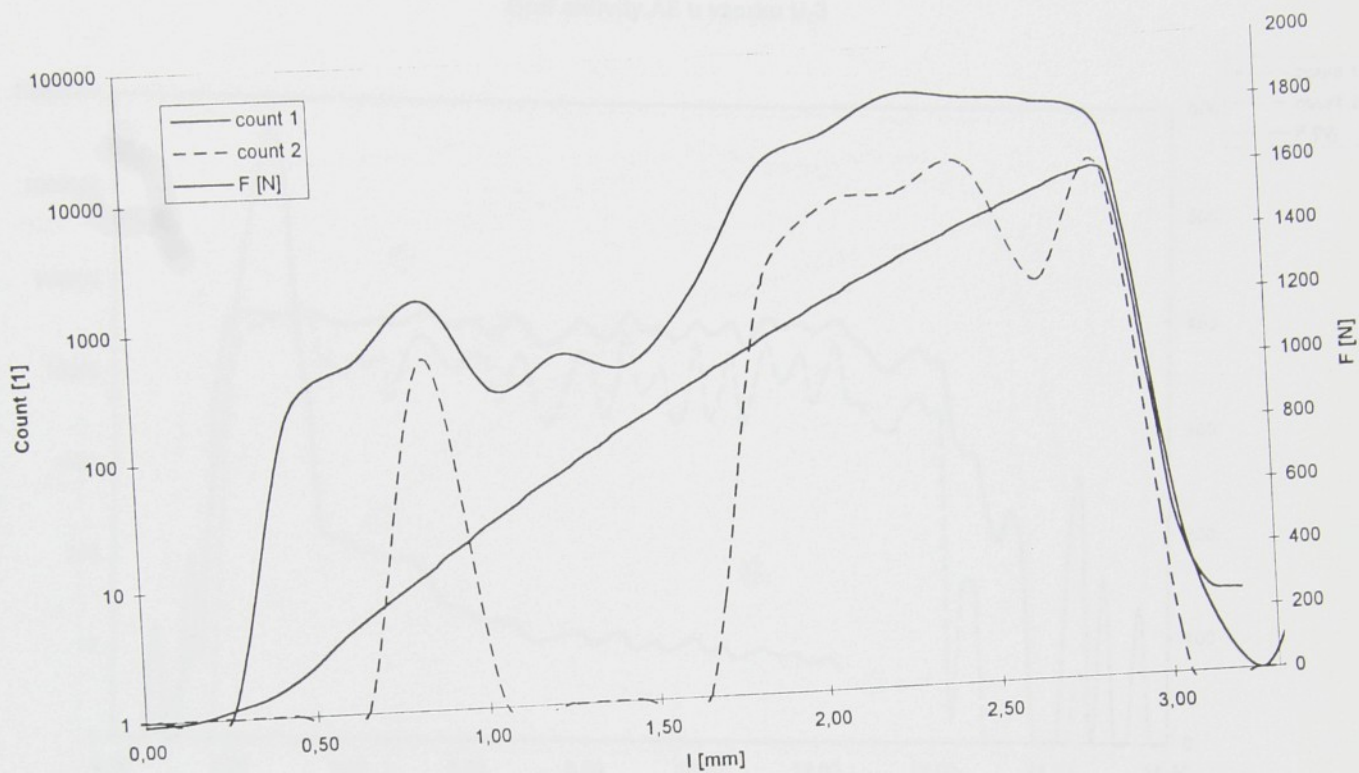
Graf aktivity AE u vzorku 45-8



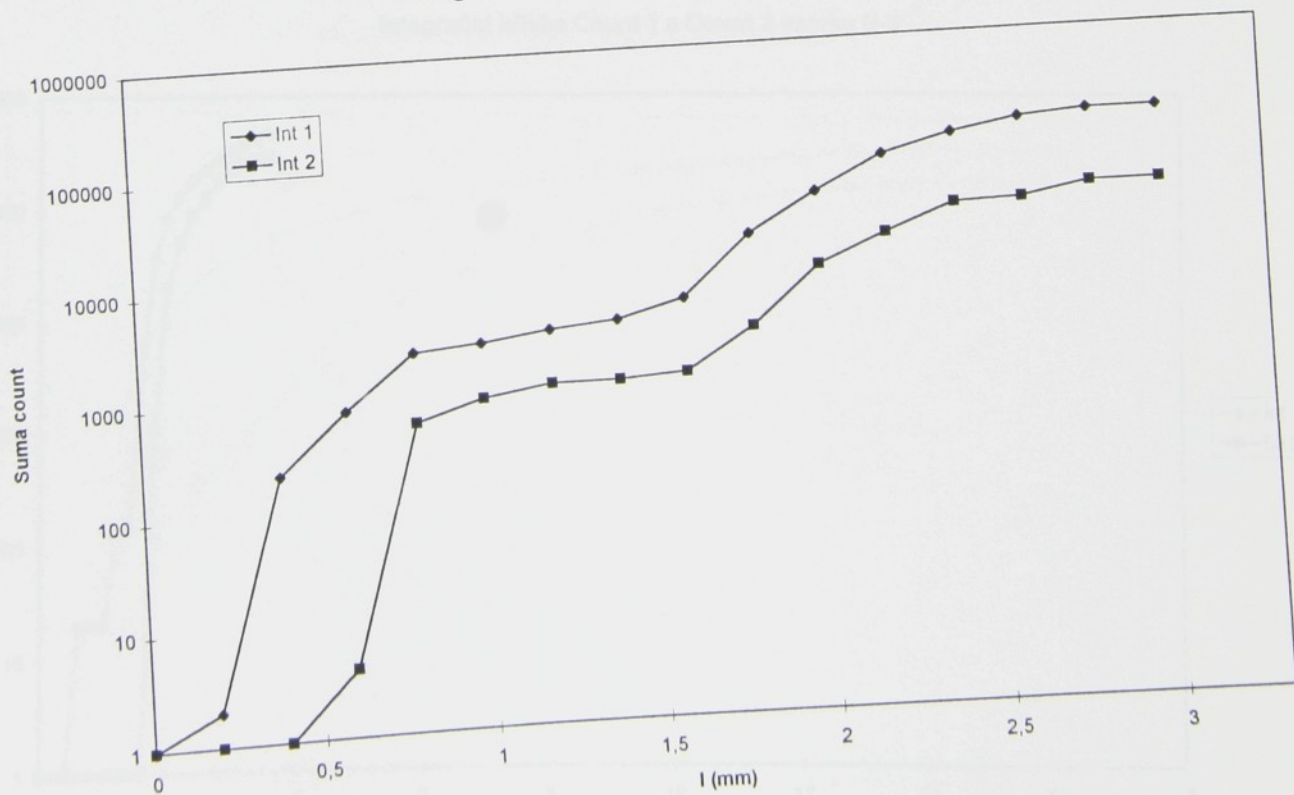
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku 45-8



