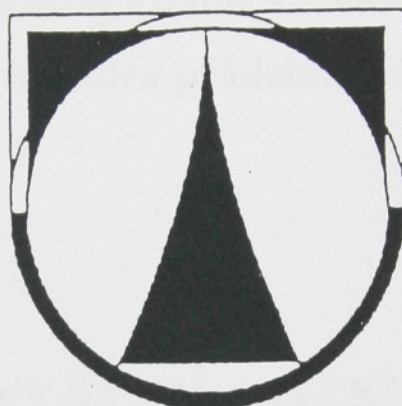


**Technická univerzita
v Liberci**

fakulta textilní



DIPLOMOVÁ PRÁCE

1996

Marcela Břístělová

Technická Univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Obor 31 – 12 – 8

Technologie textilu a oděvnictví

Katedra přádelnictví

EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA SKANÍ OPAČNÝM SKACÍM ZÁKRUTEM

Číslo diplomové práce: 027

Autor práce: Marcela Bříšťelová

Vedoucí práce: Doc. Ing. Ján Marko CSc.

Rozsah práce

Počet stran: 80

Počet tabulek: 21

Počet grafů: 14

Počet obrázků: 5

Počet fotografií: 3

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta textilní

Katedra přádelnictví

Školní rok: 1994/95

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Marcelu B ř í š t ě l o v o u

obor Textilní technologie/předení

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

Název tématu:

Experimentální analýza skaní
opačným skacím zákrutem

Zásady pro vypracování:

- 1) Experimentálním měřením v laboratorních podmínkách katedry přádelnictví a s použitím měřících metod popsaných v práci [1] analyzujte proces skaní opačným skacím zákrutem v oblasti zakrucování při skaní dvojmo.
- 2) Při teoreticko experimentální analýze se zaměřte zejména na identifikaci kvantitativní a kvalitativní stránky distribuce skacích zákrutů do jednoduchých nití.
- 3) Pro experimentální měření použijte svazky PAD nekonečných vláken.
- 4) Při zpracování výsledků měření použijte metod statistické matematiky.

V 19/96 T

KAP/PR

Prohlášení

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

V Liberci dne 4.1.1996

Marcela Bříšťelová

Marcela BŘÍŠTĚLOVÁ

Poděkování

Na úvod své diplomové práce považuji za milou povinnost poděkovat panu **Doc. Ing. Jánů Markovi, CSc.** za obětavou pomoc a cenné rady, které mi v průběhu celé práce poskytoval.

Obsah

ZADÁNÍ.....	2
PROHLÁŠENÍ	3
PODĚKOVÁNÍ	4
OBSAH	5
SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	7
1. ÚVOD.....	10
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	11
2. 1. DEFINICE VÝCHOZÍCH PODMÍNEK.....	11
2. 2. DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ	12
2. 2. 1. Seskání jednoduché a skané nitě	12
2. 2. 2. Zákrut.....	13
2. 2. 3. Úhel β_2	14
2. 2. 4. Úhel β_{12}	15
2. 2. 5. Průměr elementárního vlákna	15
2. 2. 6. Poloměr ovinování dvojmo skané nitě	15
2. 3. DISTRIBUCE SKACÍCH ZÁKRUTŮ A DISTRIBUCE OVINŮ DO JEDNODUCHÝCH NITÍ PŘI SKANÍ DVOJMO	20
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	24
3. 1. PŘÍPRAVA EXPERIMENTU	24
3. 1. 1. Použitý materiál.....	24
3. 1. 2. Použité přístroje.....	24
3. 2. VLASTNÍ EXPERIMENT	25
3. 2. 1. Měření seskání jednoduché nitě s_1	26
3. 2. 2. Měření průměru jednoduché nitě D_1	26
3. 2. 3. Měření seskání skané nitě s_2	27

3. 2. 4. Měření úhlu β_2	27
3. 2. 5. Měření úhlu β_{12}	27
3. 3. DISTRIBUČNÍ ZÁKRUTY.....	29
3. 3. 1. Stanovení skutečných distribučních zákrutů z naměřených hodnot.....	29
3. 3. 2. Stanovení teoretických distribučních zákrutů z doposud používaných teoretických vztahů.....	34
3. 3. 3. Testování vztahů pro výpočet teoretických distribučních zákrutů.....	46
3. 3. 3. 1. Výpočet hodnoty k a mocninových koeficientů p, q pro vztah $Z_{2lt}^* = Z_2 \cdot \cos^q \beta_2$	46
3. 3. 3. 2. Výpočet hodnoty k a mocninových koeficientů p, q pro vztah $Z_{2lt}^* = Z_2^q \cdot \cos \beta_2$	49
3. 3. 3. 3. Výpočet hodnoty k a mocninových koeficientů p, q pro vztah $Z_{2lt}^* = Z_2^q \cdot \cos^2 \beta_2$	50
3. 4. DISTRIBUČNÍ OVINY.....	58
3. 4. 1. Stanovení skutečných distribučních ovinů z naměřených hodnot.....	58
3. 4. 2. Stanovení teoretických distribučních ovinů z doposud používaných teoretických vztahů.....	60
3. 4. 3. Testování vztahů pro výpočet teoretických distribučních ovinů.....	70
3. 4. 3. 1. Vypočítání hodnoty k a mocninových koeficientů p, q pro vztah $T_{2lt}^* = T_2 \cdot \cos^q \beta_2$	70
3. 4. 3. 2. Výpočet hodnoty k a mocninových koeficientů p, q pro vztah $T_{2lt}^* = T_2^q \cdot \cos \beta_2$	71
4. ZÁVĚR.....	78
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	80

Seznam použitých veličin

d_1 ... průměr elementárního vlákna

D_1 ... průměr jednoduché nitě

D_{01} ... poloměr vzájemného ovinování dvojmo skané nitě

D_2 ... maximální příčný rozměr

k ... koeficient radiální deformace

l_0 ... délka nezakrouceného svazku

l_1 ... délka jednoduché nitě

l_2 ... délka dvojmo skané nitě

l_{12} ... délka jednoduché nitě ve dvojmo skané niti

Δl_0 ... zkrácení jednoduché nitě v důsledku zakroucení

Δl_1 ... zkrácení dvojmo skané nitě v důsledku skaní

m ... počet měření

n ... počet naměřených hodnot

N ... počet vláken ve svazku

o_1 ... osa jednoduché nitě

o_2 ... osa dvojmo skané nitě

r_{XY} ... koeficient korelace (korelační koeficient)

R ... poloměr ovinování dvojmo skané nitě za předpokladu ideální šroubovice

R_1 ... poloměr jednoduché nitě

s ... směrodatná odchylka

s_1 ... seskání jednoduché nitě

s_2 ... seskání dvojmo skané nitě

s_{12} ... seskání jednoduché nitě ve dvojmo skané niti

t_p ... kvantil Studentova rozdělení
 T_0 ... jemnost svazku vláken v soustavě tex
 T_1 ... vstupní počet ovinů
 T_2 ... skací počet ovinů dvojmo skané nitě
 T_{12s} ... skutečný výsledný počet ovinů v jednoduché niti po skaní dvojmo
 T_{12t} ... teoretický výsledný počet ovinů v jednoduché niti po skaní dvojmo
 T_{21s} ... distribuční počet ovinů dvojmo skané nitě skutečný
 T_{21t} ... distribuční počet ovinů dvojmo skané nitě teoretický
 T_r ... reziduální oviny
 v ... variační koeficient
 Y ... naměřená hodnota
 Y^* ... hodnota získaná z regresní funkce
 Z ... zákrut skutečný
 Z_1 ... skutečný zákrut jednoduché nitě
 Z_{1v} ... zákruty vložené jednoduché niti
 Z_2 ... skutečný skací zákrut dvojmo skané nitě
 Z_2^0 ... nulový počet zákrutů jednoduché nitě ve dvojmo skané niti
 Z_{2r} ... zákruty druhého řádu u dvojmo skané nitě
 Z_{12s} ... skutečný výsledný počet zákrutů v jednoduché niti po skaní dvojmo
 Z_{12t} ... teoretický výsledný počet zákrutů v jednoduché niti po skaní dvojmo
 Z_{21s} ... distribuční počet zákrutů dvojmo skané nitě skutečný
 Z_{21t} ... distribuční počet zákrutů dvojmo skané nitě teoretický
 Zl_1 ... latentní zákrut jednoduché nitě
 Zl_2 ... latentní skací zákrut dvojmo skané nitě
 β_1 ... úhel, který svírá osa povrchového vlákna s osou jednoduché nitě

β_2 ... úhel, který svírá osa jednoduché nitě s osou dvojmo skané nitě

β_{12} ... úhel, který svírá osa povrchového vlákna s osou jednoduché nitě v dvojmo skané niti

δ ... relativní chyba

δ_y^* ... chyba regrese

δ_{iny}^* ... chyba linearizované regrese

δ_{z21} ... chyba regrese - distribuční zákrut

δ_{T21} ... chyba regrese - distribuční oviny

$\overline{\delta_y^*}$... průměrná chyba regrese

ρ ... měrná hmotnost vláken

1. ÚVOD

Výroba nekonečných chemických vláken je velmi rozmanitá a stále se vyvíjí. Nachází mimořádně široké pole použití v textilním průmyslu. V mnoha případech však nestačí k dosažení požadovaných vlastností hedvábí v jednoduchém stavu. V těchto případech se uplatňují skané nitě. Skaním se vyrábí všechny druhy šicích nití. Tyto vykazují lepší vlastnosti než nitě vyrobené z přírodních vláknenných materiálů.

Skaní spočívá ve vzájemném ovinování dvou nebo více svazků nekonečných vláken v jedinou nit, která se nazývá skaná nit. Skané nitě mohou být znovu skány, v takovém případě jde o skaní vícestupňové. Při skaní dochází k distribuci zákrutů do jednoduchých nití. Tato problematika byla řešena již dříve, ale stále nebylo nalezeno optimální řešení.

Částečně by k řešení této otázky měla přispět i tato diplomová práce, jejímž cílem je na základě výsledků experimentálního měření identifikovat kvantitativní a kvalitativní stránku distribuce skacích zákrutů a skacích ovinů do jednoduchých nití při skaní dvojmo.

Experiment byl proveden na svazku nekonečných polyamidových vláken skaném dvojmo opačným skacím zákrutem. Byla proměřena oblast zakrucování.

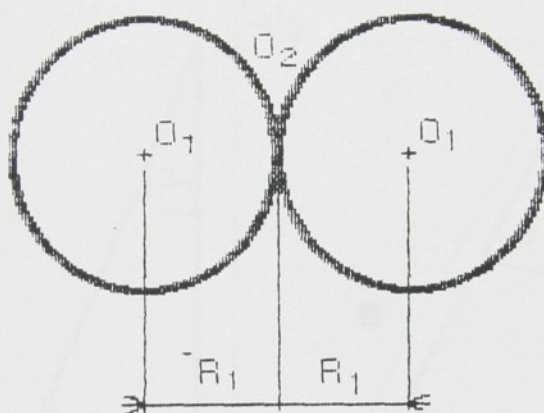
2. TEORETICKÁ ČÁST

2. 1. Definice výchozích podmínek

Vycházíme ze šroubovicového modelu, pro který platí následující předpoklady:

- a) Jednoduché nitě jsou stejné jemnosti, mají stejný počet vláken, stejný kruhový průřez a jsou uspořádány podle následujícího obrázku č. 1.

Obr. 1



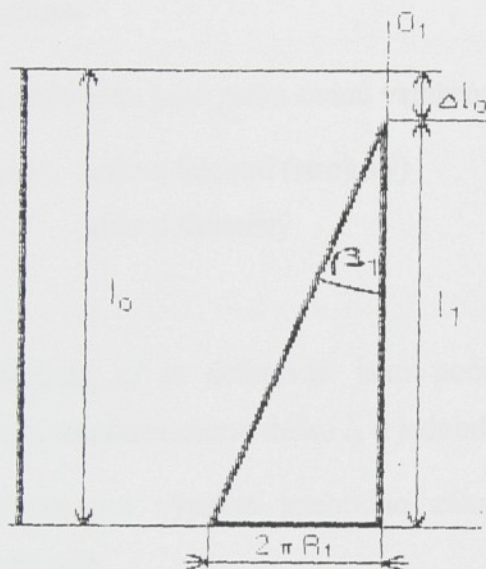
- b) Vzájemné ovinování dvou jednoduchých nití probíhá tak, že osy O_1 jednoduchých nití vytváří šroubovice, jejichž osy jsou totožné s osou skané nitě O_2 , mají konstantní průměr D_1 a konstantní stoupání.
- c) Při skaní se nemění kruhový průřez jednoduchých nití.
- d) Při skaní nedochází ke vzájemné migraci elementárních vláken jednoduchých nití.
- e) Proces skaní je kvazistatický, tj. skaná nit prochází nekonečným počtem poloh statické rovnováhy.
- f) V důsledku rotace skané nitě kolem její osy dochází rovněž k vytváření šroubovicových ovinů elementárních vláken jednoduchých nití, které mají stejný smysl jako oviny jednoduchých nití.
- g) Při řešení silových poměrů ve skané niti zanedbáváme mezivláknenné a mezinit'ové třecí síly.

2. 2. Definice základních pojmů

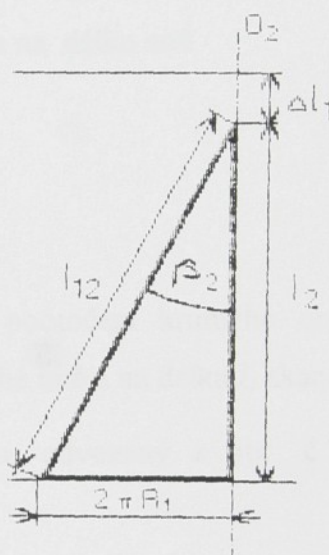
2. 2. 1. Seskání jednoduché a skané nitě

Seskání je definováno jako poměrné zkrácení nitě zakroucením. Pro snadnější pochopení použijeme k definování obrázky č.2 a č.3. V souladu s výchozími předpoklady šroubovicového modelu skané nitě rozvíjíme jeden ovin jednoduché nitě viz. obr. č.2 a jeden ovin dvojmo skané nitě viz. obr. č.3.

Obr.2



Obr.3



Z obrázků zjistíme, že vytvořením jednoho ovinu jednoduché nitě (obr. č.2) a jednoho ovinu skané nitě (obr. č.3) se za daných podmínek délka l_0 jednoduché nitě a délka l_1 jednoduché nitě skané zkrátí o délku Δl_0 (Δl_1) na zakroucenou délku l_1 (l_2), přičemž se jednotlivá vlákna navinují kolem osy jednoduché nitě na poloměru R_1 pod úhlem β_1 a jednoduché nitě se navinují kolem osy skané nitě na poloměru R_1 pod úhlem β_2 .

Z obr. č.2 můžeme odvodit vztah pro výpočet seskání jednoduché nitě:

$$s_1 = \frac{\Delta l_0}{l_0} = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \quad (1)$$

Ze vztahu (1) vyplývá:

$$l_1 = l_0 \cdot (1 - s_1) \quad (2)$$

Z obrázku č.3 můžeme odvodit vztah pro výpočet seskání dvojmo skané nitě:

$$s_2 = \frac{\Delta l_1}{l_1} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \quad (3)$$

Ze vztahu (3) vyplývá:

$$l_2 = l_1 \cdot (1 - s_2) \quad (4)$$

2. 2. 2. Zákrut

Zákrut je definován jako počet ovinů vztažených na délku nitě.

Rozlišujeme: zákrut latentní (strojový)

zákrut skutečný

Zákrut latentní Zl je definován jako počet pootočení krutného orgánu vztažený na napřímenou nezakroucenou délku l_0 u jednoduché nitě a na délku l_1 skané nitě.

Vztah pro výpočet latentního zákrutu, odvozený z obr. č.2 pro jeden ovin jednoduché nitě:

$$Zl_1 = \frac{1}{l_0} \quad (5)$$

Vztah pro výpočet latentního skacího zákrutu, odvozený z obr. č.3 pro jeden ovin dvojmo skané nitě:

$$Zl_2 = \frac{1}{l_1} \quad (6)$$

Zákrut latentní, jak vyplývá z definice, je nezávisle proměnnou veličinou procesu skaní.

Zákrut skutečný Z je definován jako počet pootočení krutného orgánu vztažený na napřímenou zakroucenou délku l_1 jednoduché nitě, případně délku l_2 dvojmo skané nitě.

Vztah pro výpočet skutečného zákrutu, odvozený z obr. č.2 pro jeden ovin jednoduché nitě:

$$Z_1 = \frac{1}{l_1} \quad (7)$$

dosazením vztahů (2) a (5) do vztahu (7) získáme:

$$Z_1 = \frac{1}{l_0 \cdot (1 - s_1)} = \frac{1}{1 - s_1} \cdot Zl_1 \quad (8)$$

Hodnota Z_l bude v experimentální části značena jako Z_{lv} , zákruty vložené jednoduché niti.

Vztah pro výpočet skutečného skacího zákrutu, odvozený z obr. č.3 pro jeden ovin dvojmo skané nitě:

$$Z_2 = \frac{1}{l_2} \quad (9)$$

dosazením vztahů (4) a (6) do vztahu (9) získáme:

$$Z_2 = \frac{1}{l_1 \cdot (1 - s_2)} = \frac{1}{1 - s_2} \cdot Zl_2 \quad (10)$$

2. 2. 3. Úhel β_2

Úhel β_2 je definován jako úhel, který svírá osa povrchového vlákna jednoduché nitě s osou skané nitě. Z obr. č.3 pro dvojmo skanou nit zjistíme $\tan \beta_2$:

$$\tan \beta_2 = \frac{2\pi R_1}{l_1} \quad (11)$$

dosazením vztahu (7) do vztahu (11) dostaneme:

$$\tan \beta_2 = \pi D_1 Z_1 \quad (12)$$

kde $D_1 = 2R_1$

2. 2. 4. Úhel β_{12}

Úhel β_{12} je definován jako úhel, který svírá osa povrchového vlákna s vlastní osou jednoduché nitě ve skané niti. Obdobně jako u úhlu β_2 můžeme tedy psát:

$$\tan \beta_{12} = \frac{2\pi R_1}{l_{12}} \quad (13)$$

Úpravou pomocí vztahu $Z_{12} = \frac{T_{12}}{l_{12}}$, kde $T_{12} = 1$ a dosazením do vztahu (13) dostaneme vztah:

$$\tan \beta_{12} = \pi D_1 Z_{12} \quad (14)$$

Ze vztahu (14) tedy vyplývá:

$$Z_{12} = \frac{\tan \beta_{12}}{\pi D_1} \quad (15)$$

2. 2. 5. Průměr elementárního vlákna

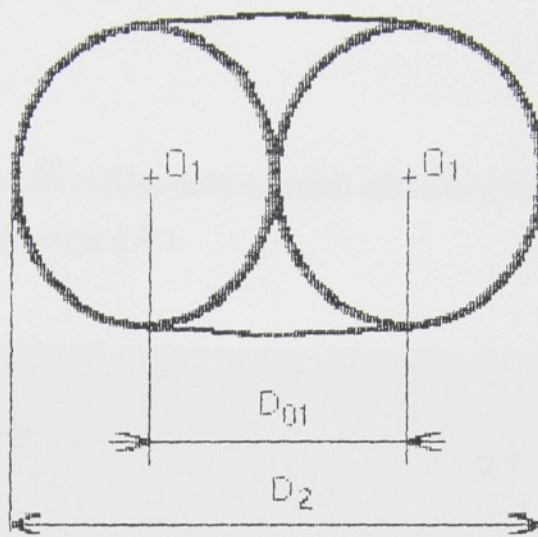
Průměr elementárního vlákna d_1 zjistíme dosazením do vztahu:

$$d_1 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{T_0}}{\sqrt{\rho N}} \quad (16)$$

2. 2. 6. Poloměr ovinování dvojmo skané nitě

Při odvození poloměru ovinování dvojmo skané nitě vycházíme z předpokladu viz. kapitola 2.1 bod a). Jak je patrné z obr. č.1, leží středy kruhových radiálních řezů O_1 na přímce. Odtud také vyplývá název struktury - přímková struktura.

