

UNIVERZA V LJUBLJANI  
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA TEKSTILSTVO

## **MEHANSKE LASTNOSTI**

Vaja 3

Ljubljana, november 2003

## KAZALO:

1 Uvod	1
2 Opis metod	1
2.1 Razpočna odpornost	1
2.1.1 Postopek določitve	2
2.1.2 Enačba potrebna za izračun	2
2.2 Raztržna odpornost	2
2.2.1 Postopek določitve	2
2.2.2 Enačba potrebna za izračun	3
2.3 Sila utrga (utržna jakost), raztezek in utržna dolžina	3
2.3.1 Postopek določitve	3
2.3.2 Enačba potrebna za izračun	4
2.4 Raztržna odpornost	5
2.4.1 Postopek določitve	5
3 Vrednosti meritev in izračunane vrednosti	6
3.1 Razpočna odpornost	6
3.2 Pregibna in raztržna odpornost	6
3.3 Sila utrga (utržna jakost), raztezek in utržna dolžina	7
4 Grafi	9
4.1 Razpočna trdnost	9
4.2 Raztržna trdnost	9
4.3 Utržna trdnost	10
4.4 Utržna dolžina	10
4.5 Raztezek	11
4.6 Pregibna odpornost	11
5 Komentar	14
6 Zaključek	15

## 1 UVOD

Metode določitve mehanskih lastnosti papirja:

- Razpočna odpornost
- Raztržna odpornost
- Sila utrga (utržna sila), raztezek in utržna dolžna
- Pregibna odpornost

Razpočna odpornost nam pove, kolikšen tlak, ki narašča z določeno hitrostjo, je potreben za preboj papirja. Meritev razpočne odpornosti je kombinacija mehanske jakosti in odpornosti ter je v tesni povezavi z utržno jakostjo. Ta nam namreč pove, kolikšna sila je potrebna, da se pretrga 15 milimetrov širok preizkušanelec. Raztržna odpornost papirja je odvisna od gramature, dolžine vlaken, medvlakenske povezave in fleksibilnosti lista vzorca.

Pregibna odpornost pa je lastnost, ki določa mehansko jakost in elastičnost papirja. Mehanska jakost in povezanost vlaken v strukturi papirja se znižuje v odvisnosti od naraščajočega števila pregibov in je tako kot razpočna odpornost v tesni povezavi z utržno jakostjo.

## 2 OPIS METOD IN POSTOPKOV

### 2.1 RAZPOČNA ODPORNOST

**Razpočna odpornost** ( $P$ ) je merjena kot največji hidrostatični tlak (enota kPa), ki enakomerno razporejen v vseh smereh povzroči prebijanje preizkušanca.

**Razpočni indeks** ( $X_{(\text{razpočni indeks})}$ ) je razpočna odpornost, izražena z razmerjem z gramaturo.

**Razpočna odpornost** se podaja kot aritmetična sredina meritev, izmerjenih na zgornji in spodnji strani preizkušanca.

### 2.1.1 Postopek določitve

Iz vzorca izrežemo najmanj deset preizkušancev z dimenzijami A5 formata za vsako stran posebej. Preizkušanec vstavimo med prstana in s pomočjo črpalke izbočimo membrano, ki nato povzroči razpok preizkušanca. Odčitamo vrednost tlaka na skali manometra z natančnostjo 0,5 enote.

### 2.1.2 Enačba potrebna za izračun

*Razpočni indeks:*

$$X_{(razpočni)} = \frac{P[kPa]}{G[g/m^2]}; [kPam^2 / g]$$

## 2.2 RAZTRŽNA ODPORNOST

**Raztržna odpornost** papirja je srednja vrednost sile v N, ki je potrebna za nadaljnje trganje že zarezanega lista papirja.

**Raztržni indeks** (X) je količnik med raztržno odpornostjo in gramaturo.

### 2.2.1 Postopek določitve

Preizkušanje poteka posebej za vzdolžno in posebej za prečno smer teka vlaken. Vzorce režemo tako, da so v setu po štirje preizkušanci skupaj (dimenzije: dolžina 53 mm, širina 63 mm). Za vsako smer teka vlaken izrežemo 10-krat po štiri preizkušance in pripravimo set le-teh. Meritev se izvaja s setom (izjema je le tedaj, ko preizkušamo vzorec z višjo gramaturo). Set štirih lističev nato vpnemo v čeljusti tako, da je daljša stranica v navpičnem položaju, s sitovimi stranmi obrnjenimi proti nožu. Preizkušance zarečemo z nožem (20 mm), sprostimo nihalo, da prosto zaniha, pri povratnem nihanju pa ga zadržimo z roko. Vrednost na skali odčitamo z natančnostjo 0,5 enote.