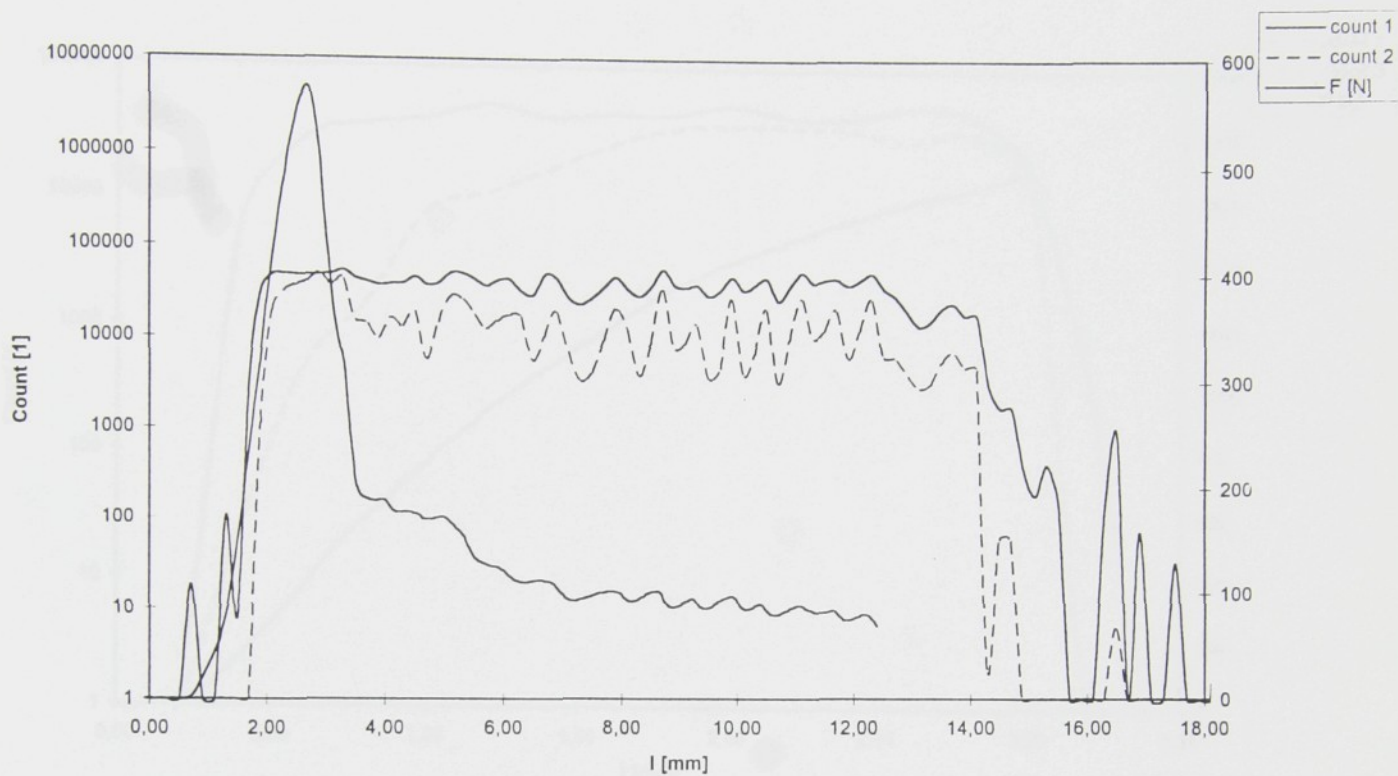
Graf aktivity AE u vzorku 45-9



