

Vysoká škola: **strojní a textilní Liberec**

Katedra: **materiálu a tváření**

Fakulta: **strojní**

Školní rok: **1966/67**

DIPLOMNÍ ÚKOL

pro **Jaroslava O b s t a**

odbor **strojírenská technologie**

Protože jste splnil požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomní úkol:

Název tématu: **Stanovte vliv rychlosti nástroje na rozdělení deformace na vzorku a modelu rotačního hlubokého výtažku**

Pokyny pro vypracování:

1. Zákon podobnosti a jeho aplikace při tváření plechu
2. Stanovení podmínek pro modelové zkoušky
3. Vlastnosti plechu pro vzorek a model
4. Vyhodnocení deformace vzorku a modelu
5. Zhodnocení vlivu rychlosti nástroje a přetvárné rychlosti

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. srpence 1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 81 ze dne 31. 3. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

V 45/62 S

Rozsah grafických laboratorních prací:

Rozsah průvodní zprávy:

40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. Siebel-Beisswänger: Hluboké tažení SNTL Praha 1958
2. Oehler: Plechy a jejich zkoušení, SNTL Praha 1958
3. Drastík: Rozbory modelových zkoušek plastického tečení kovů ČSAV 1964
4. Pankuin: Der Einfluss der Ziehgeschwindigkeit auf das Tiefziehen in Anschlag. Blech 6-1959, č. 9 str. 391-396
5. Zajcev: Zakon mechičeskogo podobija pri deformacii raznyh metallov. Zavodskaja laboratorija tom XVI 1950
6. Šechtěr: Maximalnaja skorost deformacii pri glubokoj vytažke listovyh metallov Kuzněčno-štampovočnoje proizvodstvo č. 12. 1962

Vedoucí diplomní práce:

Ing. Jaroslav Křištof

Konsultanti:

Ing. Viktor Mikeš

Datum zahájení diplomní práce:

2.10.1967

Datum odevzdání diplomní práce:

30.10.1967



hmes
Doc. Ing. Miroslav Kořínek CSc

Vedoucí katedry

Höschl
Prof. Ing. Cyril Höschl

Děkan

v

Liberci

dne

30. srpna

196 7

1. Úvod.

Tváření kovů nabývá ve srovnání s obráběním v hromadné výrobě stále většího významu. Hluboké tažení zaujímá mezi tvářecími výrobními způsoby zvláštní postavení, protože je základním druhem zpracování plechů pro rozmanité spotřební předměty. S rozvojem automobilového a leteckého průmyslu nabývá hluboké tažení stále většího významu. Cílem tváření je vyrobit při nejmenších ztrátách materiálu a s nejmenším počtem operací výtažky v konečném tvaru, aby je bylo možno zamontovat bez jakékoliv další dodatečné úpravy.

Tvarování hlubokým tažením je tak mnohostranné, že bude třeba dlouholetého soustavného výzkumu, aby se vysvětlily mnohé problémy. Dosavadní známe teoretické práce se zabývají jen souměrnými rotačními, popřípadě čtvercovými výtažky. Většinou jsme tedy odkázáni na výzkum vztahů pomocí pokusů. Při navrhování vhodné technologie se vychází většinou ze zkušeností předchozí výroby. Protože dodatečné úpravy nástrojů jsou pracné a velmi drahé, je snaha navrženou technologií předem ověřit.

Vhodnost ověření navržené technologie je nejlépe patrná s uvedeného ekonomického rozboru [7]
Náklady na výrobu 7. nástrojů pro vnější kloubový plech polonápravy vozů Škoda 1000 MB:

celková hodnota nástrojů 53 000 Kčs

náklady na vyzkoušení 13 000 Kčs

Náklady na vyzkoušení představují tedy 24,5 %

celkový pořizovacích nákladů.

Připočteme-li k tomu jeden zrušený nástroj z důvodů neověření technologie, pak se zvýší náklady na zkoušení o dalších 13,5 %.