Obr.4



Pro poloměr R platí vztah:

$$R = 2R_1 \quad (17)$$

Při skaní však dochází k deformaci průměru vlákna a kruhový průřez přechází v průřez eliptický. Pak pro průměr platí vztah:

$$D_2 = 2kD_1 \quad (18)$$

Ze vztahu (18) vyplývá:

$$k = \frac{D_2}{2D_1} \quad (19)$$

Pro poloměr ovinování dvojmo skané nitě platí vztah:

$$D_{01} = kD_1 \quad (20)$$

Vliv skacích zákrutů na koeficient radiální deformace je zřejmý také z fotografií č. 1, 2 a 3.

Fotografie č.1

PAD

zvětšení 500×

$$Zl_2 = 200 \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

Na snímku je vidět, že při malém počtu skacích zákrutů nejsou jednoduché nitě v kontaktu, koeficient radiální deformace $k < 1$



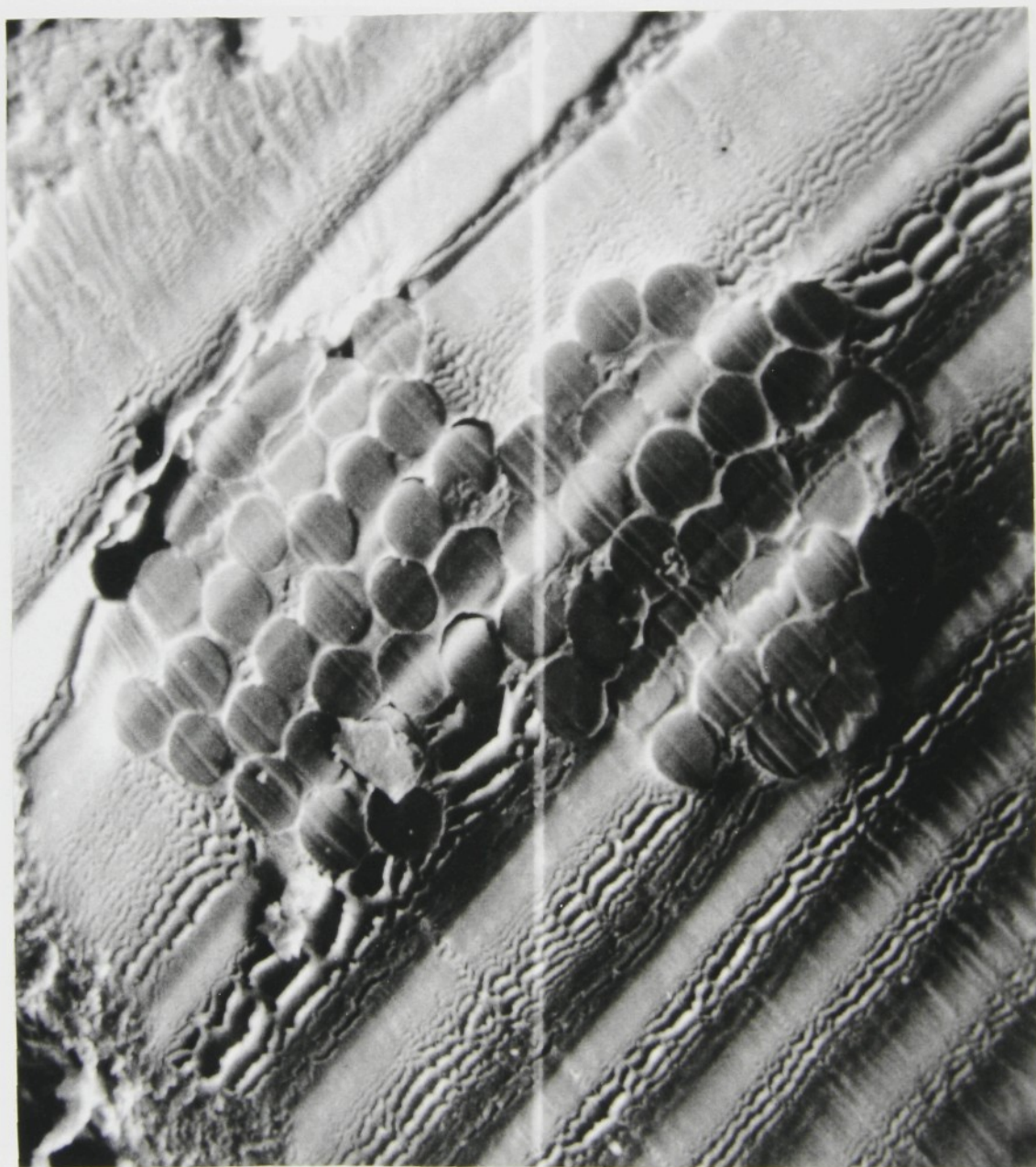
Fotografie č.2

PAD

zvětšení 500×

$Zl_2 = 450 \text{ [m}^{-1}\text{]}$

Na snímku je vidět, že jednoduché nitě jsou v kontaktu, ale nedochází ještě k deformaci průřezu jednoduché nitě, koeficient radiální deformace $k = 1$



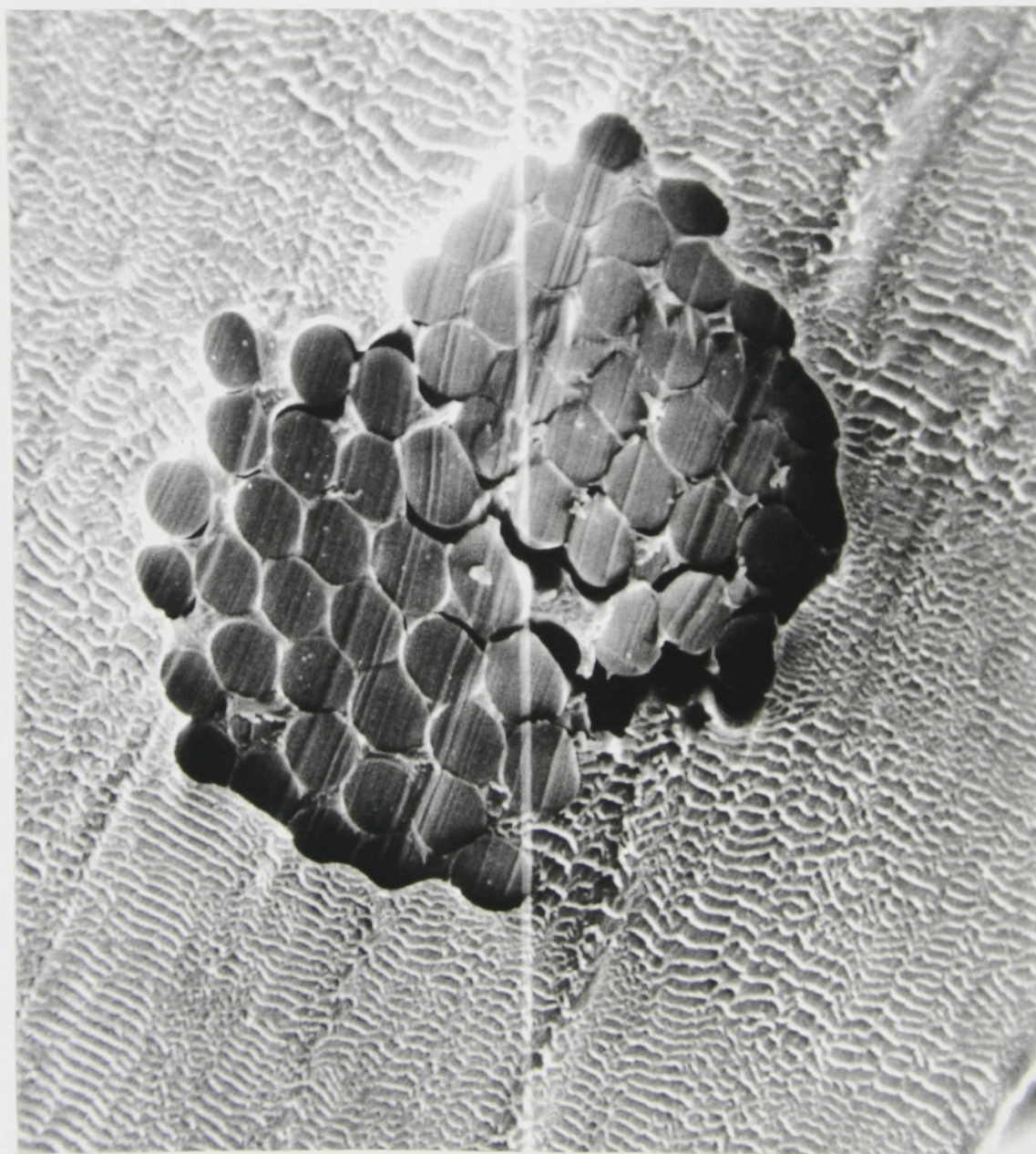
Fotografie č.3

PAD

zvětšení 500×

$$Zl_2 = 1450 \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

Dochází k deformaci průřezu jednoduché nitě, koeficient radiální deformace $k > 1$



2. 3. Distribuce skacích zákrutů a distribuce ovinů do jednoduchých nití při skaní dvojmo

Při odvozování vztahů distribuce skacích zákrutů a distribuce ovinů do jednoduchých nití při skaní vycházíme z těchto předpokladů.

a) nitě jsou dokonale tuhé v osovém směru

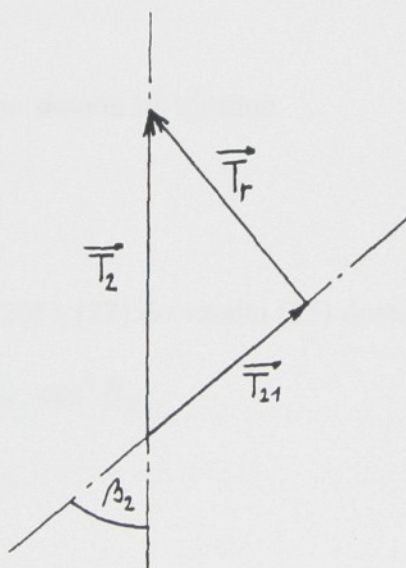
– seskání $s_{12} = 0$

– útvar nemění svou délku v důsledku zakrucování, délka potřebná na tvorbu jednoho ovinu $l_{12} = l_1 = konst.$

– prodloužení $\varepsilon = 0$

b) vstupní počet ovinů $T_1 = 0$

Obr. č.5.



Z obr. č.5. vyplývá:

$$T_{21} = T_2 \cdot \cos \beta_2 \quad (21)$$

$$T_r = T_2 \cdot \sin \beta_2 \quad (22)$$

kde: T_r je kolmý průmět do osy O_2 , který představuje reziduální oviny. Je realizován až po odstranění jedné nitě ze skané nitě. Je to složka, o kterou je T_{2l} nižší než T_2 .

Vztah pro výpočet teoretických výsledných ovinů v jednoduché niti po skaní dvojmo:

$$T_{12} = T_1 \pm T_{21} \quad (23)$$

dosazením vztahu (21) do vztahu (23) získáme:

$$T_{12} = T_1 \pm T_2 \cdot \cos \beta_2 \quad (24)$$

pro skaní opačným skacím zákrutem platí znaménko "-"

pro skaní souhlasným skacím zákrutem platí znaménko "+"

Vztah (24) nyní upravíme pomocí délky l_{12} na zákruty:

$$\frac{T_{12}}{l_{12}} = \frac{T_1}{l_{12}} \pm \frac{T_2 \cdot \cos \beta_2}{l_{12}} \quad (25)$$

Pro předpoklad, že nitě jsou dokonale tuhá tělesa platí:

$$l_{12} = l_1 \quad (26)$$

z obr. č.3 pro dvojmo skanou nit zjistíme:

$$l_{12} = \frac{l_2}{\cos \beta_2} \quad (27)$$

Dosazením vztahu (26) a (27) do vztahu (25) dostaneme vztah:

$$Z_{12} = Z_1 \pm Z_2 \cdot \cos^2 \beta_2 \quad (28)$$

$$\text{kde: } Z_1 = \frac{T_1}{l_1} \quad (29)$$

$$Z_2 = \frac{T_2}{l_2} \quad (30)$$

$$Z_{12} = \frac{T_{12}}{l_{12}} \quad (31)$$

pro skaní opačným skacím zákrutem platí znaménko "-"

pro skaní souhlasným skacím zákrutem platí znaménko "+"

Pro teoretický počet distribučních skacích zákrutů dvojmo skané nitě platí:

$$Z_{21} = Z_2 \cdot \cos^2 \beta_2 \quad (32)$$

Vztahy pro výsledný počet zákrutů v jednoduché niti po skaní vycházejí z Treloarova odvození, který předpokládá, že změna délky způsobuje pouze formální změnu počátečních zákrutů jednoduché nitě.

Japonští autoři Kyuma, Kazama, Kobayaski uvažovali stejným způsobem. Oprávněnost předpokladu japonských autorů dokazuje Pavlov, který neuvažoval změnu délky jednoduché nitě skáním a odvodil vztah:

$$Z_{12} = Z_1 \pm Z_2 \cdot \cos^2 \beta_2 \quad (33)$$

který je totožný s odvozeným vztahem (28).

Dále se danou problematikou zabývali Sokolov, Vorošilov a Korický.

Sokolov: $Z_{12} = Z_1 \pm Z_2$

Vorošilov a Komarov: $Z_{12} = Z_1 \pm Z_2 \cdot \cos \beta_2$

Korický: $Z_{12} = Z_1 \pm Z_2 \cdot \cos^2 \beta_2$

Další autoři Tatarinov, Schwabe a Simon ve svých pracích dospěli různými způsoby k rovnicím, které jsou totožné s rovnicí (33).

Všechny doposud uvedené vztahy byly odvozeny pro dokonale tuhá tělesa. Reálné jednoduché nitě ale nejsou v axiálním směru tuhé, mění v důsledku zakrucování svoji délku, proto budou odvozeny nové vztahy.

Pro reálné nitě platí: $l_{12} \neq l_1$ (34)

$$s_{12} \neq 0 \text{ a } \varepsilon \neq 0$$

útvary mění svoji délku v důsledku zakrucování.

Dosazením vztahu (4) do vztahu (27) získáme:

$$l_{12} = \frac{l_1 \cdot (1 - s_2)}{\cos \beta_2} \quad (35)$$

Dosazením vztahu (26) a (35) do vztahu (25) a po matematických úpravách dostáváme vztah pro výsledný počet zákrutů v jednoduché niti po skaní:

$$Z_{12} = Z_1 \cdot \frac{\cos \beta_2}{1 - s_2} \pm Z_2 \cdot \cos^2 \beta_2 \quad (36)$$

pro skaní opačným skacím zákrutem platí znaménko "-"

pro skaní souhlasným skacím zákrutem platí znaménko "+"

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3. 1. Příprava experimentu

3. 1. 1. Použitý materiál

Pro tento experiment bylo použito PAD hedvábí o jemnosti $T_0 = 13,3$ tex a počtu vláken $N = 32$. Materiál měl uložen ochranný zákrut Z . Při zakrucování jednoduchých nití a při skaní dvojmo bylo použito měrné napětí $P_m = 0,018 \text{ N} \cdot \text{tex}^{-1}$, při kterém dochází k napnutí osy vlákenného materiálu.

3. 1. 2. Použité přístroje

- a) Polarizační mikroskop MEOPTA s měřicím okulárem a mikrometrickým šroubem, kde byl měřen průměr jednoduché nitě a úhly (β_2 a β_{12}) skané nitě při nastaveném 90-ti násobném zvětšení.
- b) Zákrutoměr KOVOSTAV s konstrukčními doplňky byl použit pro měření seskání jednoduché i skané nitě. Vzorek svazku nekonečných vláken byl upevněn jedním koncem v rotační čelisti zákrutoměru a druhým v očku ocelového drátku. Na druhém konci drátku byla v očku připevněna silonová nit, na které byla zavěšena miska se závažím. Silonová nit byla opásána přes volně se otáčející kladku. Na drátku bylo kolmo připevněno rameno z drátku téhož průřezu. Toto rameno se opíralo o lištu zákrutoměru vybavenou milimetrovou stupnicí na které bylo možno odečíst změnu délky nitě při zakroucení.

3. 2. Vlastní experiment

Postup měření:

Byly zvoleny latentní zákruty Z_{l1} pro jednoduché nitě.

$$Z_{l1} = 800, 900, 1000, 1100, 1200 \text{ m}^{-1}$$

Jednoduchým nitem byly nejdříve uděleny souhlasné zákruty Z při skaní jim byl udělen zákrut S . Byly určeny orientační hodnoty nulového zákrutu Z_2^0 a zákrutu druhého řádu Z_{2R} , čímž byl zjištěn pravděpodobný rozsah zákrutů u dvojmo skané nitě.

Nulový zákrut Z_2^0 je když:

- a) skaná nit po uvolnění měrného napětí nesmyčkuje
- b) jednoduché nitě jsou bezmomentové, vlákna v nich jsou sice uložena ve šroubovici, ale jsou rovnoběžná s osou jednoduché nitě
- c) skaná nit je namáhána jen ohybovým momentem je tedy nesmyčující, je stabilizována mechanicky

Zákrut druhého řádu Z_{2R} je:

- a) takový zákrut kdy skaná nit začíná smyčkovat i při působení měrného napětí P_m
- b) výslednice vnitřních sil a momentů je za mezí nasycenosti
- c) funkcí druhu materiálu, jemnosti, zákrutu nebo koeficientu zákrutu a aviváže

Orientační hodnoty zákrutů Z_2^0 byly převzaty z diplomové práce Petry Jiráskové [3]. Hodnoty zákrutů druhého řádu byly naměřeny a orientační průměrné hodnoty ze tří měření jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tab. č.1 ... Orientačně měřené hodnoty zákrutů Z_2^0 a Z_{2R}

$Z_{I_1} [m^{-1}]$	$Z_2^0 [m^{-1}]$	$Z_{2R} [m^{-1}]$
800	450	1950
900	500	2020
1000	550	2090
1100	600	2160
1200	650	2230

Vlastní určení oblasti měření bylo voleno tak, abychom se bezpečně vyhnuli orientačně určenému nulovému zákrutu Z_2^0 a orientačně určenému zákrutu druhého řádu Z_{2r} . Oblast měření byla rozdělena na 6 intervalů.

3. 2. 1. Měření seskání jednoduché nitě s_I

Jednoduchá nit byla zakroucena na daný počet zákrutů Z_{I_1} . Z milimetrové stupnice bylo odečteno zkrácení délky Δl_0 a podle vztahu (1) bylo vypočteno seskání s_I . Upínací délka jednoduché nitě byla $l_0 = 0,4$ m. Bližší popis měření viz. kapitola 3.1.2. bod b).

3. 2. 2. Měření průměru jednoduché nitě D_I

Část zakroucené jednoduché nitě byla upnuta do speciálně zhotovených čelistí a přenesena bez porušení počtu vložených zákrutů na kruhový stolek mikroskopu. Průměr nitě byl měřen tak, že se nejdříve zaostřilo na levou a potom na pravou povrchu nitě a na měřícím okuláru se odečetlo o kolik dílků se pootočila hlavice mikrometrického šroubu. Naměřené hodnoty bylo nutno převést na hodnoty skutečné srovnáním měřítka okulárového mikrometru a objektivního mikrometru. Po přepočtu byly hodnoty naměřeného průměru nitě zaznamenány do tabulky (viz. tab. č.2).

3. 2. 3. Měření seskání skané nitě s_2

K očku drátku byla upevněna jednoduchá nit, které byl udělen vstupní zákrut Zl_1 . Po udělení zákrutu byla tato nit upnuta do količku na prádlo tak, aby se zamezilo rozkroucení nitě a vyjmuta z čelisti. Obdobným způsobem byl udělen vstupní zákrut i druhé niti. Po zakroucení druhé nitě byly obě dvě sdruženy a upnuty do čelisti zákrutoměru a následovalo skání opačným skacím zákrutem. Upínací délka jednoduchých nití byla $l_0 = 0,4$ m. Upínací délka sdružené nitě byla v důsledku seskání volena kratší, $l_1 = 0,3$ m. Po udělení požadovaného počtu skacích zákrutů Zl_2 byla na milimetrové stupnici zákrutoměru odečtena změna délky Δl_1 a dosazením dle vztahu (3) vypočteno seskání skané nitě s_2 .