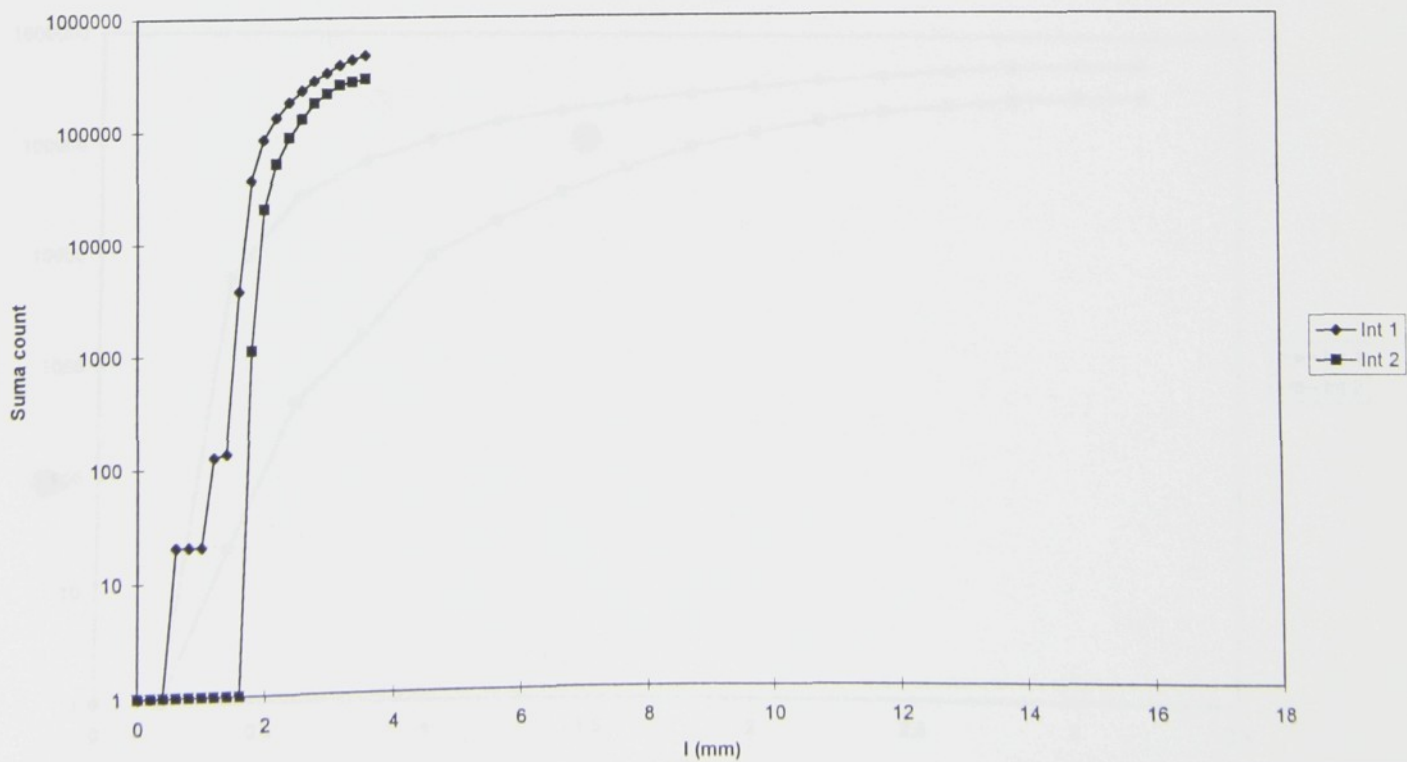
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku 45-9