Jako další příklad uvedu velice obtížný výlisek rámu dveří, jehož lisovatelnost byla ověřena nástrojem z plastické hmoty.

sada sedmi nástrojů představuje 1 580 000 Kčs
ověřovací nástroj z plastické hmoty

měl pořizovací cenu 115 000 Kčs

To představuje 7,3 % z celkové hodnoty všech nástrojů. Náklady na vyzkoušení byly potom pouhých 30 000 Kčs, to je necelá 2% z celkových pořizovacích nákladů.

Použití modelového zařízení se náklady na ověření ještě podstatně sníží. Podle dostupných pramenů [8] činí náklady na modelový nástroj méně nežli 15 % pořizovací ceny skutečného nástroje.

V případě ověřování rámu dveří [9], kdy pořizovací náklady takového nástroje činí 249 000 Kčs by modelový nástroj stál 16 000 Kčs

Teprve v posledních letech se objevil způsob ověřování navržené technologie pomocí malého modelu.

Problematika modelových nástrojů nebyla dosud dostatečně zpracována. Autoři dostupné, převážně zahraniční literatury se zabývají problémy převážně teoreticky. U nás se modelovými zkouškami zabýval F. Drastík [3]. Ten však prováděl modelové zkoušky při objemovém tváření. Modelové zkoušky při hlubokém tažení prováděl v rámci diplomové práce I. Bureš [9] a B. Drbohlav [7]. Na tyto práce jsem částečně navázal.

Při praktických zkouškách jsem byl omezen dostupným zařízením, takže jsem pro porovnání volil vzorek i model jednoduchého rotačního tvaru.

2. Způsoby ověřování výrobní technologie.

Praktické zkušenosti technologa a konstruktéra nástrojů většinou určují technologii výroby, ovšem v některých případech obtížných nepravidelných výlisků nelze již na tyto zkušenosti spoléhat. Je nutno si lisovatelnost některou z dostupných metod ověřit. Volba metody závisí na počtu výlisků, na kapacitě a výrobních možnostech nářadovny.

2. 1. Úpravy kovového nástroje.

Zpravidla jde o první tahový nástroj, který se v předstihu nakreslí a vyrobí. Nakreslení takového nástroje je výsledkem konstruktérových zkušeností. Po vyrobení je nástroj slícován a začíná se lisovat. Při praskání a vlnění výlisků je první snahou užít lepšího plechu bez ohledu na výkresový předpis. Když jsou materiálové možnosti plechu vyčerpány, musí se přistoupit k úpravě nástroje. Jakákoliv úprava kovového nástroje je velmi pracná a proto drahá. Nemá-li nářadovna zkušební lis, musí se úpravy nástroje provádět v provozu lisovny a tím se snižuje jejich kapacita. Této metody je možno použít pouze v případech, kdy se jedná o menší množství výlisků [9].

2. 2. Ověřovací nástroj z plastických hmot.

Použití nástroje z plastických hmot na ověření lisovatelnosti má tyto výhody:

- a) snadná a rychlá výroba nástroje
- b) prováděné úpravy jsou méně pracné než u nástroje kovového
- c) konečného nástroje je možno užít pro náběh výroby do doby, než bude vyroben definitivní kovový nástroj.

Pro výrobu nástroje z plastických hmot se použije kopírovací makety, na které se ustaví lisovací rovina. Do plechového rámu přiloženého na maketu se odleje vrstva kvalitní pryskyřice obvykle Epoxy 1 200 s plnidlem a tužádlem. Na zvláště namáhaná místa, zejména tažné radiusy je možno umístit kovové vložky, které se lehce k maketě přilepí. Rám je uzavřen kotevní nebo základovou deskou. Tvar protikusů se sejme již z odlitého dílu např. olovenou folií, která plní funkci výlisku. Při odlévání je užito dělicího materiálu, aby nenastalo přilnutí ke kopírovací maketě nebo olovené folii. Jedna z nejpodstatnějších metod je ta, že vlastní složité tvary nástroje jsou vyrobeny bez jakéhokoliv slícování, protože toto je jedna z nejpracnějších a řemeslně nejnáročnějších prací na výrobě celého nástroje. To u nástrojů z plastické hmoty odpadá.

Úpravy na nástroji se provádějí dodatečným přilítím, je to práce, která nevyžaduje nástrojařské zručnosti. Tyto nástroje mají nižší trvanlivost než nástroje kovové, ale pro ověření dostačující.