### 2.2.2 Enačbe potrebne za izračun

*Raztržna odpornost:*

$$a = s * P; [N]$$

*Raztržni indeks:*

$$X_{(raztržni)} = \frac{a[mN]}{G[g / m^2]}; [mNm^2 / g]$$

### 2.3 SILA UTRGA (UTRŽNA JAKOST), RAZTEZEK IN UTRŽNA DOLŽINA:

**Utržna jakost** ( $F_{15}$ ) je določena s silo, ki je potrebna, da se pretrga preizkušane s širino 15mm. Izražena je v N/15mm.

**Raztezek** ( $\epsilon_{max}$ ) pri pretrgu je razmerje med povečanjem ( $\Delta l$ ) prvotne dolžine preizkušanca ( $l_0$ ) ob pretrgu in prvotno dolžino preizkušanca ( $l_0$ ) in je največji pri maksimalni sili utrga. Raztezek je izražen z enoto %.

**Utržna dolžina** je dolžina preizkušanca papirja določene velikosti, pritrjene tako, da prosto visi in se zaradi lastne teže pretrga v točki pritrditve (enota km). Utržna dolžina je izračunana vrednost.

**Maksimalna utržna jakost** ( $\sigma$ ) je maksimalna sila na enoto širine preizkušanca, s katero se le-ta upira raztezanju neposredno pred pretrgom. Enota za maksimalno utržno jakost je kN/m.

### 2.3.1 Postopek določitve

Iz vzorca izrežemo 10 preizkušancev s širino 15 mm in dolžino vsaj 210 mm, posebej za vzdolžno in posebej za prečno smer teka vlaken.

Razdalja med prižemama se uravna na 180 mm z odstopanjem  $\pm 1$  mm. Hitrost raztezanja se uravna tako, da je čas od začetka raztezanja do pretrga 20 sekund z odstopanjem  $\pm 5$  sekund. Merjenje se izvede tako, da se preizkušanec vpne v zgornjo in spodnjo prižemo. Z vključitvijo aparata se merjenje prične, meri in odčitava pa se sila. Meritev je potrebno ponoviti, če se preizkušanec utrga na razdalji 10 mm od prižeme. Po vseh ponovitvah meritev sile se vsi odtrgani lističi stehtajo in določi se masa enega preizkušanca. Z znano vrednostjo  $m_1$  izračunamo utržno dolžino. Meritev sile in raztezka določimo posebej za vzdolžno in posebej za prečno smer teka vlaken. Utržna jakost se izračuna iz meritev sile. Rezultat je podan kot aritmetično povprečje vseh meritev posebej za vzdolžno in posebej za prečno smer papirja.

### 2.3.2 Enačbe potrebne za izračun

*Maksimalna utržna jakost:*

$$F_{\max} = \frac{\overline{F_{15}}[N]}{15[mm]}; [kN/m]$$

*Utržna dolžina:*

$$L = \frac{\overline{F_{15}}[N] * 180[mm]}{\overline{m_1}[g] * 9,80665[m/s^2]}; [km]$$

*Raztezek:*

$$\varepsilon = \frac{\Delta l[mm]}{l_0[mm]} * 100; [\%]$$

*Natezna trdnost:*

$$\sigma_{\max} = \frac{\overline{F_{15}}[N]}{A_0[mm^2]} * 1000; [kPa]$$

## 2.4 PREGIBNA ODPORNOST:

**Pregibna odpornost** je mehanska lastnost papirja, ki pove maksimalno število pregibov, potrebnih, da se pretrga obremenjeni preizkušaneč. Podana je kot maksimalno število pregibov in kot desetiški logaritem števila dvojnih pregibov, ki so povzročili pretrg preizkušanca s širino približno 15 mm. Vsak rezultat, izražen kot število dvojnih pregibov, preračunamo na logaritem z osnovno 10.

### 2.4.1 Postopek določitve

Iz vzorca izrežemo po 10 preizkušancev, posebej za vzdolžno in posebej za prečno smer teka vlaken (dimenzije: 15 x 130 (150) mm).

Pregibno glavo ročno obrnemo tako, da je vpenjalna reža navpična. Napenjalni drog obremenimo z utežjo (750 g, 1000 g in 1500 g). Preizkušaneč vpne med prižeme tako, da je površina le-tega popolnoma ravna in da se rob preizkušanca ne dotika plošče, na kateri je pritrjena pregibna glava.

Napenjalni drog z utežjo sprostimo tako, da odvijemo pritrdilni vijak. Preizkušaneč je napet z železno natezno silo.

Ker števca pregibov nismo nastavili na nič, smo število pregibov določilo tako, da smo izračunali razliko med končnim in začetnim številom na števcu.