3. 2. 4. Měření úhlu β_2

Část skané nitě byla upnuta do speciálně zhotovených čelistí a přenesena bez porušení počtu vložených zákrutů na kruhový stolek mikroskopu. Optický kříž se přeložil s osou skané nitě a na otočném stolku mikroskopu opatřeném úhlovou stupnicí se přečetla počáteční hodnota. Dále se optický kříž nastavil k povrchu jednoduché nitě, která byla rovnoběžná s osou jednoduché nitě a odečetla se druhá hodnota. Rozdílem těchto hodnot jsme získali úhel β_2 , který svírají osy jednoduchých nití s osou skané nitě.

3. 2. 5. Měření úhlu β_{12}

Optický kříž se nastavil k povrchu jednoduché nitě, která byla rovnoběžná s její osou a na úhlové stupnici byla odečtena počáteční hodnota. Druhá hodnota se odečetla po nastavení optického kříže k povrchu jednoduchého vlákna. Rozdílem těchto hodnot jsme získali úhel β_{12} , tedy úhel, který svírají osy jednotlivých vláken s osou jednoduché nitě ve skané niti.

V tabulce č.2 je uvedena průměrná hodnota průměru nitě $\overline{D}_I$, statistické vyhodnocení průměru D_I a průměr elementárního vlákna d_I , který byl vypočítán podle vztahu (16).

Při výpočtech Z_{I2s} nedosazujeme průměr jednoduché nitě $\overline{D}_I$, ale hodnotu $\overline{D}_I$ sníženou o průměr elementárního vlákna d_I (tedy $\overline{D}_I - d_I$), protože úhel β_{I2} byl měřen pro tento rozměr.

V tabulce č.3 je uvedeno seskání jednoduché nitě s_I pro latentní zákruty ZI_I a statistické vyhodnocení pro s_I .

Při počtu měření $m = 20$ bylo naměřeno seskání jednoduché nitě s_I a skané nitě s_I , průměr nitě D_I a úhly β_2 a β_{I2} .

Relativní chyba δ , která se podle [7] při počtu měření $m = 20$ a 95% statistické jistotě vypočítá podle vztahu:

$$\delta = 0,46801 \cdot v$$

Tab. č.2 ... Průměr jednoduché nitě a průměr elementárního vlákna

$\overline{D}_I$ [mm]	0,1399
v [%]	1,5893
δ [%]	0,6739
d_I [mm]	0,0215
$\overline{D}_I - d_I$ [mm]	0,1184

Tab. č.3 ... Seskání jednoduché nitě

Zl_1 [m^{-1}]	s_l [1]	ν [%]	δ_{s_l} [%]
800	0,02994	1,8591	0,8701
900	0,03856	1,6573	0,7756
1000	0,04769	1,7886	0,8371
1100	0,05997	1,8285	0,8558
1200	0,07453	1,4450	0,6763

3. 3. Distribuční zákruty

3. 3. 1. Stanovení skutečných distribučních zákrutů z naměřených hodnot

Pro experiment bylo libovolně zvoleno 5 hodnot latentních zákrutů Zl_1 , které byly uděleny jednoduchým nitem a z orientačního měření byl zjištěn rozsah zákrutů Zl_2 , který byl rozdělen do 6 intervalů. Latentní zákruty Zl_2 byly uděleny nitem skaným.

1) Výpočet seskání s_l, s_2

Z naměřených hodnot zkrácení byly vypočteny hodnoty seskání s_l podle vztahu (1) a hodnoty seskání s_2 podle vztahu (3).

2) Výpočet skutečného zákrutu jednoduché nitě

Seskání s_l a latentní zákruty Zl_1 dosadíme do vztahu (8) a vypočteme skací zákruty vložené jednoduché niti Z_{lv} . Jednoduchá nit měla uloženy ochranné zákruty, proto byla z měření a výpočtu stanovena regresní rovnice. Dosazením do této rovnice stanovíme skutečné zákruty Z_1 . Regresní rovnice byla převzata z diplomové práce Manal Ali [2]:

$$Z_1 = 1,0951 \cdot Z_{lv} - 29,0519 \quad (37)$$

Z dané rovnice vyplývá, že hodnota ochranného zákrutu je $Z = 29,0519 \text{ m}^{-1}$.

3) Výpočet skutečného skacího zákrutu dvojmo skané nitě Z_2

Seskání s_2 a latentní zákruty Z_{l2} dosadíme do vztahu (10) a vypočteme skutečný skací zákrut dvojmo skané nitě Z_2 .

4) Výpočet skutečného počtu zákrutů v jednoduché niti po skaní dvojmo Z_{l2s}

$$Z_{l2s} = \frac{\tan \beta_{12}}{\pi \cdot (\overline{D}_1 - d_1)} \quad (38)$$

5) Výpočet skutečných distribučních zákrutů dvojmo skané nitě Z_{21s}

$$Z_{21s} = \frac{Z_1}{1 - s_2} \cdot \cos \beta_2 - Z_{l2s} \quad (39)$$

Hodnoty zákrutů, které byly doposud vypočítány jsou uvedeny v tabulkách č. 6 až 10.

V grafu č.1 je vynesena funkční závislost skutečných distribučních zákrutů Z_{21s} na skutečných skacích zákrutech Z_2 . Pomocí počítače byly hledány takové regresní funkční závislosti, které co nejlépe proloží soustavy bodů, s co největším korelačním koeficientem. Jako nejvhodnější se zdála nelineární mocninová závislost, jejíž obecná rovnice má tvar:

$$y = k \cdot x^p \quad (40)$$

Provedeme úpravu:

1) Zlogaritmováním obecné rovnice dostáváme tvar:

$$\ln y = \ln k + p \cdot \ln x \quad (41)$$

2) Zavedeme substituci:

$$\ln y = Y$$

$$\ln x = X$$

$$\ln k = K$$

3) Dosazením substituce do rovnice (41) získáme tvar:

$$Y = K + p \cdot X \quad (42)$$

Rovnice (42) je obecnou rovnicí přímky, z toho můžeme usoudit, že se jedná o linearizovanou regresi.

4) Vztah pro výpočet hodnoty p :

$$p = \frac{\sum_{(i)} \ln x \cdot \ln y - \frac{1}{n} \sum_{(i)} \ln x \cdot \sum_{(i)} \ln y}{\sum_{(i)} (\ln x)^2 - \frac{\left(\sum_{(i)} \ln x\right)^2}{n}} \quad (43)$$

5) Vztah pro výpočet hodnoty k :

$$k = \exp K \quad (44)$$

$$\text{kde} \quad K = \overline{\ln y} - p \cdot \overline{\ln x} \quad (45)$$

6) Korelační koeficient r_{xy} vyjadřuje stupeň závislosti sledovaných veličin a nabývá hodnot -1 až 1.

Vztah pro výpočet koeficientu korelace r_{xy} :

$$r_{xy} = \frac{\sum_{(i)} \ln x \cdot \ln y - \frac{1}{n} \sum_{(i)} \ln x \cdot \sum_{(i)} \ln y}{\sqrt{\left[\sum_{(i)} (\ln x)^2 - \frac{\left(\sum_{(i)} \ln x\right)^2}{n} \right] \cdot \left[\sum_{(i)} (\ln y)^2 - \frac{\left(\sum_{(i)} \ln y\right)^2}{n} \right]}} \quad (46)$$

Dosazením vypočtených hodnot k a mocninových koeficientů p do obecné rovnice (40) získáme rovnice křivek pro jednotlivé ZI_i a jejich koeficienty korelace r_{xy} (viz. tab. č.4).

Tab. č.4 ... Rovnice křivek pro jednotlivé Z_{l_1} a hodnoty koeficientů korelace r_{XY} .

$Z_{l_1} [\text{m}^{-1}]$	rovnice křivky	$r_{XY} [1]$
800	$Z_{21s} = 12,018310 \cdot Z_2^{0,683130}$	0,9964
900	$Z_{21s} = 15,053769 \cdot Z_2^{0,655696}$	0,9973
1000	$Z_{21s} = 17,021605 \cdot Z_2^{0,642679}$	0,9975
1100	$Z_{21s} = 16,689050 \cdot Z_2^{0,651234}$	0,9965
1200	$Z_{21s} = 20,561152 \cdot Z_2^{0,624691}$	0,9944

V grafu č.2 je vynesena funkční závislost skutečných zákrutů $Z_{l_{2s}}$ na skutečných skacích zákrutech Z_2 . Na počítači jsme se snažili o co nejlepší proložení všech bodů regresními funkcemi. Jako nejvhodnější se zdála polynomická funkce 2.řádu, kde byly také největší korelační koeficienty.

obecná rovnice má tvar:
$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (47)$$

Hodnoty a_0 , a_1 , a_2 byly vypočteny počítačem (SW SlideWrite Plus – Version 5.0) z grafu č.2 a jejich dosazením do obecné rovnice získáme hodnoty nulových zákrutů Z_2^0 . Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č.5.

Tab. č.5 ... Rovnice křivek pro jednotlivé Zl_i , hodnoty koeficientů korelace a vypočtené hodnoty nulových zákrutů Z_2^0 .

Zl_i [m^{-1}]	rovnice křivky nulový zákrut koeficient korelace
800	$Z_{12s} = -285,5563 + 0,4818 \cdot Z_2 + 2,92 \cdot 10^{-4} \cdot Z_2^2$ $Z_2^0 = 462,877106$ [m^{-1}] $r_{XY} = 0,998661$
900	$Z_{12s} = -402,4095 + 0,6553 \cdot Z_2 + 1,77 \cdot 10^{-4} \cdot Z_2^2$ $Z_2^0 = 536,375699$ [m^{-1}] $r_{XY} = 0,999205$
1000	$Z_{12s} = -547,3332 + 0,8495 \cdot Z_2 + 6,00 \cdot 10^{-5} \cdot Z_2^2$ $Z_2^0 = 617,363955$ [m^{-1}] $r_{XY} = 0,998642$
1100	$Z_{12s} = -415,4372 + 0,4303 \cdot Z_2 + 2,79 \cdot 10^{-4} \cdot Z_2^2$ $Z_2^0 = 672,330499$ [m^{-1}] $r_{XY} = 0,998889$
1200	$Z_{12s} = -402,3617 + 0,2939 \cdot Z_2 + 3,22 \cdot 10^{-4} \cdot Z_2^2$ $Z_2^0 = 751,044344$ [m^{-1}] $r_{XY} = 0,998012$

Při hledání kořenů kvadratické rovnice byly vypočteny dvě hodnoty. První hodnota byla vzata jako zákruty druhého řádu a druhý kořen rovnice je pro naši oblast zkoumání nereálný.

3. 3. 2. Stanovení teoretických distribučních zákrutů z doposud používaných teoretických vztahů

Pro stanovení hodnot teoretických distribučních zákrutů dvojmo skané nitě Z_{21t} a teoretického počtu zákrutů v jednoduché niti po skaní dvojmo Z_{12t} byly použity naměřené hodnoty, které byly dosazeny do níže uvedených vztahů.

1) Výpočet výsledného teoretického počtu zákrutů v jednoduché niti po skaní dvojmo Z_{12t}

$$Z_{12t} = Z_1 - Z_{21t} \quad (48)$$

2) Výpočet teoretických distribučních zákrutů dvojmo skané nitě Z_{21t}

$$Z_{21t} = Z_2 \cdot \cos^2 \beta_2 \quad (49)$$

Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulkách č.6 až 10.

V grafu č.3 je vynesena funkční závislost distribučních zákrutů skutečných Z_{21s} na distribučních zákrutách teoretických Z_{21t} . Pomocí počítače byla hledána taková regresní funkční závislost, která nejlépe nahradí všech 5 křivek. Jako nejvhodnější se zdála mocninová závislost, jejíž obecná rovnice má tvar (40).

Hodnota k a mocninový koeficient p byly vypočteny počítačem (také SW SlideWrite Plus – Version 5.0) z grafu č.3 a jejich dosazením do obecné rovnice získáme regresní rovnici pro výpočet hodnot skutečných distribučních zákrutů Z_{21s} .

Regresní rovnice: $Z_{21s} = 0,679156 \cdot Z_{21t}^{1,146256}$

Koeficient korelace: $r_{XY} = 0,956778$

Grafy č.4 a 5 nám dokazují, že závislost v grafu č.3 je mocninová.

V grafu č.4 je vynesena funkční závislost $\ln Z_{21s}$ na $\ln Z_{21t}$. Z posouzení grafických závislostí vyplývá, že se jedná o přímky. Závislost Z_{21s} na Z_{21t} je mocninová.

V grafu č.5 je vynesena funkční závislost $\ln Z_{21s}$ na Z_{21t} . Pokud bychom mohli body proložit přímkou, jednalo by se o závislost exponenciální. Z grafu však vyplývá, že tomu tak není, závislost Z_{21s} na Z_{21t} je tedy mocninová.

V tabulkách č.6 až 10 jsou uvedeny vypočítané hodnoty Z_{12s} . Hodnoty jsou uvedeny v tabulkách se záporným znaménkem, které nám vyjadřuje, že se nacházíme již v oblasti zakrucování.

Tabulka č. 6

$Z_{12s} = 1000$

$\gamma = 334,2512$

Tabulka č. 6 - Vypočítané hodnoty Z_{12s} pro $Z_{12s} = 1000$

Z_{12s}	100	200	300	400	500	1000
α [°]	0,133	0,262	0,382	0,492	0,592	0,9708
ν [°]	2,97	1,93	1,27	1,01	0,74	0,77
δ [°]	1,19	0,90	0,67	0,47	0,39	0,47
Z_{12s}	998,365	996,732	995,074	993,392	991,684	987,522
β_0 [°]	1,410	1,157	0,930	0,760	0,630	1,070
ν [°]	4,55	3,37	2,61	2,07	1,63	2,31
δ [°]	2,27	1,73	1,32	1,03	0,85	1,08
$\sin \beta_0$	0,140	0,100	0,080	0,065	0,053	0,2230
Z_{12s}	998,365	996,732	995,074	993,392	991,684	987,522
Z_{12s}	998,365	996,732	995,074	993,392	991,684	987,522
Z_{12s}	998,365	996,732	995,074	993,392	991,684	987,522
Z_{12s}	998,365	996,732	995,074	993,392	991,684	987,522
Z_{12s}	998,365	996,732	995,074	993,392	991,684	987,522
Z_{12s}	998,365	996,732	995,074	993,392	991,684	987,522
Z_{12s}	998,365	996,732	995,074	993,392	991,684	987,522
Z_{12s}	998,365	996,732	995,074	993,392	991,684	987,522
Z_{12s}	998,365	996,732	995,074	993,392	991,684	987,522

MATERIÁL: PAD

$$T_0 = 13,3 \text{ tex}$$

$$N = 32$$

$$P_m = 0,018 \text{ N} \cdot \text{tex}^{-1}$$

$$\rho = 1150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$m = 20$$

$$Z_{I_1} = 800 \text{ m}^{-1}$$

$$Z_{I_v} = 824,6891 \text{ m}^{-1}$$

$$Z_I = 874,0652 \text{ m}^{-1}$$

Tab. č.6 ... Vypočtené hodnoty Z_{I2s} , Z_{I2s} , Z_{I2b} , Z_{I2t} pro $Z_{I_1} = 800 \text{ m}^{-1}$

$Z_{I_2} [\text{m}^{-1}]$	600	650	750	850	950	1000
$s_2 [1]$	0,01375	0,02542	0,03929	0,05488	0,08421	0,09708
$v [\%]$	2,97	1,93	1,31	1,01	0,84	0,77
$\delta_{s2} [\%]$	1,39	0,90	0,61	0,47	0,39	0,47
$Z_2 [\text{m}^{-1}]$	608,365	666,952	780,674	899,352	1037,354	1107,522
$\beta_{I2} [^\circ]$	2,310	3,830	5,520	8,040	11,350	12,570
$v [\%]$	4,85	2,57	2,61	3,02	2,45	2,31
$\delta_{I2} [\%]$	2,27	1,21	1,22	1,42	1,15	1,08
$\tan \beta_{I2}$	0,0403	0,0669	0,0966	0,1413	0,2007	0,2230
$Z_{I2s} [\text{m}^{-1}]$	-108,554	-180,154	-260,066	-380,117	-540,166	-600,040
$\beta_2 [^\circ]$	15,510	17,410	20,450	22,090	26,510	28,230
$\cos \beta_2$	0,9636	0,9542	0,9370	0,9266	0,8949	0,8811
$Z_{I2s} [\text{m}^{-1}]$	962,531	1035,928	1112,540	1237,045	1394,250	1452,943
$Z_{I2t} [\text{m}^{-1}]$	309,202	266,822	188,691	101,902	43,385	14,341
$Z_{I2t} [\text{m}^{-1}]$	564,863	607,243	685,375	772,163	830,680	859,724

MATERIÁL: PAD

$$T_0 = 13,3 \text{ tex}$$

$$N = 32$$

$$P_m = 0,018 \text{ N}\cdot\text{tex}^{-1}$$

$$\rho = 1150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$m = 20$$

$$Zl_1 = 900 \text{ m}^{-1}$$

$$Z_{lv} = 936,0983 \text{ m}^{-1}$$

$$Z_l = 996,0694 \text{ m}^{-1}$$

Tab. č.7 ... Vypočtené hodnoty Z_{l2s} , Z_{2ls} , Z_{l2t} , Z_{2lt} pro $Zl_1 = 900 \text{ m}^{-1}$

$Zl_2 [\text{m}^{-1}]$	650	700	800	900	1000	1050
$s_2 [1]$	0,01150	0,02025	0,03492	0,05496	0,08346	0,10017
$\nu [\%]$	2,87	2,15	1,65	1,25	0,68	0,34
$\delta_{s2} [\%]$	1,34	1,01	0,77	0,58	0,32	0,16
$Z_2 [\text{m}^{-1}]$	657,562	714,468	828,944	952,340	1091,058	1166,883
$\beta_{l2} [^\circ]$	2,140	3,490	5,520	7,925	11,240	12,510
$\nu [\%]$	2,78	3,60	2,21	1,86	3,36	2,65
$\delta_{l2} [\%]$	1,30	1,68	1,03	0,87	1,57	1,24
$\tan \beta_{l2}$	0,0374	0,0610	0,0966	0,1392	0,1987	0,2219
$Z_{l2s} [\text{m}^{-1}]$	-100,557	-164,120	-260,066	-374,610	-534,793	-597,082
$\beta_2 [^\circ]$	16,520	18,740	21,735	24,920	28,240	30,320
$\cos \beta_2$	0,9587	0,9470	0,9289	0,9069	0,8810	0,8632
$Z_{2ls} [\text{m}^{-1}]$	1066,619	1126,880	1218,797	1330,476	1492,208	1552,622
$Z_{l2t} [\text{m}^{-1}]$	391,675	355,347	280,801	212,806	149,284	126,569
$Z_{2lt} [\text{m}^{-1}]$	604,395	640,723	715,269	783,264	846,785	869,500

MATERIÁL: PAD

$$T_0 = 13,3 \text{ tex}$$

$$N = 32$$

$$P_m = 0,018 \text{ N} \cdot \text{tex}^{-1}$$

$$\rho = 1150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$m = 20$$

$$Zl_l = 1000 \text{ m}^{-1}$$

$$Z_{lv} = 1050,0755 \text{ m}^{-1}$$

$$Z_l = 1120,8858 \text{ m}^{-1}$$

Tab. č.8 ... Vypočtené hodnoty Z_{l2s} , Z_{2ls} , Z_{l2t} , Z_{2lt} pro $Zl_l = 1000 \text{ m}^{-1}$

$Zl_2 [\text{m}^{-1}]$	700	750	850	950	1050	1100
$s_2 [1]$	0,01096	0,02033	0,03692	0,05529	0,08688	0,10158
$\nu [\%]$	1,59	2,12	1,32	1,58	1,12	0,67
$\delta_{s2} [\%]$	0,74	0,99	0,62	0,74	0,52	0,31
$Z_2 [\text{m}^{-1}]$	707,756	765,567	882,582	1005,601	1149,897	1224,376
$\beta_{l2} [^\circ]$	1,945	2,855	4,985	7,985	10,905	12,040
$\nu [\%]$	4,26	3,75	2,41	1,54	1,46	2,08
$\delta_{l2} [\%]$	1,99	1,76	1,13	0,72	0,68	0,42
$\tan \beta_{l2}$	0,0340	0,0499	0,0872	0,1403	0,1927	0,2133
$Z_{l2s} [\text{m}^{-1}]$	-91,387	-134,203	-234,726	-377,483	-518,457	-573,962
$\beta_2 [^\circ]$	18,315	19,485	22,795	25,460	29,135	31,140
$\cos \beta_2$	0,9493	0,9427	0,9219	0,9029	0,8735	0,8559
$Z_{2ls} [\text{m}^{-1}]$	1167,282	1212,827	1307,677	1448,746	1590,671	1641,811
$Z_{l2t} [\text{m}^{-1}]$	483,019	440,498	370,785	301,117	243,562	223,938
$Z_{2lt} [\text{m}^{-1}]$	637,867	680,388	750,101	819,769	877,324	896,948