[9].

2. 3. Ověřovací nástroj ve zmenšeném měřítku (modelové zkoušky).

Z použití předešlé metody plyne mnoho výhod, ale nástroj z plastické hmoty není použitelný všeobecně. Použitelnost je omezena měrným tlakem, jehož maximální hranice činí asi 10 kp/mm^2 [14]. To znamená, že výtažky ze silnějších plechů se již musí ověřovat jinou metodou. Vhodnou metodou pro tyto výsledky je ověřování ve zmenšeném měřítku na kovových modelových nástrojích.

2. 4. Modelové zkoušky.

Správná modelová zkouška v malém měřítku zmenšuje riziko práce, které vzniká při lisování velkých kusů bez předchozího vyzkoušení. Předností této metody je, že na základě teorie podobnosti lze přenést výsledky jednoho pokusu na celou řadu jevů podobných. Výhodou modelů je lacinost, menší váha, snazší manipulace a kratší čas potřebný k jeho zhotovení. Modelové zkoušky musí být ovšem konány za správných teoretických předpokladů. Proto musí sestavení modelů předcházet stanovení podmínek podobnosti, při jejichž splnění probíhají studované jevy u vzorku i modelu podobně. Základní zákon, který musí být respektován je zákon podobnosti. [3].

3. Zákon podobnosti.

Pro plastickou deformaci dvou těles je možno formulovat zákon podobnosti takto:
při deformaci dvou těles různých rozměrů jsou si

měrné tlaky při kluzu (t.j. v okamžiku vyvolání plastické deformace) rovny, jeli stejná velikost největší hlavní deformace a jsou-li zachovány podmínky geometrické, mechanické a fyzikální. [15]

3. 1. Definice zákona podobnosti podle Šofmana [16].

a) Geometricky podobná jsou si taková dvě tělesa, u kterých poměr ploch je roven čtverci poměru délkových rozměrů.

b) Mechanická podobnost při deformování geometricky podobných těles je tam, kde je stálý poměr odpovídajících sil ke čtverci délkových rozměrů a jejichž vnější tlaky jsou stejné.

Podmínky mechanické podobnosti v matematickém vyjádření :

$$\frac{P}{a} = \text{idem}$$

P - síla

p - měrný tlak

a - jeden ze srovnatelných rozměrů

$$p = \text{idem}$$

c) Fyzikální podobnost těles při plastické deformaci předpokládá se splnění těchto podmínek :

c1) porovnávaná délka musí být stejnorodá ve svém chemickém složení a struktuře

c2) stejná rychlost deformace

c3) stejná teplota deformace

c4) v porovnávaných tělesech musí být napětí rozložena podobně.

Gubkin poukazuje na to, že splnění této podmínky vyžaduje :

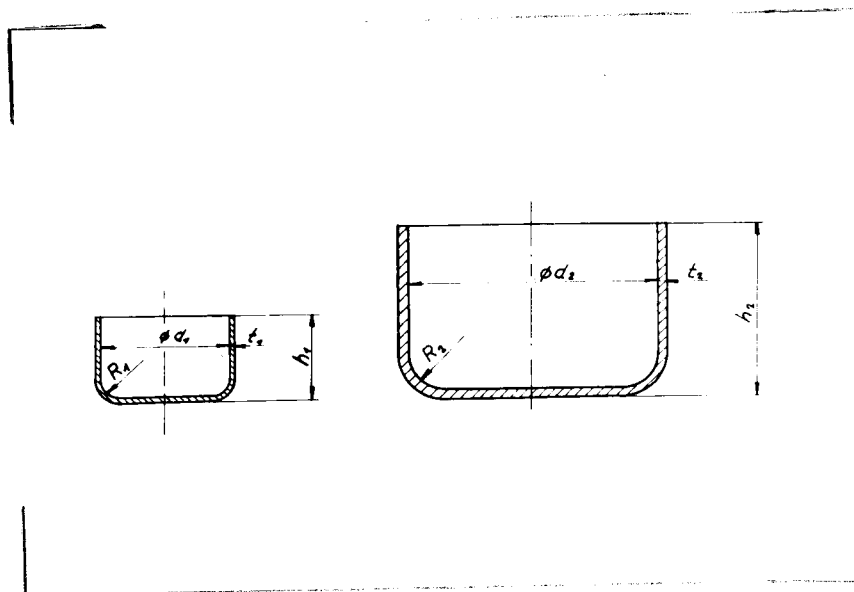
1) stejnou velikost koeficientu tření na dotykových plochách

2) stejnou velikost a smysl hlavního napětí
a stejný směr hlavních os v odpovídajících
bodech porovnávaných těles.