### 3 VREDNOSTI MERITEV IN IZRAČUNANE VREDNOSTI

#### 3.1 Razpočna odpornost

št. meritve	P [kPa]	$X_{(razpočni)}$ [kPam <sup>2</sup> /g]
1	44,15	0,538
2	49,05	0,598
3	73,58	0,897
4	53,96	0,658
5	63,77	0,778
6	44,15	0,538
$\bar{x}$	54,78	0,80
$S_x$	11,779	0,144

Preglednica 1: Tlak (P) in razpočni indeks ( $X_{(razpočni)}$ ) za vzorec 1

št. meritve	P [kPa]	$X_{(razpočni)}$ [kPam <sup>2</sup> /g]
1	132,44	0,781
2	147,15	0,867
3	152,06	0,896
4	137,34	0,810
5	142,25	0,838
6	137,34	0,810
$\bar{x}$	141,43	1,00
$S_x$	7,220	0,043

Preglednica 2: Tlak (P) in razpočni indeks ( $X_{(razpočni)}$ ) za vzorec 2

#### 3.2 Pregibna in raztržna odpornost

št. meritve	m [g]	d [mm]	A [m <sup>2</sup> ]	G [g/m <sup>2</sup> ]	s [p]	z	a [N]	$X_{(raztržni)}$ [mNm <sup>2</sup> /g]
1/M	0,789	0,110	0,0098	80,51	260	51263	2,551	0,03
2/M	0,787	0,110	0,0098	80,31	170		1,668	0,02
3/M	0,792	0,110	0,0098	80,82	180		1,766	0,02
$\bar{x}$	0,79	0,11	0,01	80,54	203,33	/	1,99	0,02
$S_x$	0,003	0,000	0,000	0,257	49,329	/	0,484	0,006

1/C	/	/	/	/	180	3548	1,766	0,02
2/C	/	/	/	/	190		1,864	0,02
3/C	/	/	/	/	210		2,060	0,03
$\bar{x}$	/	/	/	/	193,33	/	1,90	0,02
$S_x$	/	/	/	/	15,275	/	0,150	0,002

Preglednica 3: Idealno število pregibov (z), raztržna odpornost (a) in raztržni indeks ( $X_{(raztržni)}$ ) za vzorec 1



št. meritve	m [g]	d [mm]	A [m <sup>2</sup> ]	G [g/m <sup>2</sup> ]	s [p]	z	a [N]	X <sub>(raztržni)</sub> [mNm <sup>2</sup> /g]
1/M	0,877	0,170	0,0100	87,70	300	6165	2,943	0,03
2/M	0,881	0,170	0,0100	88,10	290		2,845	0,03
3/M	0,888	0,170	0,0100	88,80	290		2,845	0,03
$\bar{x}$	0,88	0,17	0,01	88,20	293,33	/	2,88	0,03
S <sub>x</sub>	0,006	0,000	0,000	0,557	5,774	/	0,057	0,001

1/C	/	/	/	/	350	2454	3,434	0,04
2/C	/	/	/	/	410		4,022	0,05
3/C	/	/	/	/	380		3,728	0,04
$\bar{x}$	/	/	/	/	380,00	/	3,73	0,04
S <sub>x</sub>	/	/	/	/	30,000	/	0,294	0,003

 Preglednica 4: Idealno število pregibov (z), raztržna odpornost (a) in raztržni indeks (X<sub>(raztržni)</sub>) za vzorec 2

### 3.3 Sila utrga (utržna jakosti), raztezek in utržna dolžine

št. meritve	m [g]	d [mm]	A [m <sup>2</sup> ]	G [g/m <sup>2</sup> ]
1	0,794	0,110	0,0097	81,84
2	0,794	0,110	0,0097	81,84
3	0,799	0,110	0,0097	82,35
$\bar{x}$	0,80	0,11	0,01	82,01
S <sub>x</sub>	0,003	0,000	0,000	0,298

št. meritve	F [N]	L [km]	ε [%]	σ <sub>max</sub>
1/M	87,20	7,25	1,628	/
2/M	88,70	7,35	1,683	/
3/M	58,20	4,80	1,635	/
4/M	60,50	5,00	1,294	/
5/M	93,70	7,80	1,767	/
$\bar{x}$	77,66	6,45	1,60	47.066,67
S <sub>x</sub>	16,907	1,401	0,181	/

1/C	28,32	2,35	2,361	/
2/C	28,45	2,35	3,394	/
3/C	31,50	2,60	4,200	/
4/C	33,40	2,80	2,956	/
5/C	30,35	2,50	3,406	/
$\bar{x}$	30,40	2,50	3,26	18.426,67
S <sub>x</sub>	2,141	0,178	0,675	/

Preglednica 5: Maksimalna utržna jakost (F), utržna dolžina (L), raztezek (ε) in natezna trdnost za vzorec 1

št. meritve	m [g]	d [mm]	A [m <sup>2</sup> ]	G [g/m <sup>2</sup> ]
1	1,644	0,160	0,0097	169,45
2	1,653	0,160	0,0097	170,38
3	1,641	0,160	0,0097	169,14
$\bar{x}$	1,65	0,16	0,01	169,66
$S_x$	0,006	0,000	0,000	0,644