MATERIÁL: PAD

$$T_0 = 13,3 \text{ tex}$$

$$N = 32$$

$$P_m = 0,018 \text{ N}\cdot\text{tex}^{-1}$$

$$\rho = 1150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$m = 20$$

$$Zl_l = 1100 \text{ m}^{-1}$$

$$Z_{lv} = 1170,1739 \text{ m}^{-1}$$

$$Z_l = 1252,4055 \text{ m}^{-1}$$

Tab. č.9 ... Vypočtené hodnoty Z_{l2s} , Z_{2ls} , Z_{l2t} , Z_{2lt} pro $Zl_l = 1100 \text{ m}^{-1}$

$Zl_2 [\text{m}^{-1}]$	750	800	900	1000	1100	1150
$s_2 [1]$	0,008917	0,015833	0,036125	0,058417	0,089250	0,106458
$v [\%]$	2,05	1,61	1,21	0,84	1,36	0,25
$\delta_{s2} [\%]$	0,96	0,75	0,57	0,39	0,64	0,12
$Z_2 [\text{m}^{-1}]$	756,748	812,870	933,731	1062,041	1207,796	1287,013
$\beta_{l2} [^\circ]$	1,660	2,370	4,760	7,535	11,080	12,365
$v [\%]$	5,62	4,84	2,81	3,20	2,23	3,29
$\delta_{l2} [\%]$	2,63	2,27	1,32	1,49	1,04	1,54
$\tan \beta_{l2}$	0,0290	0,0414	0,0833	0,1323	0,1958	0,2192
$Z_{l2s} [\text{m}^{-1}]$	-77,988	-111,377	-224,081	-355,955	-526,986	-589,941
$\beta_2 [^\circ]$	19,250	20,920	23,670	25,725	30,085	32,980
$\cos \beta_2$	0,9441	0,9341	0,9159	0,9009	0,8653	0,8389
$Z_{2ls} [\text{m}^{-1}]$	1271,008	1300,044	1414,116	1554,231	1716,868	1765,704
$Z_{l2t} [\text{m}^{-1}]$	577,913	543,172	469,170	390,455	348,112	346,751
$Z_{2lt} [\text{m}^{-1}]$	674,492	709,234	783,235	861,951	904,294	905,655

MATERIÁL: PAD

$$T_0 = 13,3 \text{ tex}$$

$$N = 32$$

$$P_m = 0,018 \text{ N} \cdot \text{tex}^{-1}$$

$$\rho = 1150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$m = 20$$

$$Zl_l = 1200 \text{ m}^{-1}$$

$$Z_{lv} = 1296,6402 \text{ m}^{-1}$$

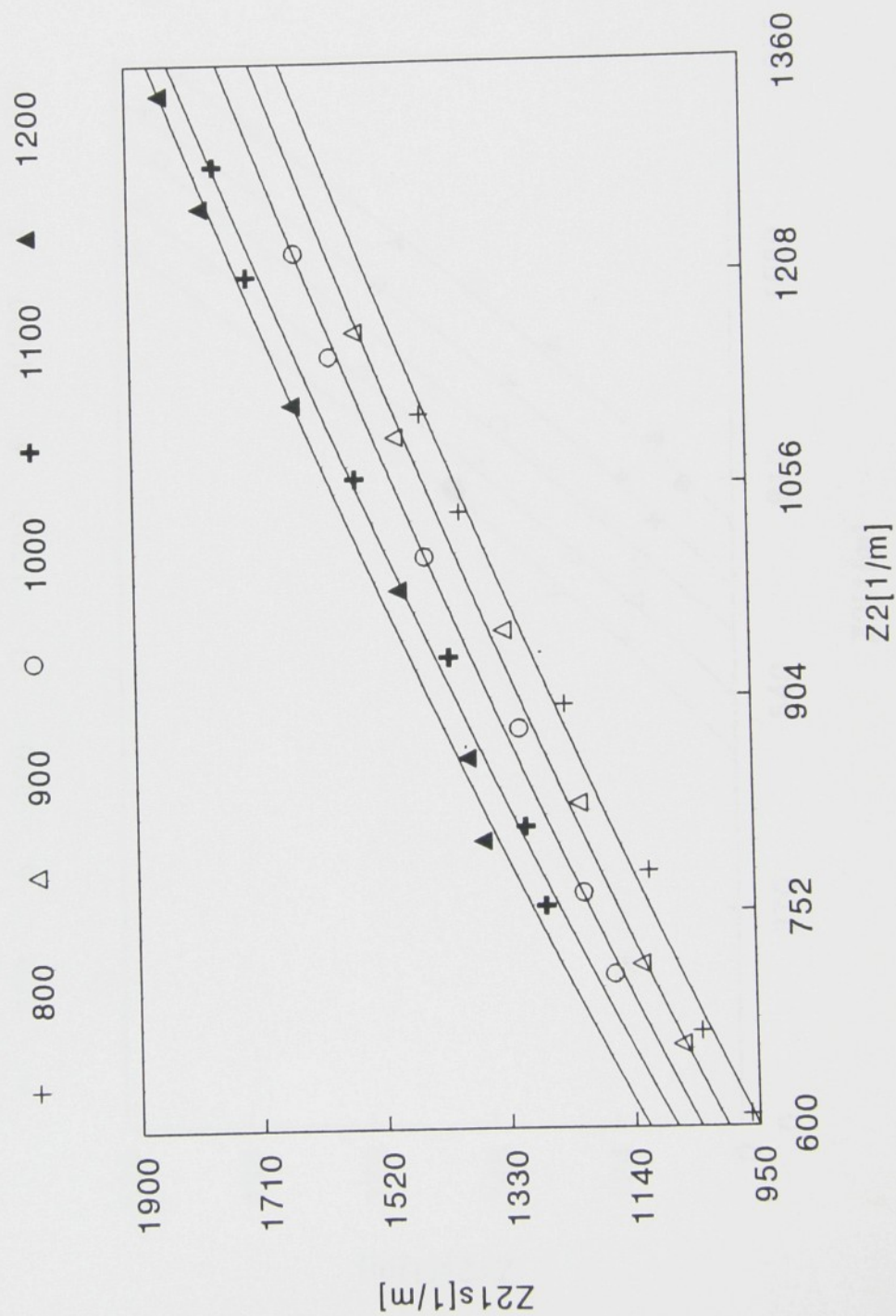
$$Z_l = 1390,8988 \text{ m}^{-1}$$

Tab. č.10 ... Vypočtené hodnoty Z_{l2s} , Z_{2ls} , Z_{l2t} , Z_{2lt} pro $Zl_l = 1200 \text{ m}^{-1}$

$Zl_2 [\text{m}^{-1}]$	800	850	950	1050	1150	1200
$s_2 [1]$	0,00354	0,01350	0,03258	0,05858	0,85208	0,10342
$\nu [\%]$	1,98	1,64	2,01	1,14	2,32	2,21
$\delta_{s2} [\%]$	0,93	0,77	0,94	0,53	1,09	1,03
$Z_2 [\text{m}^{-1}]$	802,850	861,632	981,997	1115,340	1257,117	1338,414
$\beta_{l2} [^\circ]$	1,155	1,660	3,860	7,180	10,210	11,710
$\nu [\%]$	3,21	2,97	2,66	3,11	2,06	2,87
$\delta_{l2} [\%]$	1,50	1,39	1,24	1,46	0,96	1,34
$\tan \beta_{l2}$	0,0202	0,0290	0,0675	0,1260	0,1801	0,2073
$Z_{l2s} [\text{m}^{-1}]$	-54,254	-77,988	-181,569	-339,003	-484,680	-557,778
$\beta_2 [^\circ]$	19,855	21,675	24,410	27,430	30,925	33,725
$\cos \beta_2$	0,9406	0,9293	0,9106	0,8876	0,8578	0,8317
$Z_{2ls} [\text{m}^{-1}]$	1367,122	1388,230	1490,797	1650,353	1788,987	1848,040
$Z_{l2t} [\text{m}^{-1}]$	680,668	646,805	576,614	512,247	465,798	465,058
$Z_{2lt} [\text{m}^{-1}]$	710,237	744,094	814,285	878,652	925,101	925,841

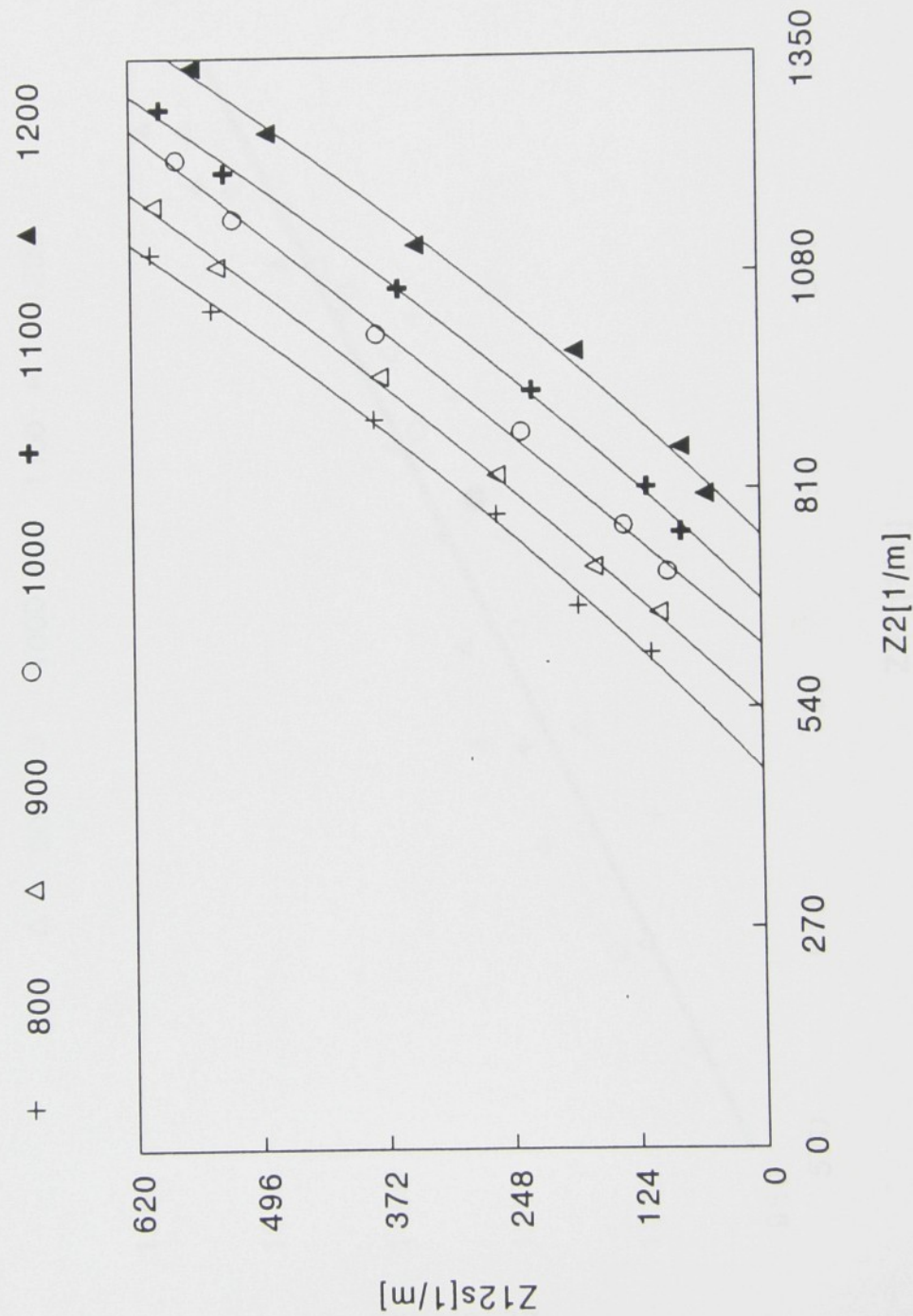
Graf č.1

Závislost Z21s(Z2)



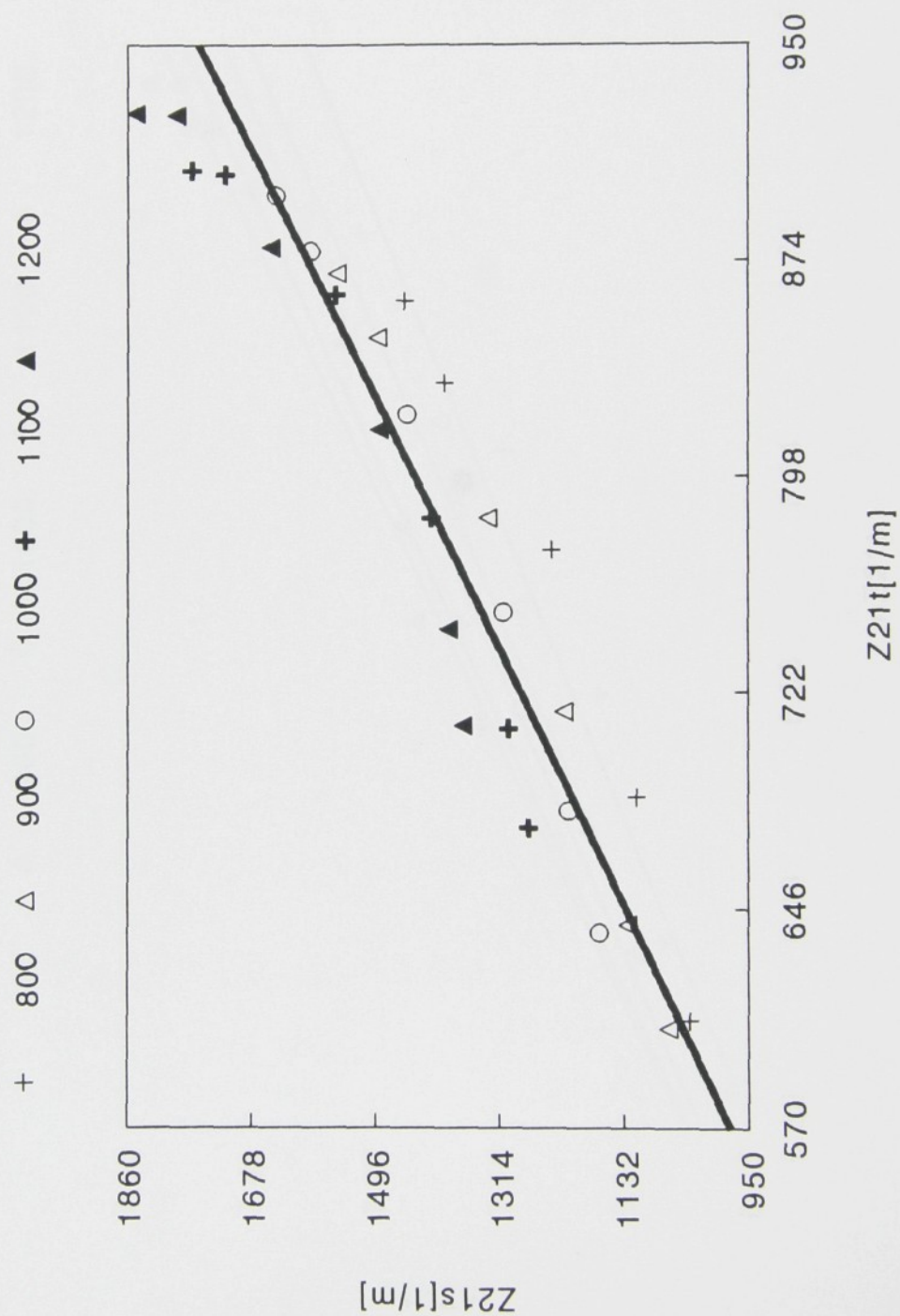
Graf č.2

Závislost Z12s(Z2)