3.2. Definice zákona podobnosti podle O.Sachse [17].

Podle autora je nejzákladnější zákon, jenž
řídí veškeré procesy spojené s tvářením, je zákon
geometrické podobnosti. Tento zákon aplikovaný
na zpracování plechu, může být vyjádřen těmito
skutečnostmi.

1) Výlisky jež jsou si geometricky podobny v kaž-
dém ohledu (t.j. každý rozměr, tloušťka, šířka
délka jednoho výlisku je násobkem rozměru ji-
ného výlisku), mohou být zhotovovány do geomet-
ricky podobných součástí v geometricky podob-
ných nástrojích.



obr. 1

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{h_1}{h_2} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

- 2) Jednotková pnutí na příslušných místech takovýchto geometricky podobných součástí jsou shodná.
- 3) Síly potřebné pro tváření geometricky podobných součástí jsou úměrné čtverci tloušťky, nebo čtverci každého jiného odpovídajícího rozměru.
- 4) Práce spotřebovaná na výrobu geometricky podobných součástí je úměrná trojmocnině tloušťky nebo trojmocnině jiného jejich odpovídajícího rozměru.

Upřesnění použití zákona geometrické podobnosti podle autora. Je zapotřebí, aby vlastnosti plechu nebo pásu byly neodvislé od tloušťky materiálu - tato podmínka však není ve skutečnosti splněna, proto je třeba tyto změny brát v úvahu. V mnoha případech má vliv tloušťky pouze malý význam a může být zanedbán alespoň pro určitou řadu tlouštěk.

4. Stanovení podmínek pro modelové zkoušky.

- 4.1. Určení tvaru a rozměru modelu a vzorku. Při stanovení rozměru modelu a vzorku musíme vycházet z geometrické podobnosti.

Obecně lze definovat útvar geometricky podobný danému útvaru tím, že jej lze umístit vně nebo uvnitř daného útvaru tak, aby stejnoměrnou deformací jednoho oba útvary splynuly v jediný [18].

Zákon podobnosti u hlubokého tažení lze charakterizovat konstantním poměrem těchto parametrů [16]:

$$m = \frac{d}{D}; \quad \frac{D}{t_0}; \quad -\frac{F_0}{t_0}; \quad \frac{F_0}{t_0}; \quad \frac{z}{t_0}$$

- D - průměr přístřihu (rondelu)
- d - průměr kalíšku po prvním tahu
- t - tloušťka plechu
- r - poloměr tažné hrany tažnice
- r - poloměr tažné hrany tažníku
- z - vůle
- m - součinitel tažení

L.A.Šofman nevyžaduje přesné dodržení $\frac{D}{t}$, použil totiž zákona podobnosti k ověření vlastních navržených rovnic pro výpočet tažné síly a tlaku přidržovače [16]. V těchto rovnicích sice poměr $\frac{D}{t}$ výsledek neovlivní, ale při provádění modelových zkoušek nelze tuto odchylku zanedbat. V.P.Romanovskij [19] upozorňuje právě na dodržení poměru $\frac{D}{t}$. Při výpočtu součinitele tažení m upozorňuje na zákon podobnosti při lisování za studena. Říká, že hlavním požadavkem zákona podobnosti je nutná geometrická podobnost vzorku a modelu. Součinitel tažení je mnohem více závislý na poměru $\frac{D}{t}$ (= poměrná tloušťka materiálu) než na mechanických vlastnostech materiálu. Jakékoliv stanovení součinitelů tažení jen podle druhu materiálu je nesprávné a proto musí být součinitelé tažení doporučované pro praktické použití roztrženy podle poměrné tloušťky materiálu, která je charakteristická pro geometrickou podobnost modelu a vzorku.