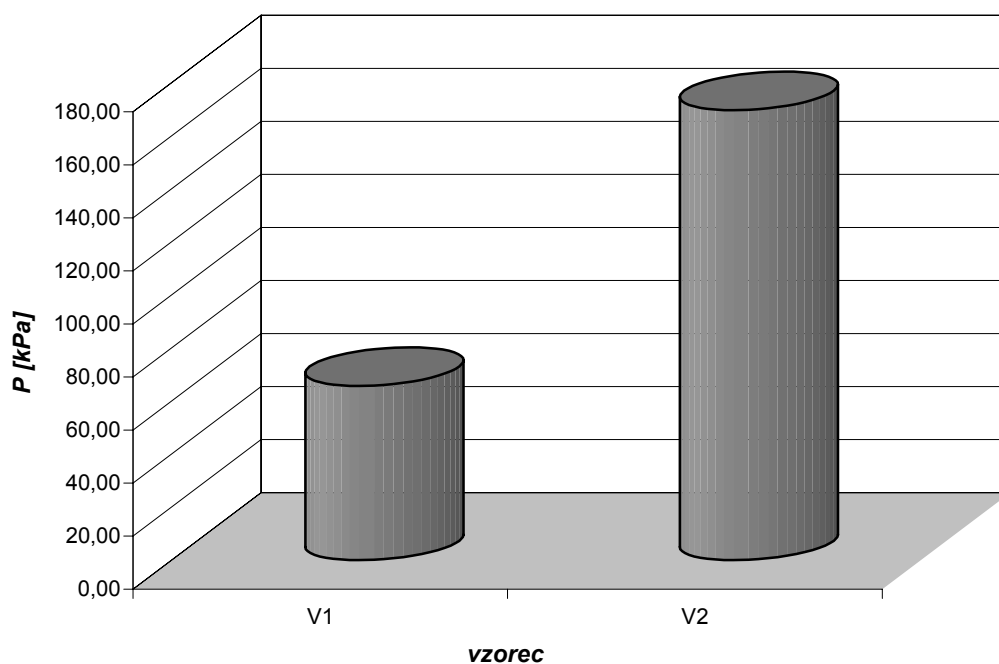
št. meritve	F [N]	L [km]	$\epsilon$ [%]	$\sigma_{\max}$
1/M	63,40	2,55	5,161	/
2/M	69,20	2,80	6,056	/
3/M	64,80	2,60	4,911	/
4/M	66,70	2,70	4,933	/
5/M	64,30	2,60	4,878	/
$\bar{x}$	65,68	2,65	5,19	27.366,67
$S_x$	2,308	0,092	0,498	/

1/C	122,70	4,90	2,072	/
2/C	114,90	4,60	2,022	/
3/C	111,50	4,50	1,983	/
4/C	114,50	4,60	1,978	/
5/C	113,20	4,55	1,811	/
$\bar{x}$	115,36	4,60	1,97	48.066,67
$S_x$	4,313	0,173	0,098	/

Preglednica 6: Maksimalna utržna jakost (F), utržna dolžina (L), raztezek ( $\epsilon$ ) in natezna trdnost za vzorec 2

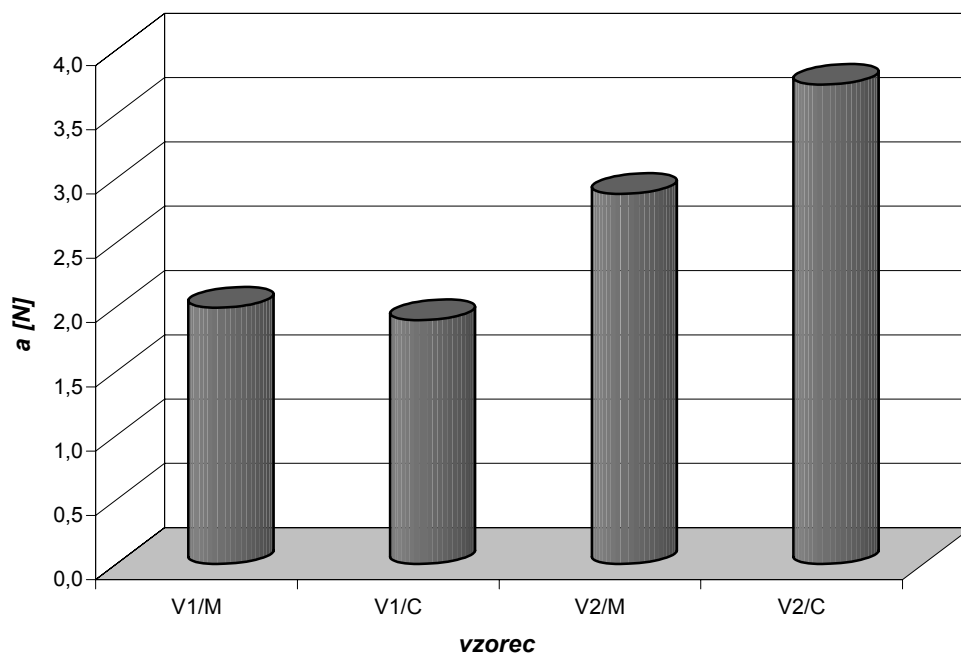
## 4 GRAFI:

### 4.1 Razpočna trdnost



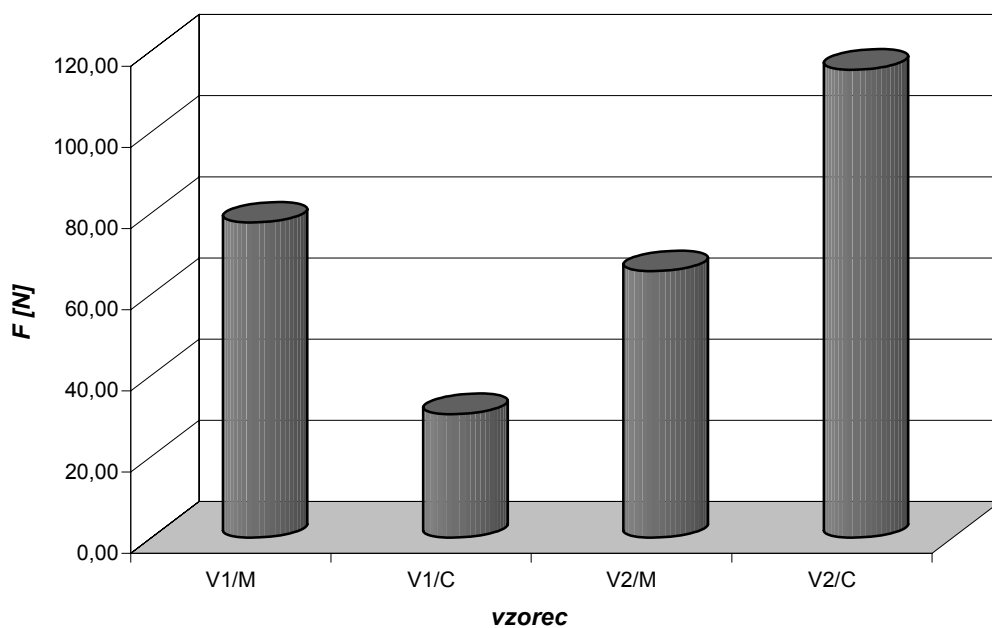
Slika 1: Razpočna odpornost ( $P$ ) za vzorec 1 in 2

### 4.2 Raztržna trdnost



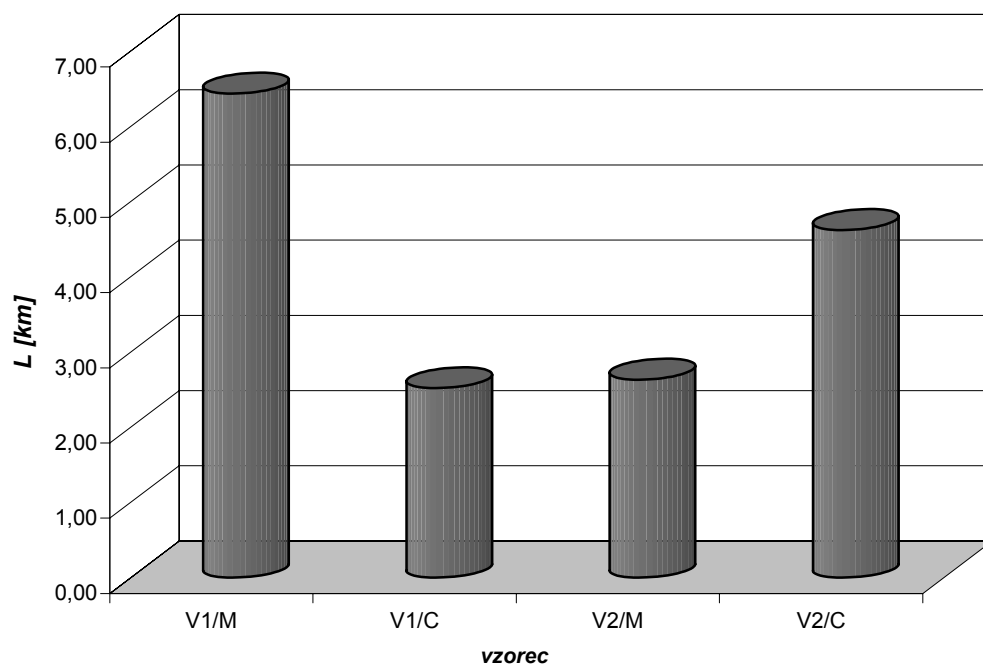
Slika 2: Raztržna trdnost ( $a$ ) za vzdolžno (M) in prečno (C) smer za vzorec 1 in 2