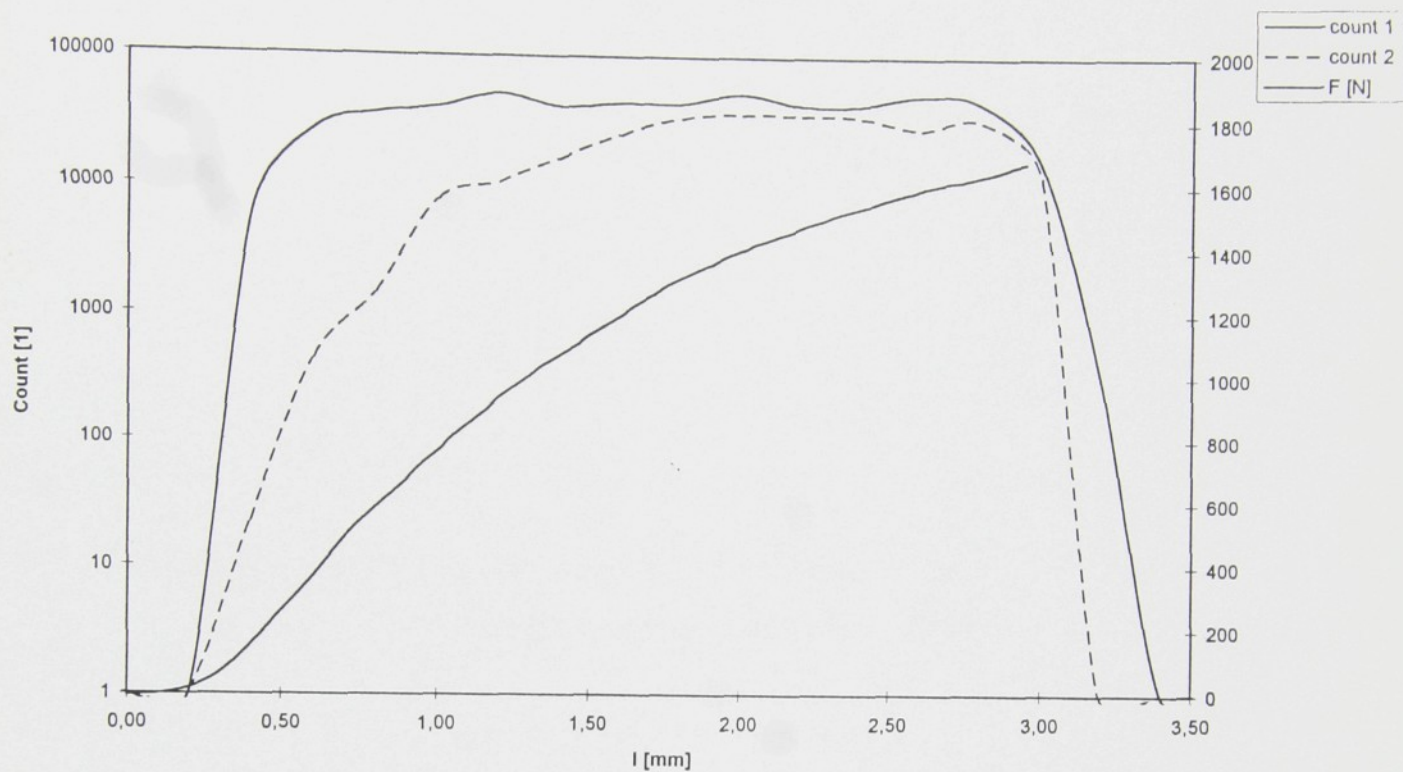
Graf aktivity AE u vzorku U-3