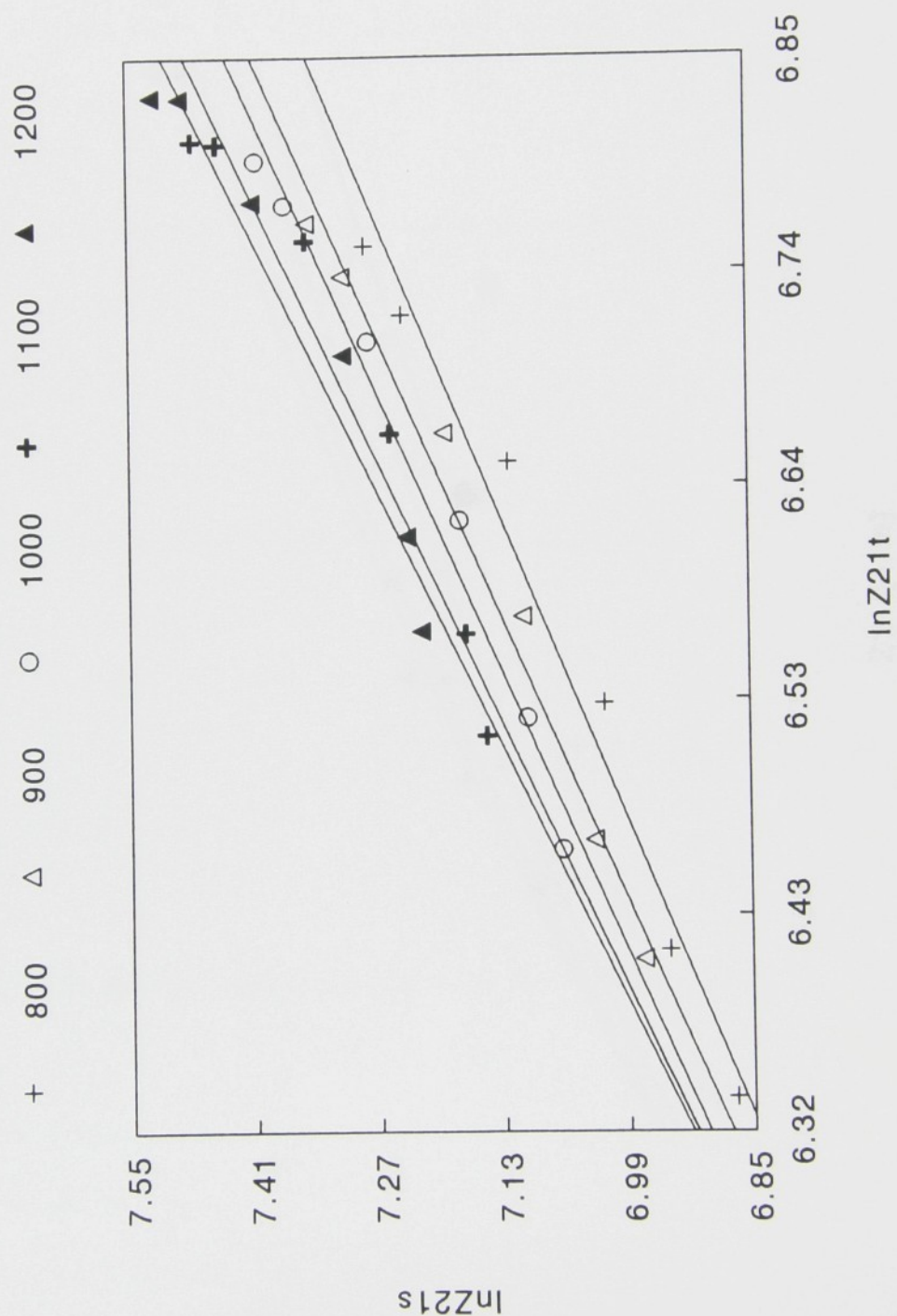


Graf č.3

Závislost $Z_{21s}(Z_{21t})$

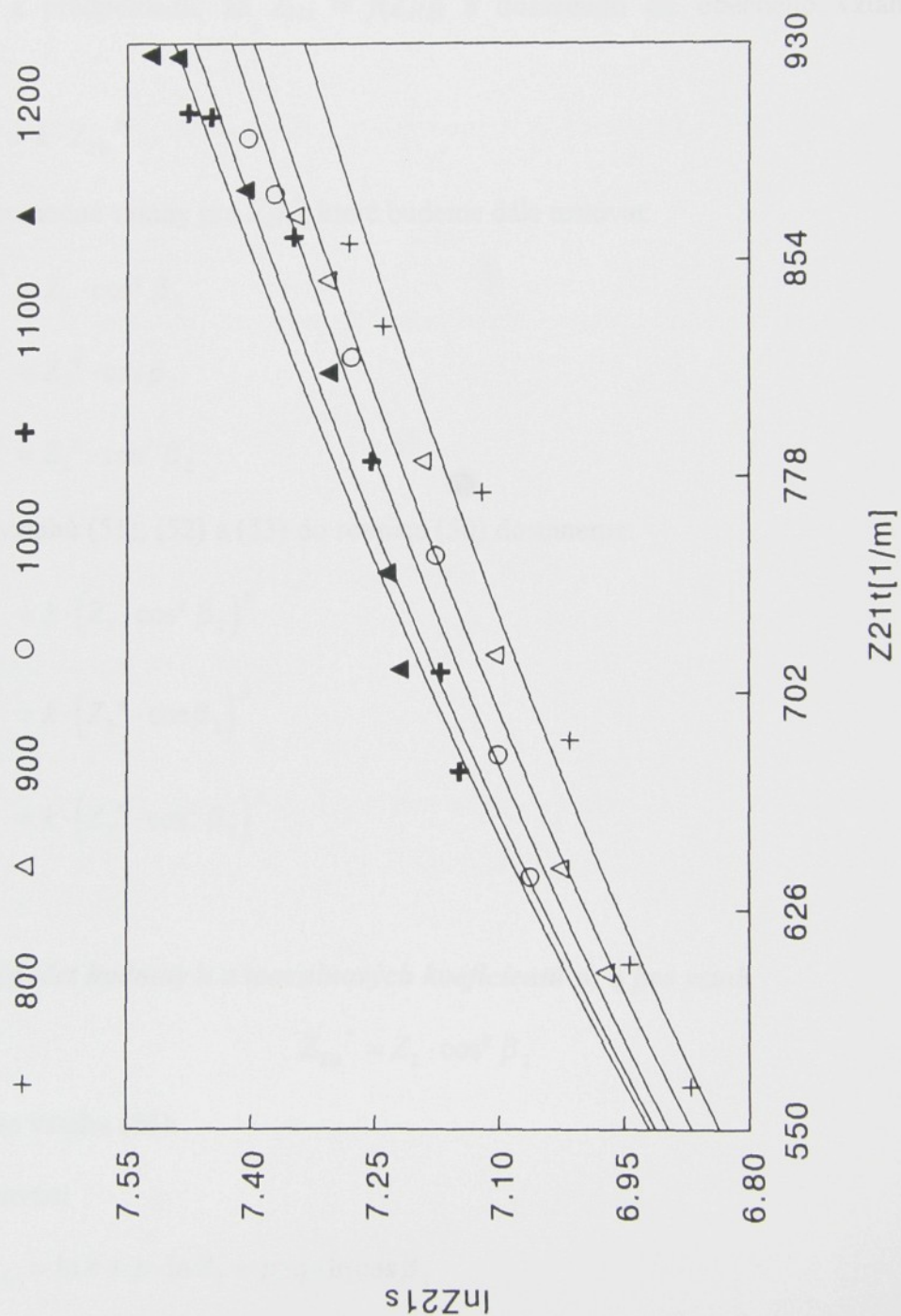


Závislost $\ln Z_{21s}(\ln Z_{21t})$



Graf č.5

Závislost $\ln Z_{21s}(Z_{21t})$



3. 3. 3. Testování vztahů pro výpočet teoretických distribučních zákrutů

V grafu č.3 je znázorněna funkční závislost skutečných distribučních zákrutů Z_{21s} na distribučních zákrutech teoretických Z_{21t} . Pokud by hodnoty Z_{21s} a Z_{21t} byly shodné, nevznikla by křivka, ale přímka pod úhlem 45° . Z grafu však vyplývá, že tomu tak není. Vztah pro výpočet Z_{21t} je tedy nevyhovující. Budeme se snažit najít optimální řešení. Vycházíme z předpokladu, že $Z_{21s} = f(Z_{21t})$ a dosazením do obecného vztahu (40) dostaneme:

$$Z_{21s} = k \cdot Z_{21t}^p \quad (50)$$

Zavedeme pomocné vztahy pro Z_{21t}^* , které budeme dále testovat:

$$Z_{21t}^* = Z_2 \cdot \cos^q \beta_2 \quad (51)$$

$$Z_{21t}^* = Z_2^q \cdot \cos \beta_2 \quad (52)$$

$$Z_{21t}^* = Z_2^q \cdot \cos^2 \beta_2 \quad (53)$$

Dosazením vztahů (51), (52) a (53) do rovnice (50) dostaneme:

$$Z_{21s} = k \cdot (Z_2 \cdot \cos^q \beta_2)^p \quad (54)$$

$$Z_{21s} = k \cdot (Z_2^q \cdot \cos \beta_2)^p \quad (55)$$

$$Z_{21s} = k \cdot (Z_2^q \cdot \cos^2 \beta_2)^p \quad (56)$$

3. 3. 3. 1. Výpočet hodnoty k a mocninových koeficientů p, q pro vztah

$$Z_{21t}^* = Z_2 \cdot \cos^q \beta_2$$

Vycházíme ze vztahu (54):

1) zlogaritmování

$$\ln Z_{21s} = \ln k + p \cdot \ln Z_2 + p \cdot q \cdot \ln \cos \beta_2$$

2) substituce:

$$\begin{aligned}\ln Z_{21s} &= Z_{21s} \\ \ln k &= K \\ p \cdot \ln Z_2 + p \cdot q \cdot \ln \cos \beta_2 &= p \cdot (Z_2 \cdot \cos^q \beta_2)\end{aligned}$$

3) získaný tvar po substituci:

$$Z_{21s} = K + p \cdot (Z_2 \cdot \cos^q \beta_2) \quad (57)$$

4) výpočet hodnoty k , mocninového koeficientu p a korelačního koeficientu r_{XY} podle vztahů z kap. 3.3.1.

5) výpočet hodnoty koeficientu q

Vycházíme z předpokladu, že první derivace koeficientu korelace r_{XY} podle koeficientu regrese je rovna nule:

$$\frac{dr_{XY}}{dq} = 0$$

Regresní rovnice: $Z_{21s} = 3,37283 \cdot (Z_2 \cdot \cos^{0,947138} \beta_2)^{0,891163}$

Koeficient korelace: $r_{XY} = 0,96047$

Chyby regrese

Pro stanovenou regresní rovnici byly vypočteny chyby regrese:

$$\delta_y^* = \frac{y - y^*}{y^*} \cdot 100 [\%] \quad (58)$$

kde: $y = Z_{21s}$

$$y^* = Z_{21t}$$

Vypočtené hodnoty chyb regrese jsou uvedeny v tabulce č.11.

Z hodnot získaných ze vztahu (58) určíme průměrnou chybu a směrodatnou odchylku:

$$\overline{\delta_Y^*} = 0,09612 \text{ [%]}$$

$$s = 4,73419$$

stanovení **intervalu chyby** dle vztahu:

$$\text{dolní mez } \overline{\delta_Y^*} - t_p s$$

$$\text{horní mez } \overline{\delta_Y^*} + t_p s$$

hodnota t_p byla odečtena z tabulek, pro počet měření $m = 20$ je $t_p = 2,0452$

interval chyby: $(-9,58625; 9,77850) \text{ [%]}$

Počet podprůměrných hodnot: 16

Počet nadprůměrných hodnot: 14

Chyby regrese z hodnot logaritmovaných

$$\delta_{\ln Y}^* = \frac{\ln y - \ln y^*}{\ln y^*} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (59)$$

kde: $\ln y = \ln Z_{2ts}$

$$\ln y^* = \ln Z_{2lt}$$

Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 11.

Z hodnot získaných ze vztahu (58) určíme průměrnou chybu a směrodatnou odchylku:

$$\overline{\delta_{\ln Y}^*} = -1,68667 \cdot 10^{-3} \text{ [%]}$$

$$s = 0,65822$$

Stanovení **intervalu chyby pro linearizovanou regresi** dle vztahu:

$$\text{dolní mez } \overline{\delta_{\ln Y}^*} - t_p s$$

$$\text{horní mez } \overline{\delta_{\ln Y}^*} + t_p s$$

interval chyby: (-1,34787;1,34450) [%]

Počet podprůměrných hodnot: 14

Počet nadprůměrných hodnot: 16

Z počtu podprůměrných a nadprůměrných hodnot se domníváme, že se jedná o přibližně normální rozdělení.

3. 3. 3. 2. Výpočet hodnoty k a mocninových koeficientů p , q pro vztah

$$Z_{21t}^* = Z_2^q \cdot \cos \beta_2$$

Vycházíme ze vztahu (55). Provedeme obdobné úpravy jako v kapitole 3.3.3.1 a získáme tvar:

$$Z_{21s} = K + p \cdot (Z_2^q \cdot \cos \beta_2) \quad (60)$$

Pro výpočet hodnoty k , mocninového koeficientu p a q a korelačního koeficientu r_{XY} platí stejné vztahy jako v kapitole 3.3.3.1.

Regresní rovnice: $Z_{21s} = 3,37927 \cdot (Z_2^{1,055805} \cdot \cos \beta_2)^{0,843773}$

Koeficient korelace: $r_{XY} = 0,96046$

Chyby regrese

Vztahy použité pro výpočty jsou uvedeny v kapitole 3.3.3.1. Vypočtené hodnoty chyby regrese jsou uvedeny v tabulce č.12.

$$\overline{\delta_Y^*} = 0,10722 \text{ [%]}$$

$$s = 4,73416$$

interval chyby: (-9,57509;9,78953) [%]

Počet podprůměrných hodnot: 15

Počet nadprůměrných hodnot: 15

Chyby regrese z hodnot logaritmovaných

Vypočtené hodnoty chyby regrese z hodnot logaritmovaných jsou uvedeny v tabulce č.12.

$$\overline{\delta_{\ln Y}^*} = -1,76666 \cdot 10^{-4} [\%]$$
$$s = 0,65814$$

interval chyby: (-1,34621;1,34586) [%]

Počet podprůměrných hodnot: 14

Počet nadprůměrných hodnot: 16

Z počtu podprůměrných a nadprůměrných hodnot se domníváme, že se jedná o přibližně normální rozdělení.

3. 3. 3. 3. Výpočet hodnoty k a mocninových koeficientů p, q pro vztah

$$Z_{21u}^* = Z_2^q \cdot \cos^2 \beta_2$$

Vycházíme ze vztahu (56). Provedeme obdobné úpravy jako v kapitole 3.3.3.1. a získáme tvar:

$$Z_{21s} = K + p \cdot (Z_2^q \cdot \cos^2 \beta_2) \quad (61)$$

Pro výpočet hodnoty k, mocninového koeficientu p a q a korelačního koeficientu r_{XY} platí stejné vztahy jako v kapitole 3.3.3.1.

Regresní funkce má rovnici: $Z_{21s} = 3,37289 \cdot (Z_2^{2,108287} \cdot \cos^2 \beta_2)^{0,42269}$

Koeficient korelace: $r_{XY} = 0,96043$

Chyby regrese

Vztahy použité pro výpočty jsou uvedeny v kap. 3.3.3.1.

Vypočtené hodnoty chyby regrese jsou uvedeny v tabulce č.13.

$$\overline{\delta_Y^*} = 0,11330 [\%]$$
$$s = 4,73501$$

interval chyby :(-9,57075;9,79736) [%]

Počet podprůměrných hodnot: 15

Počet nadprůměrných hodnot: 15

Chyby regrese z hodnot logaritmovaných

Vypočtené hodnoty chyby regrese z hodnot zlogaritmovaných jsou uvedeny v tabulce č.13.

$$\overline{\delta_{\ln r}}^* = 0,69110 \cdot 10^{-3} \text{ [%]}$$
$$s = 0,65823$$

interval chyby: (-1,34551;1,34689) [%]

Počet podprůměrných hodnot: 14

Počet nadprůměrných hodnot: 16

Z počtu podprůměrných a nadprůměrných hodnot domníváme, že se jedná o přibližně normální rozdělení.

V grafu č.6 je vynesena závislost skutečných distribučních zákrutů Z_{2ls} na $(Z_2 \cdot \cos^q \beta_2)$.

V grafu č.7 je vynesena závislost skutečných distribučních zákrutů Z_{2ls} na $(Z_2^q \cdot \cos \beta_2)$.

V grafu č.8 je vynesena závislost skutečných distribučních zákrutů Z_{2ls} na $(Z_2^q \cdot \cos^2 \beta_2)$.

Tab. č.11 ... Vypočtené hodnoty δ_{Z2l} a $\delta_{ln Z2l}$ pro testovaný vztah $Z_{2lr}^* = Z_2 \cdot \cos^q \beta_2$

$k \cdot (Z_2^q \cdot \cos \beta_2)^p \text{ [m}^{-1}\text{]}$	$Z_{2ls} \text{ [m}^{-1}\text{]}$	$\delta_{Z2l} \text{ [%]}$	$\delta_{ln Z2l} \text{ [%]}$
989,7842	962,5311	-2,7534	-0,4048
1065,4418	1035,9276	-2,7701	-0,4030
1207,2338	1112,5404	-7,8438	-1,1511
1356,6838	1237,0500	-8,8185	-1,2799
1496,0686	1394,2496	-6,8058	-0,9641
1565,2586	1452,9428	-7,1755	-1,0123
1056,2877	1066,6191	0,9781	0,1398
1125,6118	1126,8796	0,1126	0,0160
1264,2709	1218,7970	-3,5969	-0,5129
1402,0305	1330,4758	-5,1036	-0,7230
1544,3872	1492,2080	-3,3786	-0,4681
1611,7380	1552,6220	-3,6678	-0,5060
1118,5307	1167,2823	4,3585	0,6077
1192,5345	1212,8268	1,7016	0,2382
1328,4023	1307,6767	-1,5602	-0,2187
1466,2048	1448,7464	-1,1907	-0,1643
1606,7587	1590,6708	-1,0013	-0,1363
1670,2878	1641,8113	-1,7049	-0,2318
1181,7217	1271,0080	7,5556	1,0295
1248,2465	1300,0440	4,1496	0,5703
1389,0948	1414,1156	1,8012	0,2467
1536,4414	1554,2309	1,1578	0,1569
1665,3666	1716,8677	3,0925	0,4106
1716,8390	1765,7043	2,8462	0,3768
1241,7383	1367,1217	10,0974	1,3502
1309,0692	1388,2299	6,0471	0,8181
1445,5861	1490,7970	3,1079	0,4206
1584,9346	1650,3526	4,1275	0,5489
1713,3048	1788,9873	4,4173	0,5805
1765,0143	1848,0396	4,7039	0,6149

Tab. č.12 ... Vypočtené hodnoty δ_{Z2l} a $\delta_{\ln Z2l}$ pro testovaný vztah $Z_{2l}^* = Z_2^q \cdot \cos \beta_2$

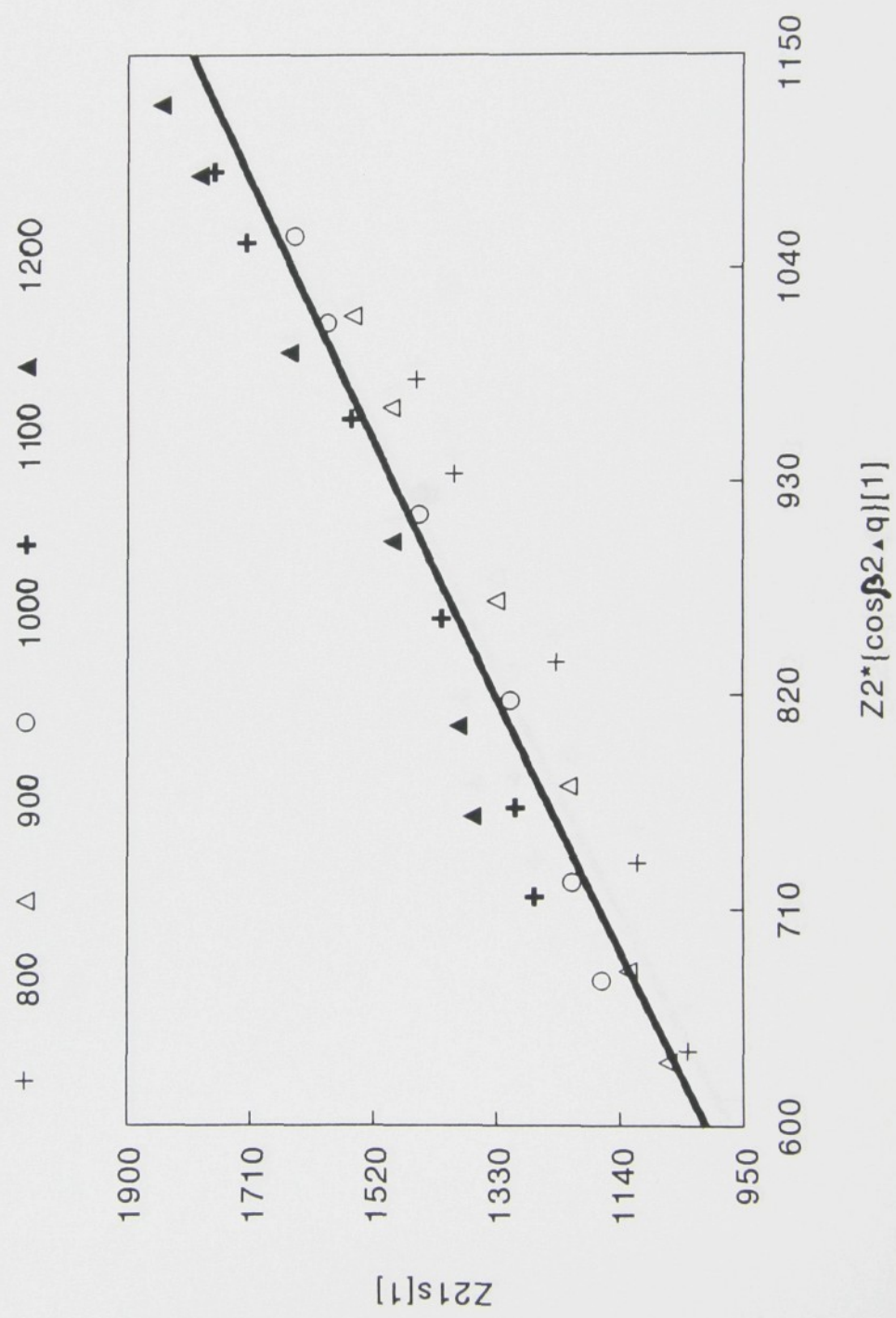
$k \cdot (Z_2 \cdot \cos^q \beta_2)^p \text{ [m}^{-1}\text{]}$	$Z_{2ls} \text{ [m}^{-1}\text{]}$	$\delta_{Z2l} \text{ [%]}$	$\delta_{\ln Z2l} \text{ [%]}$
989,7310	962,5311	-2,7482	-0,4040
1065,3817	1035,9276	-2,7647	-0,4023
1207,1382	1112,5404	-7,8365	-1,1500
1356,5435	1237,0500	-8,8090	-1,2785
1495,8525	1394,2496	-6,7923	-0,9622
1564,9984	1452,9428	-7,1601	-1,0100
1056,2260	1066,6191	0,9840	0,1406
1125,9499	1126,8796	0,0826	0,0117
1264,1448	1218,7970	-3,5872	-0,5115
1401,8453	1330,4758	-5,0911	-0,7212
1544,1230	1492,2080	-3,3621	-0,4658
1611,4183	1552,6220	-3,6487	-0,5033
1118,6636	1167,2823	4,3461	0,6060
1192,4392	1212,8268	1,7097	0,2393
1328,2561	1307,6767	-1,5494	-0,2171
1466,0022	1448,7464	-1,1771	-0,1624
1606,4653	1590,6708	-0,9830	-0,1338
1669,9373	1641,8113	-1,6843	-0,2289
1181,6296	1271,0080	7,5640	1,0307
1248,1312	1300,0440	4,1592	0,5716
1388,9296	1414,1156	1,8133	0,2483
1536,2244	1554,2309	1,1721	0,1588
1665,0413	1716,8677	3,1126	0,4132
1716,4325	1765,7043	2,8706	0,3800
1241,6351	1367,1217	10,1066	1,3514
1308,9391	1388,2299	6,0576	0,8195
1445,6644	1490,7970	3,1219	0,4225
1584,7245	1650,3526	4,1413	0,5507
1712,9503	1788,9873	4,4389	0,5833
1764,5761	1848,0396	4,7299	0,6182