### 4.3 Utržna trdnost



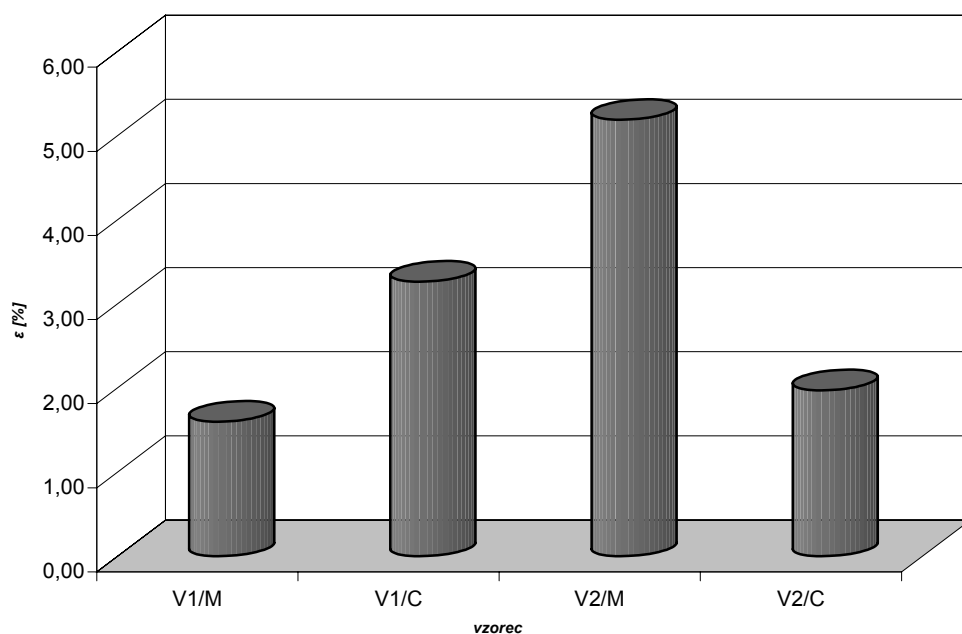
Slika 3: Utržna trdnost ( $F$ ) za vzdolžno ( $M$ ) in prečno ( $C$ ) smer za vzorec 1 in 2

### 4.4 Utržna dolžina



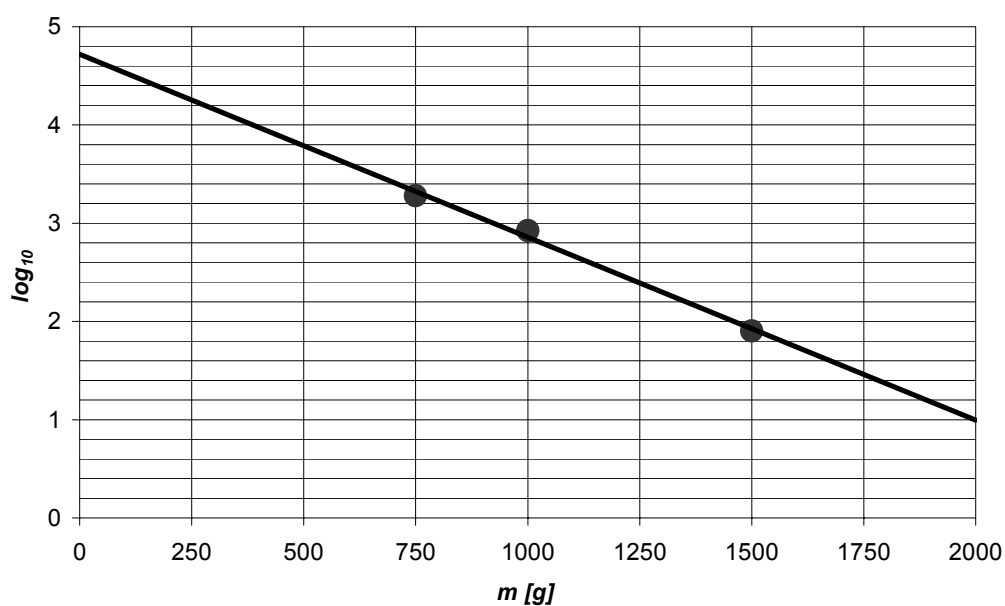
Slika 4: Utržna dolžina ( $L$ ) za vzdolžno ( $M$ ) in prečno ( $C$ ) smer za vzorec 1 in 2