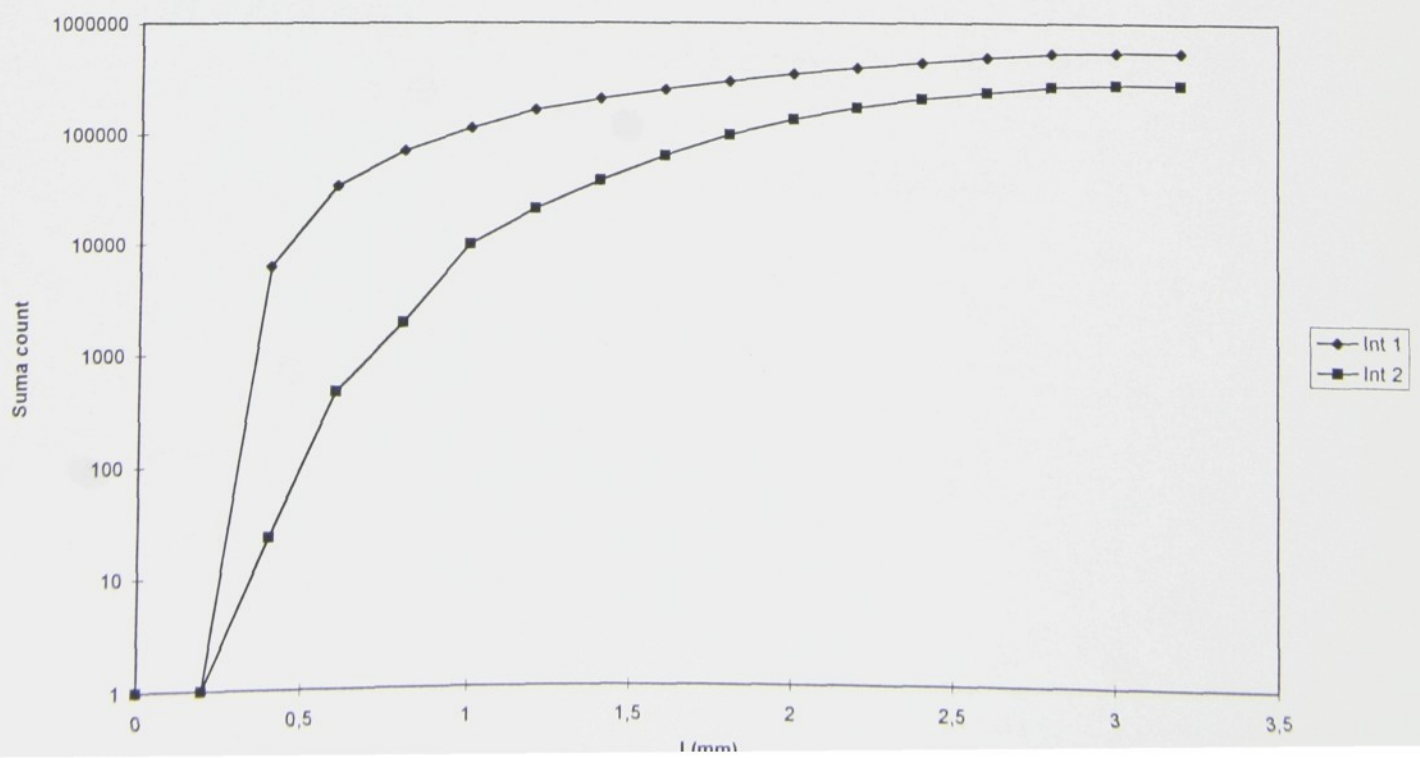
Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku U-3