Tab. č.13 ... Vypočtené hodnoty δ_{Z2l} a $\delta_{ln Z2l}$ pro testovaný vztah $Z_{2lt}^* = Z_2^q \cdot \cos^2 \beta_2$

$k \cdot (Z_2^q \cdot \cos^2 \beta_2)^p \text{ [m}^{-1}\text{]}$	$Z_{2ls} \text{ [m}^{-1}\text{]}$	$\delta_{Z2l} \text{ [%]}$	$\delta_{ln Z2l} \text{ [%]}$
989,6788	962,5311	-2,7431	-0,4033
1065,3247	1035,9276	-2,7595	-0,4014
1207,0722	1112,5404	-7,8315	-1,1493
1356,4677	1237,0500	-8,8039	-1,2777
1495,7673	1394,2496	-6,7870	-0,9614
1564,9086	1452,9428	-7,1548	-1,0093
1056,1696	1066,6191	0,9894	0,1414
1125,8891	1126,8796	0,0880	0,0125
1264,0750	1218,7970	-3,5819	-0,5107
1401,7664	1330,4758	-5,0857	-0,7204
1544,0346	1492,2080	-3,3566	-0,4650
1611,3254	1552,6220	-3,6432	-0,5025
1118,3915	1167,2823	4,3715	0,6095
1192,3740	1212,8268	1,7153	0,2401
1328,1821	1307,6767	-1,5439	-0,2164
1465,9191	1448,7464	-1,1715	-0,1616
1606,3728	1590,6708	-0,9775	-0,1331
1669,8404	1641,8113	-1,6786	-0,2281
1181,6296	1271,0080	7,5699	1,0314
1248,1312	1300,0440	4,1650	0,5724
1388,9296	1414,1156	1,8190	0,2491
1536,2244	1554,2309	1,1779	0,1596
1665,0413	1716,8677	3,1186	0,4140
1716,4325	1765,7043	2,8766	0,3808
1241,6351	1367,1217	10,1126	1,3522
1308,9291	1388,2299	6,0635	0,8202
1445,6644	1490,7970	3,1278	0,4233
1584,7245	1650,3526	4,1473	0,5515
1712,9503	1788,9873	4,4450	0,5840
1764,5761	1848,0396	4,7361	0,6190

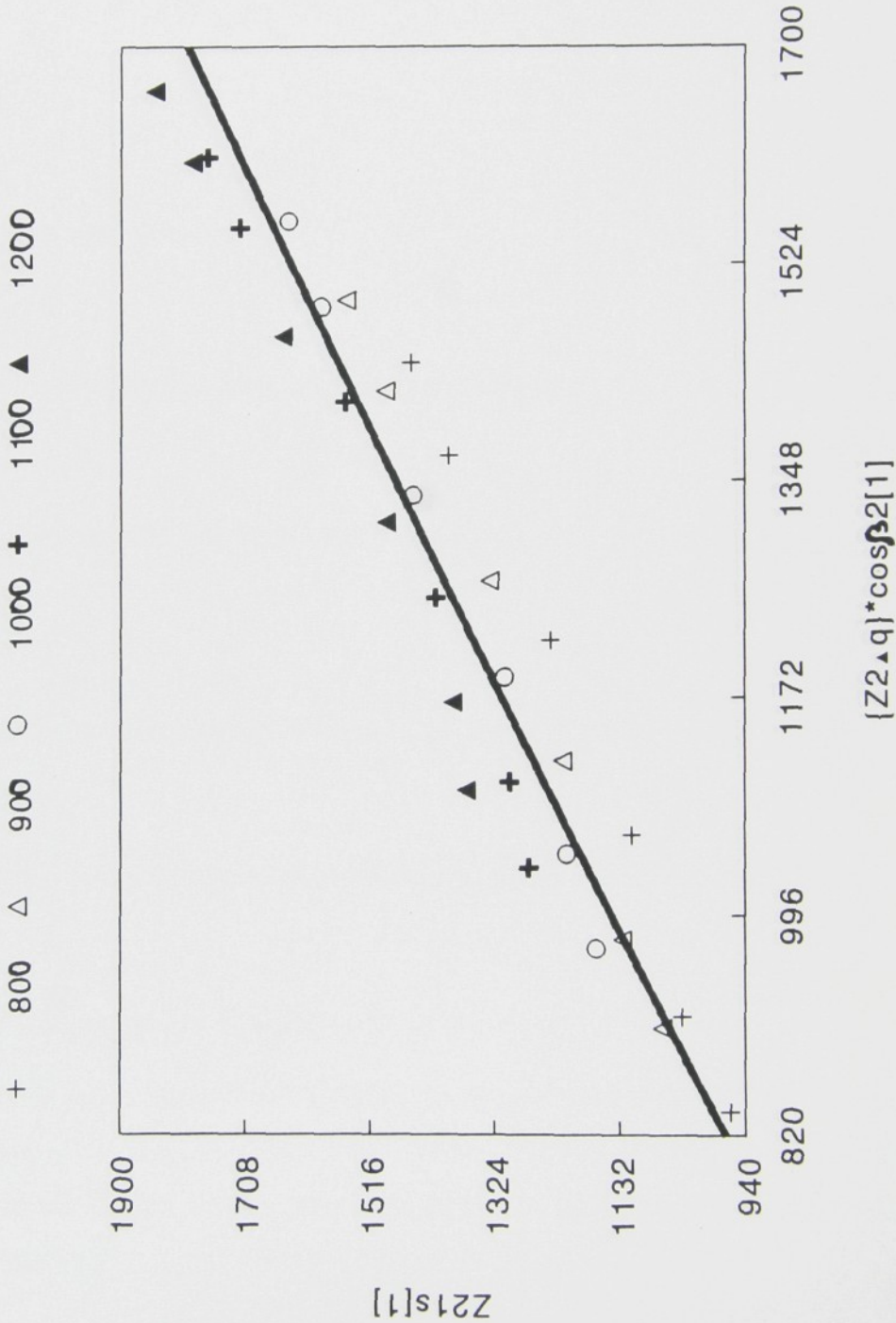
Graf č.6

Závislost $Z_{21s}(Z_{2s}^* \{\cos \beta_{2s} q\})$



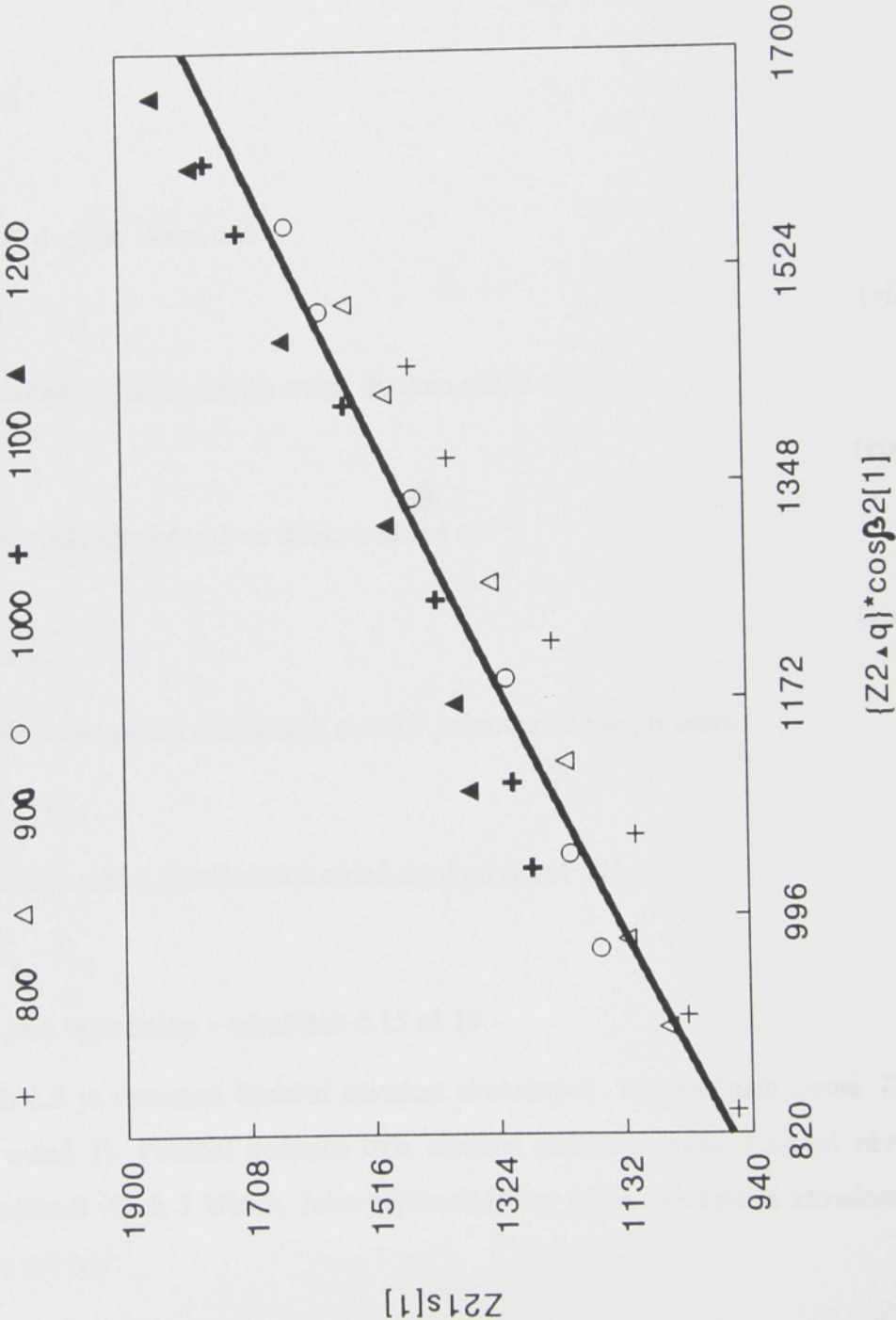
Graf č.7

Závislost $Z_{21s}(\{Z_{2\Delta}q\} \cdot \cos\beta_2)$



Graf č.8

Závislost $Z_{21s}(\{Z_{2\Delta}q\} \cdot \cos\beta_2)$



3. 4. Distribuční oviny

3. 4. 1. Stanovení skutečných distribučních ovinů z naměřených hodnot

Vycházíme ze vztahu:

$$Z_1 = \frac{T_1}{l_1} \quad (\text{viz.29})$$

pro $l_1 = 1$ m platí :

$$Z_1 = T_1$$

1) Výpočet délky dvojmo skané nitě :

$$l_2 = l_1 \cdot (1 - s_2) \quad (\text{viz.4})$$

2) Výpočet skutečného počtu skacích ovinů dvojmo skané nitě :

$$T_2 = Z_2 \cdot l_2 \quad (\text{viz.30})$$

3) Výpočet délky jednoduché nitě ve dvojmo skané niti :

$$l_{12} = \frac{l_2}{\cos \beta_2} \quad (\text{viz.27})$$

4) Výpočet výsledného počtu skutečných ovinů v jednoduché niti po skaní :

$$T_{12s} = l_{12} \cdot Z_{12s} \quad (62)$$

Výpočet skutečného počtu distribučních ovinů dvojmo skané nitě :

$$T_{21s} = T_1 - T_{12s} \quad (63)$$

Dané hodnoty jsou vypočítány v tabulkách č.15 až 19.

V grafu č.9 je vynesena funkční závislost skutečných distribučních ovinů T_{21s} na skacím počtu ovinů T_2 . Pomocí počítače byla hledána taková regresní funkční závislost, která nejlépe nahradí všech 5 křivek. Jako nejvhodnější se zdála mocninová závislost, jejíž obecná rovnice má tvar:

$$y = k \cdot x^p \quad (\text{viz.40})$$

Další úprava obecné rovnice je obdobná jako v kapitole 3.3.1., jedná se tedy o linearizovanou regresi.

Tab. č.14 ... Rovnice křivek pro jednotlivé T_1 a hodnoty koeficientů korelace.

T_1	rovnice křivky	r_{XY}
874,0652	$T_{21s} = 5,993281 \cdot T_2^{0,79648}$	0,9938
995,3377	$T_{21s} = 6,156585 \cdot T_2^{0,79927}$	0,9958
1120,8858	$T_{21s} = 6,685698 \cdot T_2^{0,79186}$	0,9959
1252,4055	$T_{21s} = 5,660170 \cdot T_2^{0,82198}$	0,9927
1390,8988	$T_{21s} = 6,191573 \cdot T_2^{0,81247}$	0,9911

3. 4. 2. Stanovení teoretických distribučních ovinů z doposud používaných teoretických vztahů

1) Výpočet teoretických distribučních ovinů T_{2lt} podle vztahu:

$$T_{12t} = T_2 \cdot \cos \beta_2 \quad (64)$$

2) Výpočet teoretického výsledného počtu ovinů v jednoduchých nitích po skaní T_{12t} podle vztahu:

$$T_{2lt} = T_1 - T_{2lt} \quad (65)$$

Dané hodnoty jsou vypočítány v tabulkách č. 15 až 19.

V grafu č. 10 je vynesena funkční závislost skutečných distribučních ovinů T_{2ls} na teoretických distribučních ovinech T_{2lt} . Pomocí počítače byla hledána taková regresní funkční závislost, která nejlépe nahradí všech 5 křivek. Jako nejvhodnější se zdála mocninová závislost, jejíž obecná rovnice má tvar:

$$y = k \cdot x^p \quad (\text{viz. 40})$$

Hodnota k a mocninový koeficient p byly vypočteny počítačem (také SW SlideWrite Plus – Version 5.0) z grafu č. 10 a jejich dosazením do obecné rovnice získáme regresní rovnici pro výpočet hodnot skutečných distribučních zákrutů Z_{2ls} .

Regresní rovnice: $T_{2ls} = 0,609154 \cdot T_{2lt}^{1,161269}$

Koeficient korelace: $r_{XY} = 0,964148$

V grafu č. 11 je vynesena funkční závislost $\ln T_{2ls}$ na $\ln T_{2lt}$. Z grafických závislostí vyplývá, že se jedná o přímky. Závislost T_{2ls} na T_{2lt} je mocninová.

V grafu č. 12 je vynesena funkční závislost $\ln T_{2ls}$ na T_{2lt} . Pokud bychom mohli body proložit přímkou jednalo by se o závislost exponenciální. Z grafu však vyplývá, že tomu tak není, závislost T_{2ls} na T_{2lt} je tedy mocninová.

MATERIÁL: PAD

$$T_0 = 13,3 \text{ tex}$$

$$N = 32$$

$$P_m = 0,018 \text{ N}\cdot\text{tex}^{-1}$$

$$\rho = 1150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$m = 20$$

$$l_1 = 1 \text{ m}$$

$$Z_l = 874,0652 \text{ m}^{-1}$$

$$T_l = Z_l$$

Tab. č.15 ... Vypočtené hodnoty T_{l2s} , T_{2ls} , T_{l2t} , T_{2lt} pro $Zl_l = 800 \text{ m}^{-1}$

$Zl_2 [\text{m}^{-1}]$	600	650	750	850	950	1000
$s_2 [1]$	0,01375	0,02542	0,03929	0,05488	0,08421	0,09708
$l_2 [\text{m}]$	0,98625	0,97458	0,96071	0,94513	0,91579	0,90292
$Z_2 [\text{m}^{-1}]$	608,365	666,952	780,674	899,352	1037,354	1107,522
$T_2 [1]$	600	650	750	850	950	1000
$\beta_2 [^\circ]$	15,510	17,41	20,450	22,090	26,510	28,230
$\cos \beta_2$	0,9636	0,9542	0,9370	0,9266	0,8949	0,8811
$l_{l2} [\text{m}]$	1,0235	1,0214	1,0253	1,0200	1,0234	1,0248
$Z_{l2s} [\text{m}^{-1}]$	-108,554	-180,154	-260,066	-380,117	-540,166	-600,040
$T_{l2s} [1]$	-111,107	-184,005	-266,653	-387,719	-552,803	-614,928
$T_{2ls} [1]$	985,173	1058,070	1140,718	1261,784	1426,868	1488,993
$T_{l2t} [1]$	295,915	253,843	171,332	86,460	23,952	-6,991
$T_{2lt} [1]$	578,150	620,222	702,733	787,605	850,114	881,056

MATERIÁL: PAD

$$T_0 = 13,3 \text{ tex}$$

$$N = 32$$

$$P_m = 0,018 \text{ N} \cdot \text{tex}^{-1}$$

$$\rho = 1150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$m = 20$$

$$l_1 = 1 \text{ m}$$

$$Z_l = 996,0694 \text{ m}^{-1}$$

$$T_l = Z_l$$

Tab. č.16 ... Vypočtené hodnoty T_{l2s} , T_{2ls} , T_{l2b} , T_{2lt} pro $Zl_l = 900 \text{ m}^{-1}$

$Zl_2 \text{ [m}^{-1}\text{]}$	650	700	800	900	1000	1050
$s_2 \text{ [l]}$	0,01150	0,02025	0,03492	0,05496	0,08346	0,10017
$l_2 \text{ [m]}$	0,98850	0,97975	0,96508	0,94504	0,91654	0,89983
$Z_2 \text{ [m}^{-1}\text{]}$	657,562	714,468	828,944	952,340	1091,058	1166,883
$T_2 \text{ [l]}$	650	700	800	900	1000	1050
$\beta_2 \text{ [}^\circ\text{]}$	16,520	18,740	21,735	24,920	28,240	30,320
$\cos \beta_2$	0,9587	0,9470	0,9289	0,9069	0,8810	0,8632
$l_{l2} \text{ [m]}$	1,0311	1,0346	1,0389	1,0421	1,0404	1,0424
$Z_{l2s} \text{ [l]}$	-100,557	-164,120	-260,066	-374,610	-534,793	-597,082
$T_{l2s} \text{ [l]}$	-103,681	-169,798	-270,194	-390,366	-556,385	-622,408
$T_{2ls} \text{ [l]}$	1099,750	1165,867	1266,264	1386,435	1552,454	1618,477
$T_{l2t} \text{ [l]}$	372,901	333,179	252,944	179,862	115,096	89,689
$T_{2lt} \text{ [l]}$	623,168	662,891	743,125	816,207	880,973	906,380

MATERIÁL: PAD

$$T_0 = 13,3 \text{ tex}$$

$$N = 32$$

$$P_m = 0,018 \text{ N} \cdot \text{tex}^{-1}$$

$$\rho = 1150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$m = 20$$

$$l_l = 1 \text{ m}$$

$$Z_l = 1120,8858 \text{ m}^{-1}$$

$$T_l = Z_l$$

Tab. č.17 ... Vypočtené hodnoty T_{l2s} , T_{2ls} , T_{l2t} , T_{2lt} pro $Zl_l = 1000 \text{ m}^{-1}$

$Zl_2 [\text{m}^{-1}]$	700	750	850	950	1050	1100
$s_2 [1]$	0,01096	0,02033	0,03692	0,05529	0,08688	0,10158
$l_2 [\text{m}]$	0,98904	0,97967	0,96308	0,94471	0,91313	0,89842
$Z_2 [\text{m}^{-1}]$	707,756	765,567	882,582	1005,601	1149,897	1224,376
$T_2 [1]$	700	750	850	950	1050	1100
$\beta_2 [^\circ]$	18,315	19,485	22,795	25,460	29,135	31,140
$\cos \beta_2$	0,9493	0,9427	0,9219	0,9029	0,8735	0,8559
$l_{l2} [\text{m}]$	1,0418	1,0392	1,0447	1,0463	1,0454	1,0497
$Z_{l2s} [\text{m}^{-1}]$	-91,387	-134,203	-234,726	-377,483	-518,457	-573,962
$T_{l2s} [1]$	-95,208	-139,462	-245,212	-394,968	-541,991	-602,470
$T_{2ls} [1]$	1216,094	1260,348	1366,098	1515,854	1662,877	1723,355
$T_{l2t} [1]$	456,345	413,839	337,273	263,144	203,737	179,389
$T_{2lt} [1]$	664,540	707,047	783,612	857,741	917,149	941,497