# 4.5 Raztezek

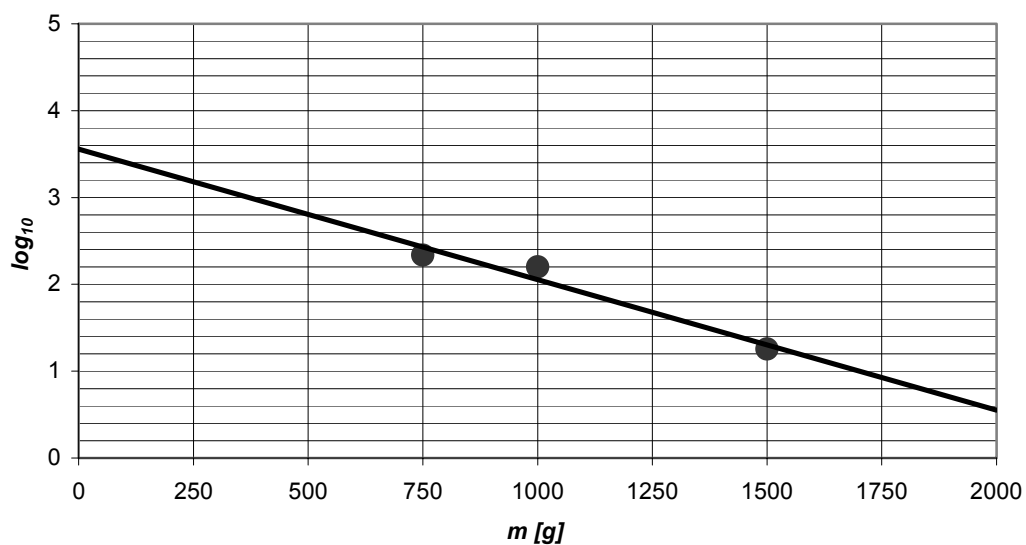


Slika 5: Raztezek ( $\epsilon$ ) za vzdolžno (M) in prečno (C) smer za vzorec 1 in 2

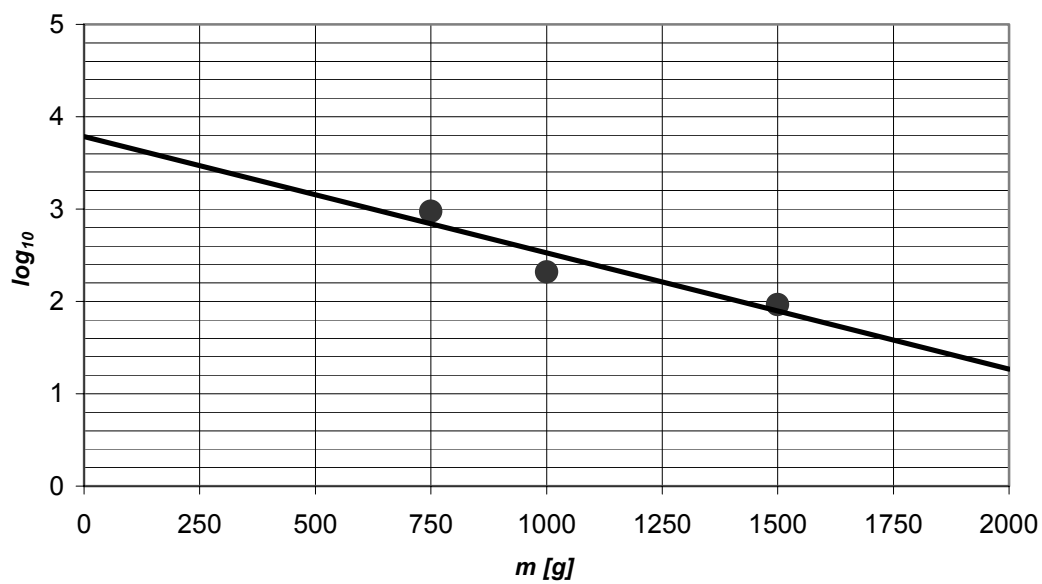
# 4.6 Pregibna odpornost



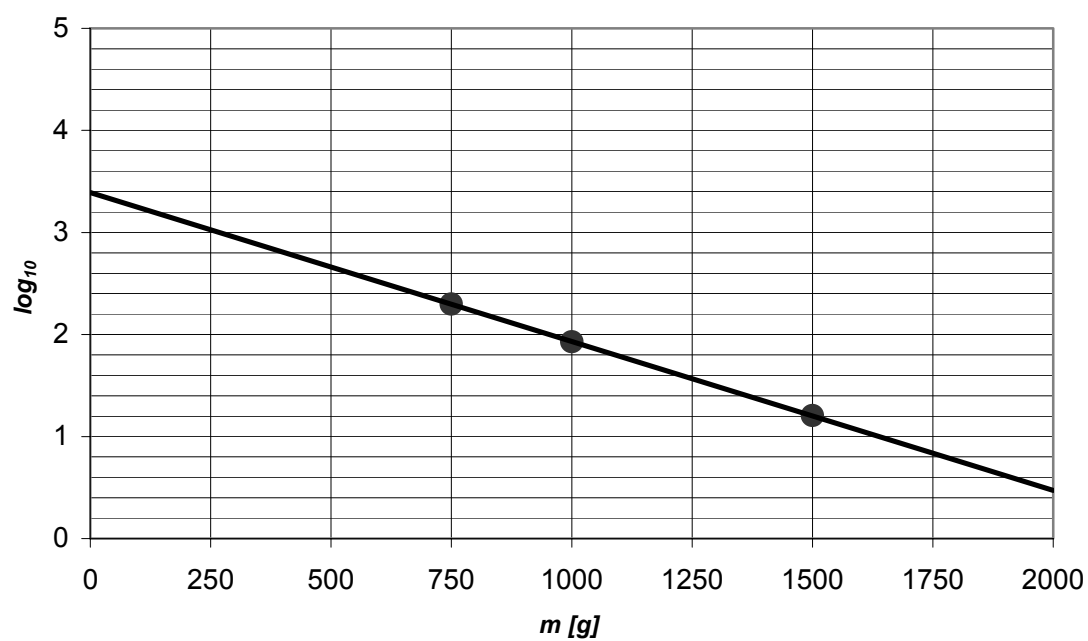
Slika 6: Logaritmem števila pregibov pri obremenitvah 750g, 1000g in 1500g ter logaritmem idealnega števila pregibov za vzorec 1 po smeri M