Graf aktivity AE u vzorku U-6



Integrační křivka Count 1 a Count 2 vzorku U-6



PRÍLOHA 6

Modelový výpočet adheznei energie

Počet listov : 1

MODELOVÝ VÝPOČET DEFORMAČNEJ PRÁCE :

Modul m_y [mm / N] : z grafu na ose y 41.5 mm m_y
zistené z výsledkov 332.2 N 1 N

$$m_y = 41.5 / 332.2 = 0.125 \text{ mm / N}$$

m_x [mm / m] : z grafu na ose x 25 mm m_x
zistené z výsledkov 21 % 1000 mm
upínacia dĺžka 40 mm 21% zo 40 mm = 16.2 mm

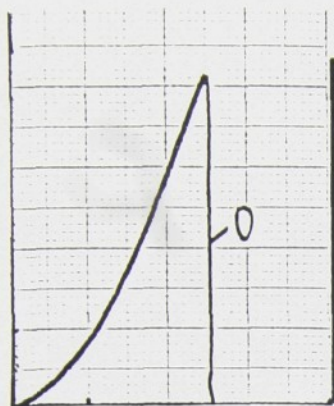
$$m_x = 1000 \times 25 / 16.2 = 1\,543.2 \text{ mm / m}$$

Deformačná práca :

$$A \text{ [J]} = S \text{ [mm}^2\text{] } / m_x \text{ [mm / m] } \times m_y \text{ [mm / N]}$$

$$A = 375 / (0.125 \times 1\,543.2) = \underline{1.94 \text{ [J]}}$$

VZOROVÝ VÝPOČET DEFORMAČNĚJ PRÁCE :



DAT1=	14
NR	= 0
TH	= 3.1600s
FE	= 332.2N
EB	= 300.8N
FH	= 332.2N
AE	= 21%
AH	= 21%
AB	= 21.25%

m_y [mm/N]: z grafu na ose y
41,5 mm

zistené z výsledkov
332,2 N
1N

$$m_y = \frac{41,5}{332,2} = 0,125 \text{ mm/N}$$

m_x [mm/m]: z grafu na ose x
25 mm

zistené z
výsledkov
21%

upínacia dĺžka
40 mm

21% zo 40 mm = 8,2 mm

$$m_x = \frac{1000 \cdot 25}{8,2} = 2975,2 \text{ mm/m}$$

DEFORMAČNÁ PRÁCA :

$$A [J] = \frac{S [\text{mm}^2]}{m_x [\text{mm/m}] \cdot m_y [\text{mm/N}]}$$

$$A = \frac{8}{0,125 \cdot 2975,2} = 0,0215 = 2,15 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$