MATERIÁL: PAD

$$T_0 = 13,3 \text{ tex}$$

$$N = 32$$

$$P_m = 0,018 \text{ N}\cdot\text{tex}^{-1}$$

$$\rho = 1150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$m = 20$$

$$l_l = 1 \text{ m}$$

$$Z_l = 1252,4055 \text{ m}^{-1}$$

$$T_l = Z_l$$

Tab. č.18 ... Vypočtené hodnoty T_{l2s} , T_{2ls} , T_{l2t} , T_{2lt} pro $Zl_l = 1100 \text{ m}^{-1}$

$Zl_2 [\text{m}^{-1}]$	750	800	900	1000	1100	1150
$s_2 [1]$	0,008917	0,015833	0,036125	0,058417	0,089250	0,106458
$l_2 [\text{m}]$	0,99108	0,98417	0,96388	0,94158	0,91075	0,89354
$Z_2 [\text{m}^{-1}]$	756,748	812,870	933,731	1062,041	1207,796	1287,013
$T_2 [1]$	750	800	900	1000	1100	1150
$\beta_2 [^\circ]$	19,250	20,920	23,670	25,725	30,085	32,980
$\cos \beta_2$	0,9441	0,9341	0,9159	0,9009	0,8653	0,8389
$l_{l2} [\text{m}]$	1,0498	1,0536	1,0524	1,0452	1,0525	1,0652
$Z_{l2s} [\text{m}^{-1}]$	-77,988	-111,377	-224,081	-355,955	-526,986	-589,941
$T_{l2s} [1]$	-81,870	-117,349	-235,826	-372,034	-554,677	-628,396
$T_{2ls} [1]$	1334,276	1369,754	1488,231	1624,440	1807,083	1880,802
$T_{l2t} [1]$	544,339	505,142	428,120	351,518	300,595	287,716
$T_{2lt} [1]$	708,067	747,264	824,286	900,888	951,811	964,690

MATERIÁL: PAD

$$T_0 = 13,3 \text{ tex}$$

$$N = 32$$

$$P_m = 0,018 \text{ N}\cdot\text{tex}^{-1}$$

$$\rho = 1150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$m = 20$$

$$l_l = 1 \text{ m}$$

$$Z_l = 1390,8988 \text{ m}^{-1}$$

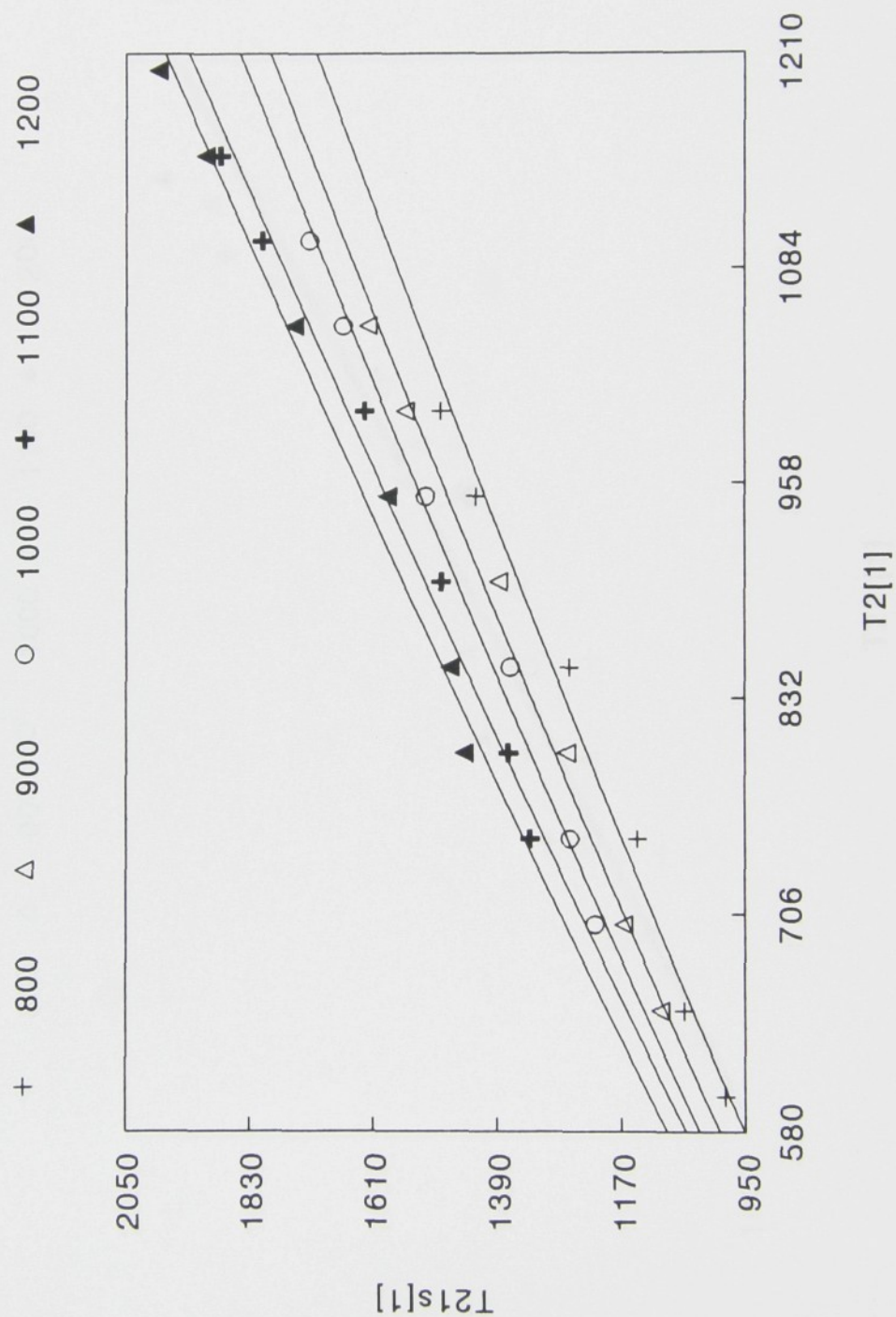
$$T_l = Z_l$$

Tab. č.19 ... Vypočtené hodnoty T_{l2s} , T_{2ls} , T_{l2t} , T_{2lt} pro $Zl_l = 1200 \text{ m}^{-1}$

$Zl_2 [\text{m}^{-1}]$	800	850	950	1050	1150	1200
$s_2 [1]$	0,00354	0,01350	0,03258	0,05858	0,85208	0,10342
$l_2 [\text{m}]$	0,99645	0,98650	0,96742	0,94141	0,91479	0,89658
$Z_2 [\text{m}^{-1}]$	802,850	861,632	981,997	1115,340	1257,117	1338,414
$T_2 [1]$	800	850	950	1050	1150	1200
$\beta_2 [^\circ]$	19,855	21,675	24,410	27,430	30,925	33,725
$\cos \beta_2$	0,9406	0,9293	0,9106	0,8876	0,8578	0,8317
$l_{l2} [\text{m}]$	1,0594	1,0616	1,0624	1,0607	1,0664	1,0780
$Z_{l2s} [\text{m}^{-1}]$	-54,254	-77,988	-181,569	-339,003	-484,679	-557,778
$T_{l2s} [1]$	-57,479	-82,789	-192,896	-359,568	-516,857	-601,283
$T_{2ls} [1]$	1448,378	1473,688	1583,795	1750,467	1907,756	1992,182
$T_{l2t} [1]$	638,455	600,999	525,818	458,946	404,382	392,844
$T_{2lt} [1]$	752,444	789,900	865,081	931,953	986,517	998,054

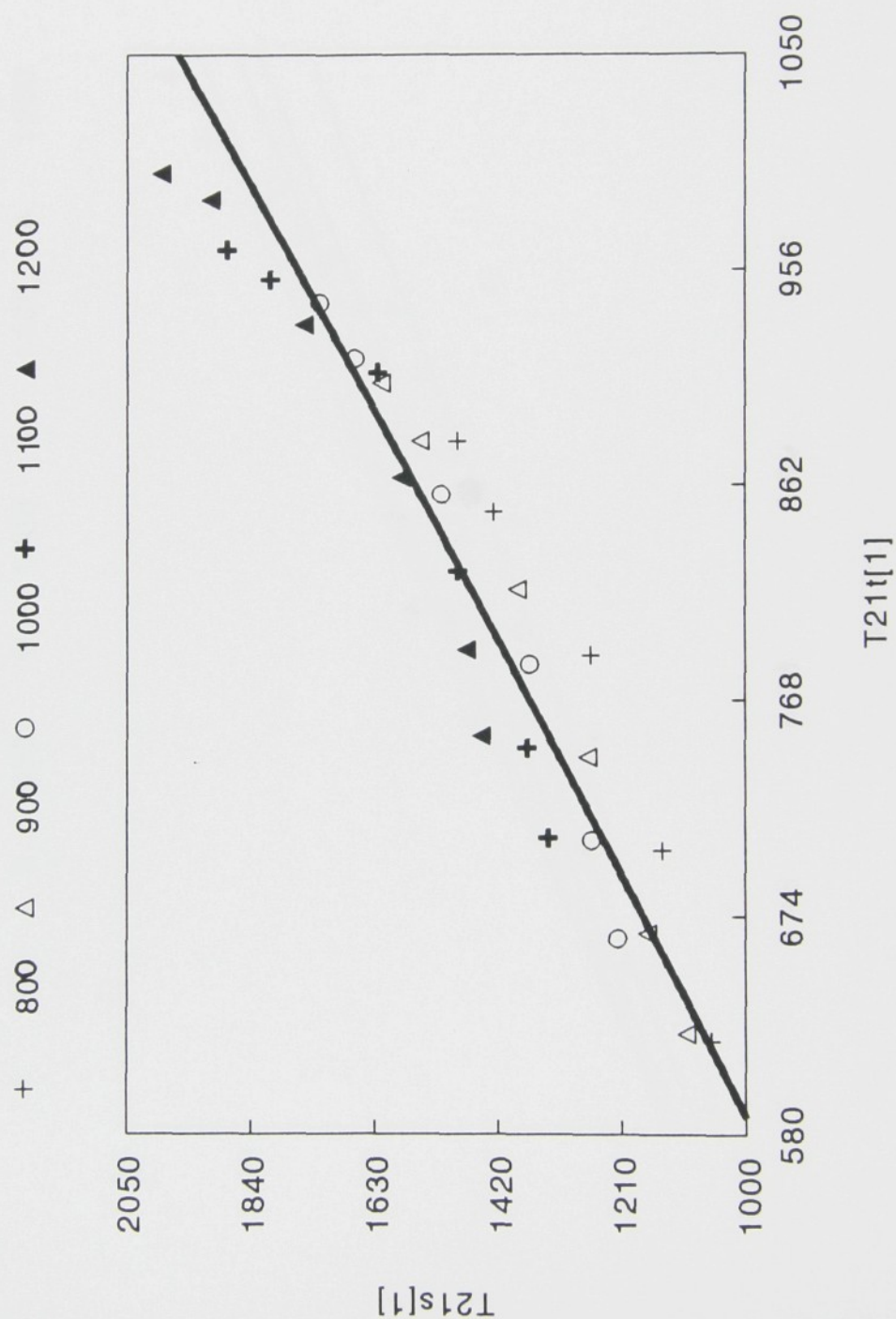
Graf č.9

Závislost $T_{21s}(T_2)$



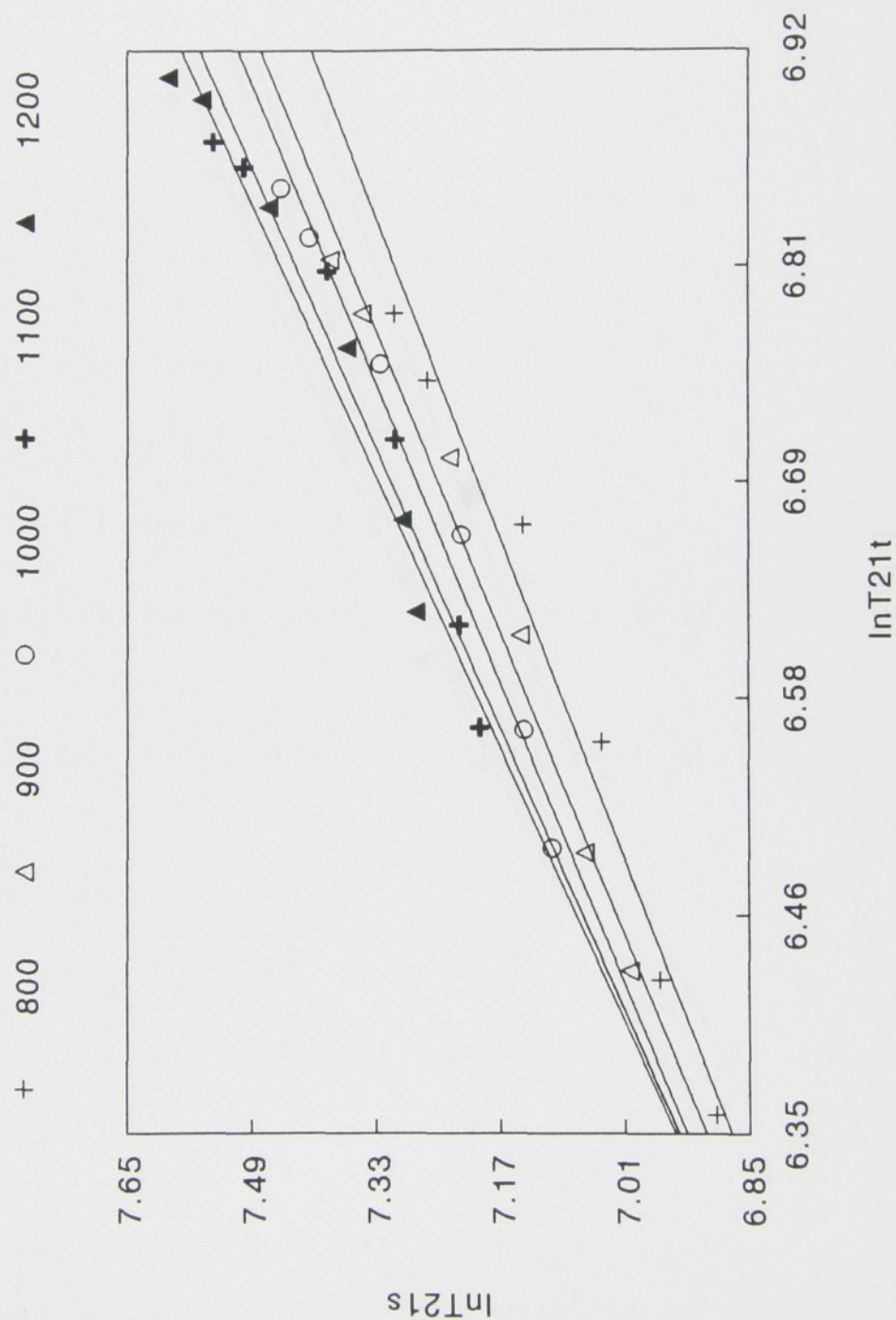
Graf č.10

Závislost $T_{21s}(T_{21t})$



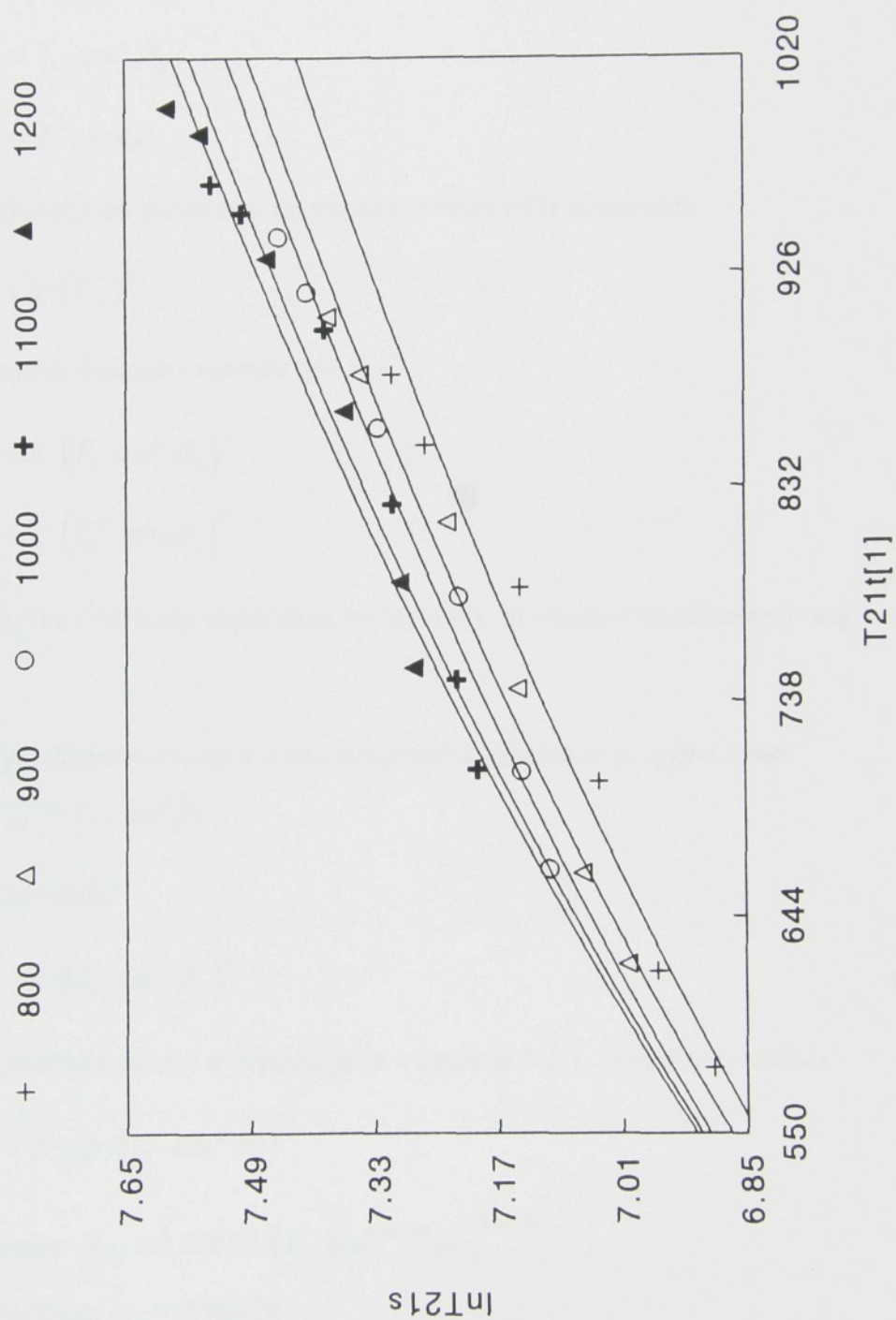
Graf č.11

Závislost $\ln T_{21s}(\ln T_{21t})$



Graf č.12

Závislost $\ln T_{21s}(T_{21t})$



3. 4. 3. Testování vztahů pro výpočet teoretických distribučních ovinů

V grafu č.10 je znázorněna funkční závislost skutečných distribučních ovinů T_{21s} na distribučních ovinech teoretických T_{21t} . Pokud by hodnoty T_{21s} a T_{21t} byly shodné, nevznikla by křivka, ale přímka pod úhlem 45° . Vztah pro výpočet T_{21t} je tedy nevyhovující a zavedeme proto T_{21t}^* kde :

$$T_{21t}^* = T_2 \cdot \cos^q \beta_2 \quad (66)$$

$$T_{21t}^* = T_2^q \cdot \cos \beta_2 \quad (67)$$

Dosazením skutečných parametrů do obecné rovnice (40) dostaneme:

$$T_{21s} = k \cdot (T_{21t})^p \quad (68)$$

kde za T_{21t} budou dosazeny rovnice pro T_{21t}^* :

$$\text{tedy: } T_{21s} = k \cdot (T_2 \cdot \cos^q \beta_2)^p \quad (69)$$

$$T_{21s} = k \cdot (T_2^q \cdot \cos \beta_2)^p \quad (70)$$

Pro vztahy (69) a (70) bude vypočítána hodnota k a mocninové koeficienty p a q .