Toto potvrzuje i skutečnost, že drobné válcové výtažky se táhnou bez potíží až do součinitele tažení $m = 0,45$, kdežto velké součásti lze obtížně táhnout z tenkého materiálu téže značky se součinitelem $m = 0,65 - 0,60$. Tenčí materiál má větší sklon ke tvoření vln a proto musí být větší přidržovací síla a může dojít až k utržení dna výtažku [9].

Z výše uvedených názorů je nutno dát za pravdu V.P.Romanovskému, protože jím ověřené skutečnosti jsou všeobecně známy a praxí dokonale potvrzeny.

4.2. Vliv rychlosti na průběh tažení.

O.Sachs uvádí, že rozdílná rychlost deformace vzorku a modelu neovlivní výsledek zkoušky [17]. Naopak S.I.Gubkin ve své formulaci zákona podobnosti [16] vyžaduje jak u vzorku tak i u modelu stejnou rychlost deformace.

K názoru O.Sachse se přiklání také L.A.Šofman. Říká, že vliv rychlosti na průběh hlubokého tažení zůstává nedostatečně prozkoumán. Zůstává nejasné, jestli současná rychlost tažení 15 - 20 m/min. omezená konstrukcí mechanických lisů, nebo jestli rychlost omezená technologickými zvláštnostmi hlubokého tažení.

Autor prováděl zkoušky od rychlosti 7 m/min., tu postupně zvýšil na 15 m/min. a 30 m/min. Podle autora zvýšení rychlosti nemělo vliv na průběh lisování, pouze došlo ke zvýšení síly asi o 20 %. I při rychlosti 130 m/min. byly výsledky provedených zkoušek analogické.

Avšak výsledky z praxe autorových zkoušek plně nepotvrzují. Je známo, že složité výtažky, které při tažení na klikovém lisu praskají, lze často s úspěchem táhnout na pomaluběžném hydraulickém lisu. Se zvyšováním rychlosti deformace se zároveň zvyšuje odpor kovu proti plastické deformaci (proti kluzu na kluzných plochách krystalů) a odpor kovu proti porušení soudržnosti. Odpor proti deformaci však vzrůstá rychleji, což způsobuje, že mez průtažnosti vzrůstá rychleji než pevnost. Při velkých rychlostech deformace se stává i tvárný kov křehkým, t.j. prakticky neschopným deformace [20].

Toto tvrzení však opět nepotvrzuje tváření výbuchem, to je tváření velkou energií [21]. Ale při porovnání rychlosti tváření na hydraulickém lisu (1 - 10 mm/sec.) a rychlost mechanického lisu (20 - 100 mm/sec.) s rychlostí při tváření výbuchem (50 - 400 m/sec.) vidíme rozdíl řádu až několika set tisíc. Tento kvantitativní skok na jedné straně se také projeví kvalitativním skokem na straně druhé, to je ve tvářeném materiálu. V praxi se ukázalo, že tvářený materiál při velkých rychlostech zatěžování, které jsou spojeny s použitím velké energie se chová jinak, než při tváření na běžných lisech. S uvedeného rozboru je zřejmé, že není možné vliv rychlosti při modelových zkouškách zanedbat, proto je nutno provádět modelové zkoušky při stejné rychlosti deformace modelu a vzorku.

4. 2. 1. Rychlost deformace.

Rychlost deformace (přetvárná rychlost) je změna deformace za jednotku času a musíme ji odlišovat od rychlosti nástroje. Lze ji určit ve všech třech směrech hlavních deformací, ale pro zjednodušení se uvažuje rychlost největší hlavní deformace. [22 ; 16 ; 7].