Slika 7: Logaritem števila pregibov pri obremenitvah 750g, 1000g in 1500g ter logaritem idealnega števila pregibov za vzorec 1 po smeri C



Slika 8: Logaritem števila pregibov pri obremenitvah 750g, 1000g in 1500g ter logaritem idealnega števila pregibov za vzorec 2 po smeri M



Slika 9: Logaritem števila pregibov pri obremenitvah 750g, 1000g in 1500g ter logaritem idealnega števila pregibov za vzorec 2 po smeri C

## 5 KOMENTAR:

Razpočna odpornost papirja nam je pokazala, do kako velikih razlik med vzorcema lahko pride. Za preboj vzorca ena je bil namreč potreben tlak v povprečju 65,73 kPa, medtem ko je vzorec dva pod pritiskom popustil šele pod skoraj trikrat večjim tlakom in sicer v povprečju pri 169,72 kPa.

Vzorec ena se je slabše izkazal tudi pri merjenju raztržne trdnosti, saj je raztržna odpornost pri vzdolžnem teku vlaken znašala v povprečju 2 N, pri prečnem teku vlaken pa malenkost manj, 1,9 N. Vzorec dva je bil bolj odporen in tako je pri njem raztržna odpornost z smer M znašala 2,9 N, za smer C pa kar 3,7 N.

Utržna trdnost nam je ravno tako pričakovano pokazala, da je tudi sila, ki je potrebna za pretrg preizkušanca, manjša pri vzorcu ena. Pri tem je v smeri M bila potrebna sila 77,66 N, v smeri C pa 30,40 N. Čeprav smo pričakovali, da bo tudi pri vzorcu dva sila v smeri C manjša, je preizkus pokazal ravno nasprotno. Pri vzorcu dva je bila tako večja sila pri pretrgu v smeri C, v povprečju je znašala 115,36 N, sila v smeri M pa je bila manjša za skoraj polovico in je v povprečju znašala 65,68 N.

Rezultati pri utržni dolžini so bili pričakovano podobni utržni trdnosti. Pri vzorcu ena je za smer M potrebna daljša dolžina in sicer v povprečju 6,44 kilometra, v smeri C pa le 2,52 kilometra. Pri vzorcu dva pa je stvar ravno obratna in za smer M dolžina v povprečju znaša 2,63 kilometra, v smeri C pa 4,62 kilometra.

Rezultati raztezka so bili neodvisni od ostalih merjenj. Vzorec 1 se tako v smeri M pri pretrgu v povprečju raztegne za 1,6 %, v smeri C pa 3,26 %, medtem ko se vzorec dva v smeri M v povprečju raztegne za 5,19 %, v smeri C pa 1,97 %.

Pri meritvi števila pregibov je največjo odpornost pokazal vzorec ena. Njegovo idealno število pregibov pri obremenitvi 0 gramov v smeri M znaša kar 51.263 pregibov, v smeri C pa 3.548 pregibov. Preizkušanje vzorca dva je bilo hitreje končano, saj je njegovo idealno število pregibov pri obremenitvi 0 gramov v smeri M 6.165 pregibov, v smeri C pa 2.454 pregibov.



## 6 ZAKLJUČEK:

Pri merjenju in računanju mehanskih lastnosti papirja smo morali skozi več postopkov, saj smo morali meriti sile, potrebne za preboj papirja, sile, potrebne za pretrg, raztezek, pregibno odpornost in raztržno odpornost.

Zopet smo med seboj primerjali dva vzorca papirja, vendar smo za vsako vajo dobili svoje vzorce. Zaradi tega smo morali vsakič posebej meriti osnovne lastnosti papirja, ki so nam kasneje koristile za izračun razpočne odpornosti, raztržne odpornosti, utržne sile, raztezka, utržne dolžine in pregibne odpornosti.

Mehanske lastnosti papirja so nam tako pokazale, kako odporen je papir na sile. Pri tem pa smo ugotovili tudi, da je zelo pomembna tudi smer teka vlaken, saj se rezultati istega vzorca med smerema M in C močno razlikujejo.