3. 4. 3. 1. Vypočítání hodnoty k a mocninových koeficientů p , q pro vztah

$$T_{21t}^* = T_2 \cdot \cos^q \beta_2$$

Vycházíme ze vztahu:

$$T_{21s} = k \cdot (T_2 \cdot \cos^q \beta_2)^p \quad (\text{viz. 69})$$

Provedeme obdobné úpravy a výpočty jako v kapitole 3.3.1 dostaneme rovnici:

$$T_{21s} = K + p \cdot (T_2 \cdot \cos^q \beta_2)^p \quad (70)$$

Regresní rovnice: $T_{21s} = 1,05850 \cdot (T_2 \cdot \cos^{0,68146} \beta_2)^{1,07386}$

Koeficient korelace: $r_{XY} = 0,96479$

Chyby regrese

Vztahy použité pro výpočty jsou uvedeny v kapitole 3.3.3.1.

Vypočtené hodnoty chyby regrese jsou uvedeny v tabulce č.20.

$$\overline{\delta_Y^*} = 0,15017 \text{ [%]}$$

$$s = 4,74840$$

interval chyby: (-9,56126;9,86160) [%]

Počet podprůměrných hodnot: 15

Počet nadprůměrných hodnot: 15

Z počtu podprůměrných a nadprůměrných hodnot se domníváme, že se jedná o normální rozdělení.

Chyby regrese z hodnot zlogaritmovaných

Vypočtené hodnoty chyby regrese pro zlogaritmované hodnoty jsou uvedeny v tabulce č.21.

$$\overline{\delta_{\ln Y}^*} = 5,68167 \cdot 10^{-3} \text{ [%]}$$

$$s = 0,65728$$

interval chyby: (-1,33859;1,34995) [%]

Počet podprůměrných hodnot: 15

Počet nadprůměrných hodnot: 15

Z počtu podprůměrných a nadprůměrných hodnot se domníváme, že se jedná o normální rozdělení.

3. 4. 3. 2. Výpočet hodnoty k a mocninových koeficientů p, q pro vztah

$$T_{21r}^* = T_2^q \cdot \cos \beta_2$$

Vycházíme ze vztahu:

$$T_{21s} = k \cdot \left(T_2^q \cdot \cos \beta_2 \right)^p \quad (\text{viz. 70})$$

Provedeme obdobné úpravy jako v kapitole 3.3.3.1. a získáme tvar:

$$T_{21s} = K + p \cdot (T_2^q \cdot \cos \beta_2) \quad (72)$$

Pro výpočet hodnoty k , mocninového koeficientu p a q a korelačního koeficientu r_{XY} platí stejné vztahy jako v kap. 3.3.1.

Regresní rovnice: $T_{21s} = 1,05797 \cdot (T_2^{1,46795} \cdot \cos \beta_2)^{0,73148}$

Koeficient korelace: $r_{XY} = 0,96479$

Chyby regrese

Vztahy použité pro výpočty jsou uvedeny v kapitole 3.3.3.1.

Vypočtené hodnoty chyby regrese jsou uvedeny v tabulce č.21

$$\overline{\delta_Y} = 0,11907 \text{ [\%]}$$
$$s = 4,72308$$

interval chyby: $(-9,54057; 9,77871) \text{ [\%]}$

Počet podprůměrných hodnot: 15

Počet nadprůměrných hodnot: 15

Z počtu podprůměrných a nadprůměrných hodnot se domníváme, že se jedná o normální rozdělení.

Chyby regrese pro zlogaritmované hodnoty

Vypočtené hodnoty chyby regrese pro zlogaritmované hodnoty jsou uvedeny v tabulce č.21.

$$\overline{\delta_{\ln Y}} = 1,53667 \cdot 10^{-3} \text{ [\%]}$$
$$s = 0,65381$$

interval chyby: $(-1,33563; 1,33870) \text{ [\%]}$

Počet podprůměrných hodnot: 15

Počet nadprůměrných hodnot: 15

Z počtu podprůměrných a nadprůměrných hodnot se domníváme, že se jedná o normální rozdělení.

V grafu č.13 je vynesena funkční závislost skutečných distribučních ovinů T_{2ls} na $T_2 \cdot \cos^q \beta_2$ a v grafu č.14 je vynesena funkční závislost skutečných distribučních zákrutů T_{2ls} na $T_2^q \cdot \cos \beta_2$.

Tab. č.20 ... Vypočtené hodnoty δ_{T2I} a $\delta_{\ln T2I}$ pro testovaný vztah $T_{2I}^* = T_2 \cdot \cos^q \beta_2$

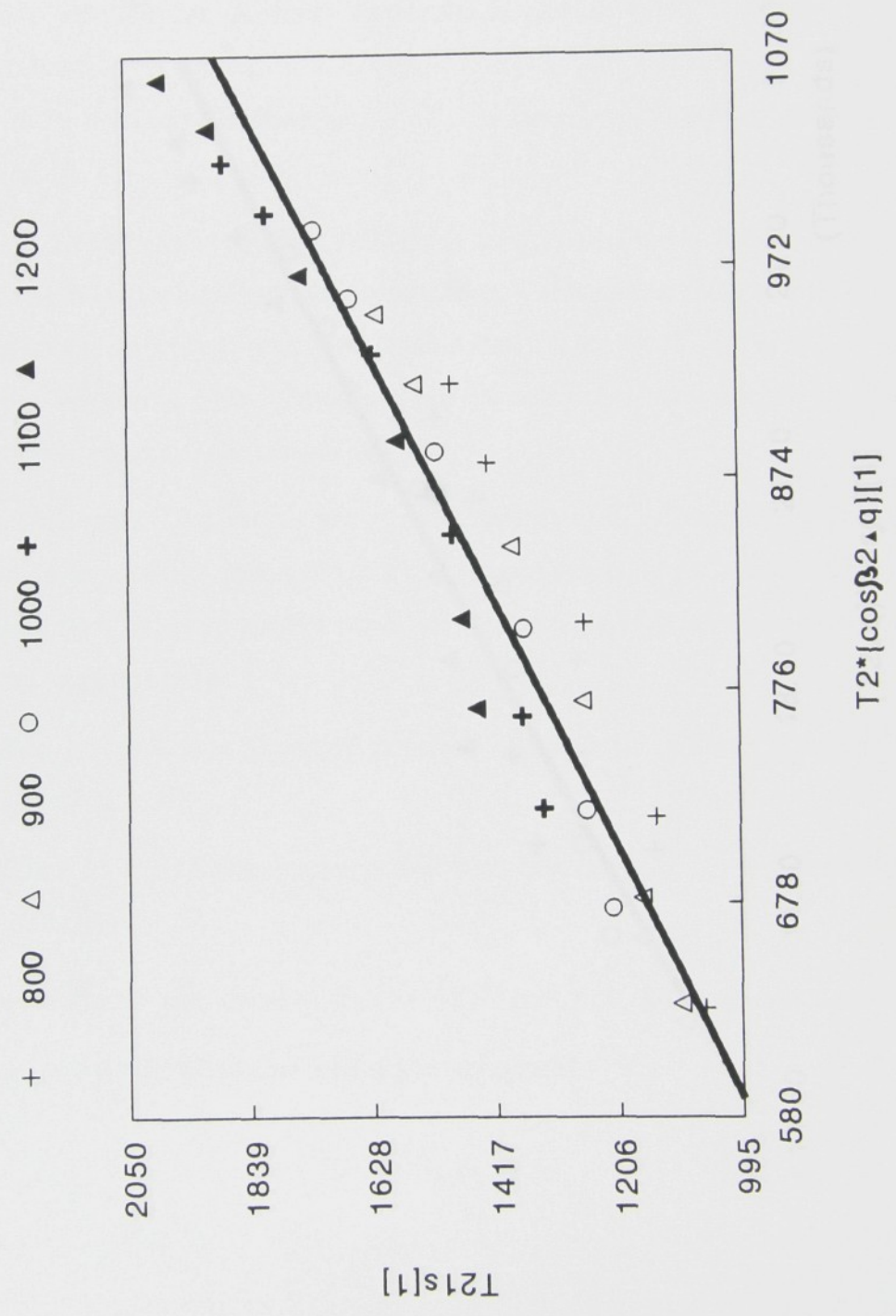
$k \cdot (T_2 \cdot \cos^q \beta_2)^p$ [I]	T_{2Is} [I]	δ_{T2I} [%]	$\delta_{\ln T2I}$ [%]
990,9068	985,1725	-0,5787	-0,0841
1072,1247	1058,0700	-1,3109	-0,1891
1233,6685	1140,7178	-7,5345	-1,1006
1399,6842	1261,7843	-9,8522	-1,4318
1537,5359	1426,8681	-7,1977	-1,0180
1606,2298	1488,9932	-7,2989	-1,0267
1075,3267	1099,7501	2,2713	0,3217
1153,9464	1165,8673	1,0330	0,1458
1313,2050	1266,2637	-3,5746	-0,5070
1464,3379	1386,4350	-5,3200	-0,7500
1605,3251	1552,4543	-3,2935	-0,4537
1666,6560	1618,4773	-2,8907	-0,3954
1156,0493	1216,0942	5,1940	0,7180
1238,5893	1260,3475	1,7567	0,2445
1393,7909	1366,0981	-1,9869	-0,2772
1546,8461	1515,8541	-2,0036	-0,2756
1681,1234	1662,8768	-1,0854	-0,1469
1741,1586	1723,3553	-1,0225	-0,1377
1239,8961	1334,2755	7,6119	1,0299
1318,5577	1369,7543	3,8828	0,5302
1474,9303	1488,2311	0,9018	0,1230
1631,7838	1624,4399	-0,4501	-0,0610
1755,0961	1807,0826	2,9620	0,3907
1799,6143	1880,8016	4,5114	0,5887
1325,2323	1448,3784	9,2924	1,2360
1401,9659	1473,6876	5,1158	0,6886
1556,5223	1583,7948	1,7521	0,2363
1700,9313	1750,4669	2,9123	0,3859
1829,3092	1907,7558	4,2883	0,5590
1872,0061	1992,1818	6,4196	0,8258

Tab. č.21 ... Vypočtené hodnoty δ_{T2l} a $\delta_{\ln T2l}$ pro testovaný vztah $T_{2li}^* = T_2^q \cdot \cos \beta_2$

$k \cdot (T_2^q \cdot \cos \beta_2)^p$ [1]	T_{2ls} [1]	δ_{T2l} [%]	$\delta_{\ln T2l}$ [%]
990,4240	985,1725	-0,5302	-0,0771
1071,6061	1058,0700	-1,2632	-0,1822
1233,0587	1140,7178	-7,4888	-1,0937
1398,9851	1261,7843	-9,8072	-1,4250
1536,7708	1426,8681	-7,1515	-1,0113
1605,4217	1488,9932	-7,2528	-1,0201
1075,8551	1099,7501	2,2210	0,3147
1154,5152	1165,8673	0,9833	0,1388
1313,8570	1266,2637	-3,6224	-0,5138
1465,0669	1386,4350	-5,3671	-0,7568
1606,1231	1552,4543	-3,3415	-0,4604
1667,4811	1618,4773	-2,9388	-0,4020
1156,6199	1216,0942	5,1421	0,7109
1239,2038	1260,3475	1,7602	0,2375
1394,4855	1366,0981	-2,0357	-0,2841
1547,6197	1515,8541	-2,0525	-0,2824
1681,9607	1662,8768	-1,1346	-0,1536
1742,0219	1723,3553	-1,0175	-0,1444
1240,5117	1334,2755	7,5585	1,0229
1319,2142	1369,7543	3,8311	0,5232
1475,6682	1488,2311	0,8513	0,1162
1632,6043	1624,4399	-0,5001	-0,0678
1755,9712	1807,0826	2,9108	0,3841
1800,5025	1880,8016	4,4598	0,5821
1325,8944	1448,3784	9,2378	1,2289
1402,6674	1473,6876	5,0632	0,6816
1557,3041	1583,7948	1,7011	0,2295
1701,7854	1750,4669	2,8606	0,3791
1830,2224	1907,7558	4,2363	0,5523
1872,9310	1992,1818	6,3671	0,8192

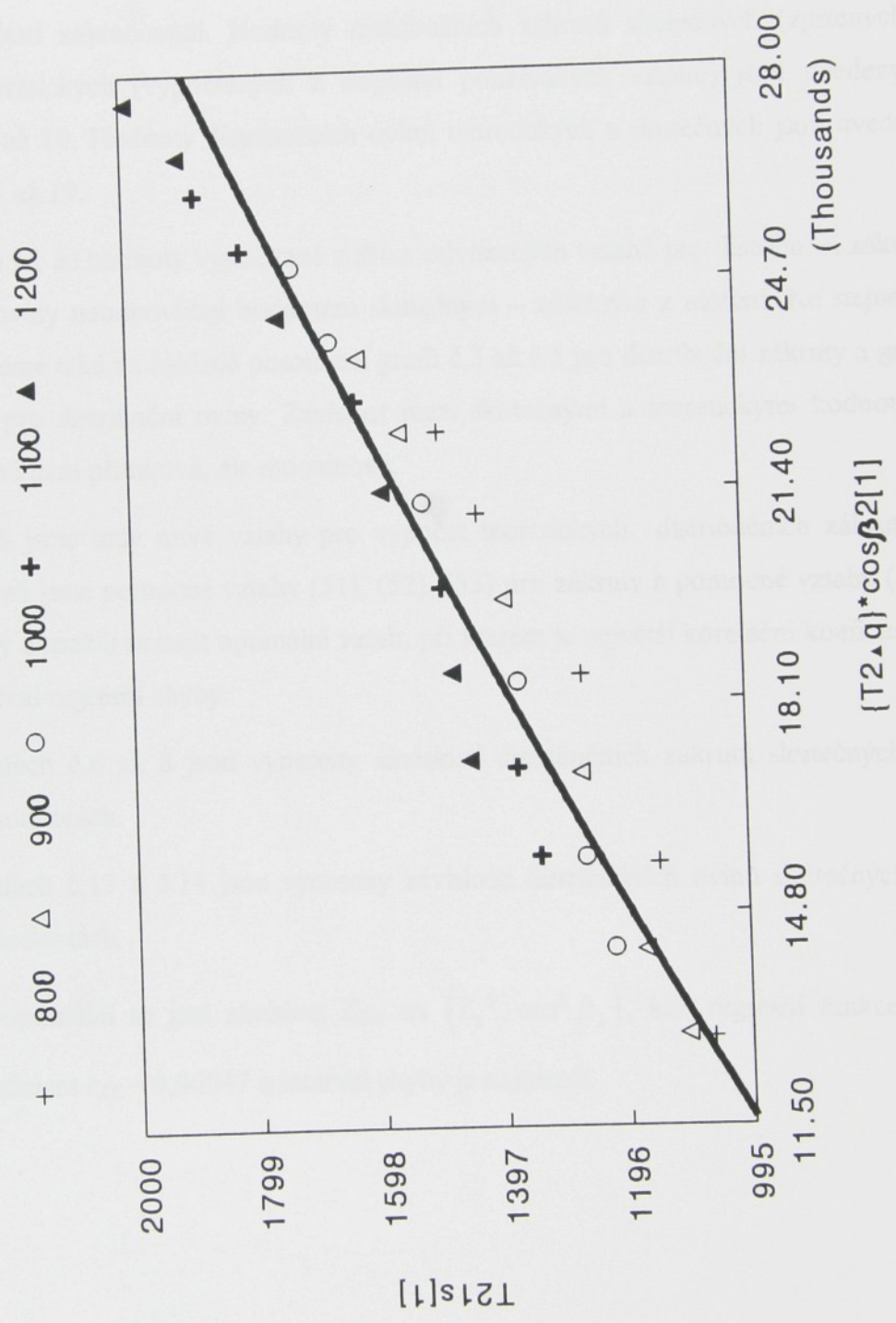
Graf č.13

Závislost $T_{21s}(T_{2s}^*\{\cos\beta_{2s}q\})$



Graf č.14

Závislost $T_{21s}(\{T_{2\Delta}q\} \cdot \cos\beta_2)$



4. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo popsat kvalitativní a kvantitativní stránku distribuce skacích zákrutů a skacích ovinů do jednoduchých nití u PAD hedvábí, což bylo provedeno teoreticko-experimentální analýzou procesu skaní opačným skacím zákrutem při skaní dvojmo v oblasti zakrucování. Hodnoty distribučních zákrutů skutečných (zjištěných z měření) a teoretických (vypočtených z doposud používaných vztahů) jsou uvedeny v tabulkách č.6 až 10. Hodnoty distribučních ovinů teoretických a skutečných jsou uvedeny v tabulkách č.15 až 19.

Zjistilo se, že hodnoty vypočítané z dříve odvozených vztahů pro distribuční zákruty a distribuční oviny neodpovídají hodnotám skutečným – zjištěným z měření. Ke stejnému závěru dospějeme také na základě posouzení grafů č.3 až č.5 pro distribuční zákruty a grafů č.10 až č.12 pro distribuční oviny. Závislost mezi skutečnými a teoretickými hodnotami zákrutů a ovinů není přímková, ale mocninová.

Hledali jsme tedy nové vztahy pro výpočet teoretických distribučních zákrutů a ovinů. Testovali jsme pomocné vztahy (51), (52), (53) pro zákruty a pomocné vztahy (66), (67) pro oviny a snažili se najít optimální vztah, při kterém je největší korelační koeficient a nejmenší interval regresní chyby.

V grafech č.6 až 8 jsou vyneseny závislosti distribučních zákrutů skutečných na testovaných hodnotách.

V grafech č.13 a č.14 jsou vyneseny závislosti distribučních ovinů skutečných na testovaných hodnotách.

Jako optimální se jeví závislost Z_{21s} na $\left(Z_2^q \cdot \cos^2 \beta_2\right)$, kde regresní funkce má korelační koeficient $r_{XY} = 0,96047$ a interval chyby je nejmenší.

Pro oviny pak závislost T_{21s} na $(T_2^q \cdot \cos \beta_2)$, kde je korelační koeficient $r_{XY} = 0.96479$.

Chyby regrese pro distribuční zákruty jsou uvedeny v tabulkách č. 11 až 13. Chyby regrese pro distribuční oviny jsou uvedeny v tabulkách č. 20 a 21.

Regresní závislosti mají poměrně malý koeficient korelace a větší regresní chyby, z toho vyplývá, že závislosti budou poněkud složitější a do vztahu nebyl zahrnut vliv, který výrazným způsobem ovlivnil odlišnost hodnot teoretických a skutečných. V úvahu přichází počet zákrutů ZI_1 a ZI_2 a jeho vliv na koeficient radiální deformace.

V dalších pracích by tedy bylo vhodné zaměřit se na jiné aspekty, kterém mají pravděpodobně vliv na odlišnost hodnot teoretických a skutečných a také proměřit jiné druhy materiálů.

Seznam použité literatury

[1] Vojtechová, L.:

Experimentální analýza skaní souhlasným skacím zákrutem. Diplomová práce,
VŠST Liberec, 1994

[2] Manal Ali Mohamed Ahmed Abdalla:

Experimentální analýza skaní souhlasným skacím zákrutem. Diplomová práce,
VŠST Liberec, 1995

[3] Jirásková, P.:

Experimentální analýza skaní opačným skacím zákrutem. Diplomová práce,
VŠST Liberec, 1995

[4] Marko, J.:

Skaní a nekonvenční přádelnické výroby, přednášky VŠST Liberec, 1994 – 1995

[5] Marko, J.:

Řízení kvality v přádelnách, přednášky VŠST Liberec, 1994 – 1995

[6] Marko, J.:

Jádrová skaná nit. Kandidátská disertační práce, VŠST Liberec, 1990

[7] Likeš, Laga:

Základní statistické tabulky, Praha SNTL, 1978

[8] Neckář, B.:

Příze, Praha SNTL, 1990