a) rychlost smluvní poměrné deformace - w_p

$$w_p = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{l-l_0}{l_0} \right) = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{dl}{dt} \quad \left[\frac{1}{\text{sec}} \right]$$

b) střední rychlost poměrné deformace - w_s

$$w_s = \frac{\varepsilon}{t} = \frac{l-l_0}{l_0} \cdot \frac{1}{t} \quad \left[\frac{1}{\text{sec}} \right]$$

c) rychlost skutečné deformace - w_s

$$w_s = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{1}{l} \cdot \frac{dl}{dt} = \frac{d(\lg(1+\varepsilon))}{dt}$$

d) střední rychlost skutečné deformace - $\bar{w}_s$

$$w \quad \bar{w}_s = \frac{\gamma}{t} = \frac{\lg(1+\epsilon)}{t}$$

pro malé deformace platí:

$$\bar{w}_s = \bar{w}_p$$

vstah rychlosti nástroje - v k rychlosti deformace - w_p

$$v = \frac{dl}{dt}$$

pro smluvní rychlost deformace -

$$w_p = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{dl}{dt} = \frac{v}{l_0} \Rightarrow v = l_0 \cdot w_p$$

pro skutečnou rychlost deformace -

$$w_s = \frac{w}{1+\epsilon} = \frac{v}{l_0 \cdot (1+\epsilon)} \Rightarrow v = l_0 \cdot w_s(1+\epsilon)$$

Při rovnoměrné rychlosti nástroje - v se rychlost deformace zvětšuje při stlačování a zmenšuje při roztahování.

4. 2. 1. 1. Průběh smluvní deformační rychlosti při tažení kalíšků. [7]

Pro zjednodušení výpočtů předpokládáme tažení s konstantní tloušťkou plechu, poloměr zaoblení tažné hrany tažníků a tažnice roven ϕ a konstantní rychlost nástroje .

$$w_x = \frac{d\epsilon_x}{dt}$$

$$v = \frac{dh}{dt}$$

w_x - smluvní deformační rychlost v obecném bodě

v - rychlost nástroje

$$\int_0^h r dh = - \int_{R_0}^{R_x} R_x dR_x$$

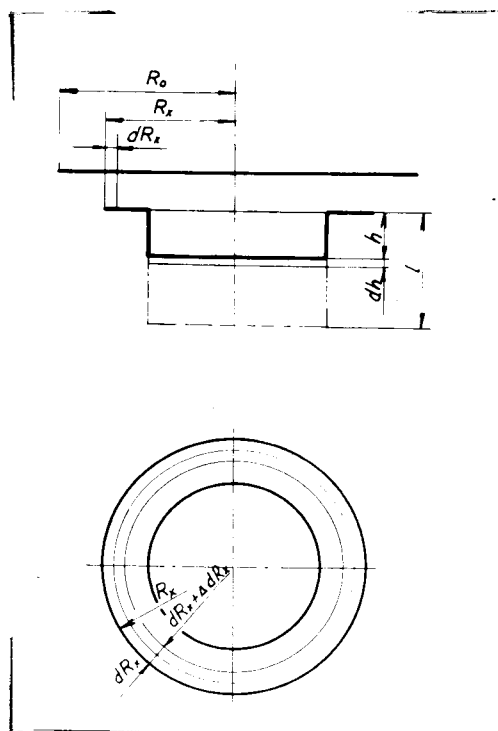
$$rh = - \frac{R_x^2}{2} + \frac{R_0^2}{2}$$

$$r \leq R_x \leq R_0$$

$$dR_x = \frac{r dh}{R_x}$$

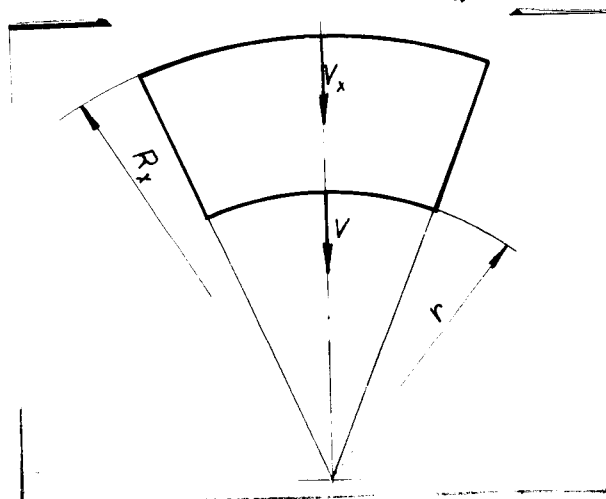
$$R_x^2 = R_0^2 - 2 h \cdot r$$

$$rdh = R_x dR_x$$



obr. 2

$$\begin{aligned} rdh &= (R_x - dR_x) \cdot (dR_x + \Delta dR_x) \\ rdh &= R_x \cdot dR_x + R_x \cdot \Delta dR_x - (dR_x)^2 \\ rdh &= rdh + R_x \cdot \Delta dR - \left(\frac{r}{R_x} dh\right)^2 \\ \Delta dR_x &= \frac{(rdh)^2}{R_x^3} \\ w_x &= \frac{d\epsilon}{dt} \frac{\Delta dR_x}{dR_x \cdot dt} = \frac{\frac{(rdh)^2}{R_x^3}}{\frac{rdh}{R_x} \cdot dt} = \frac{rdh}{R_x^2 dt} = \frac{r}{R_x^2} \cdot v \end{aligned}$$

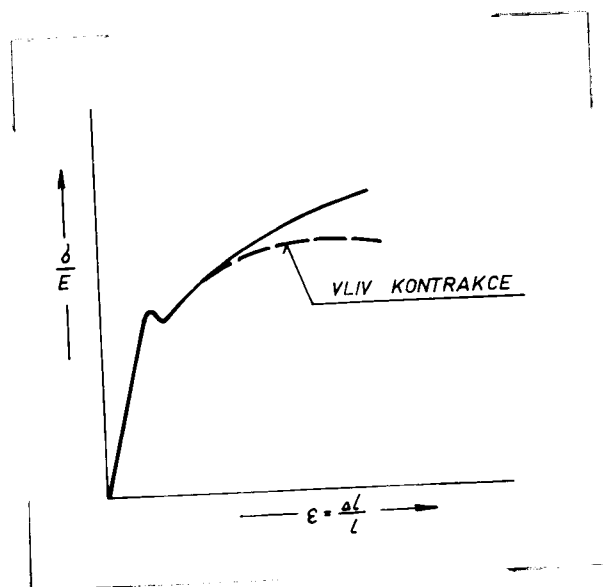


obr. 3

$$\begin{aligned} vr &= v_x \cdot R_x \\ v_x &= v \cdot \frac{r}{R_x} \\ v &= v_x \cdot \frac{R_x}{r} \\ w_x &= \frac{r}{R_x^2} \cdot \frac{v_x R_x}{r} = \\ &= \frac{v_x}{R_x} \left[\frac{1}{\text{sec}} \right] \end{aligned}$$

4. 3. Vlastnosti plechu pro vzorek a model.

L. A. Šofman i O. Sachs vyžadují v podmínkách zákona podobnosti stejný materiál pro model i vzorek. Existuje však také i možnost použití různých materiálů. [18 ; 5]. Podle I. Kožešníka [18] se dva materiály deformují podobně, mají-li jejich bezrozměrné redukované trhací nebo tlakové diagramy (obr. 4) identický průběh a když i jejich Poissonovy konstanty jsou stejné. Jestliže je této podmínce vyhověno, stačí při pokusu na modelu charakterisovat materiál dvěma čísly a to modulem pružnosti E (nebo mezí kluzu, popř. pevností) a Poissonovou konstantou.



obr. 4

Bezrozměrný redukovaný trhací diagram.

Problémem zůstává však stanovení hodnot E plechu pro určitý konkrétní výrobek.

5. Ověřování lisovatelnosti plechu.

Ověřovací zkoušky lisovatelnosti plechu umožňují hodnot naměřených a registrovaných přístrojem stanovit faktory hlubokotažnosti plechu -
- zvýšenou plastičnost kovu a zvýšenou schopnost zpevnění při dvouosém stavu napjatosti. Výsledky těchto prací pomohou zabránit zmetkovitosti v lisovnách, v důsledku podstatně rozdílných mechanických vlastností některých šarží plechu pro tažení a stanovit dolní a optimální hodnoty mechanických vlastností plechu pro lisování. Včasnou kontrolou jednotlivých dodávek plechů můžeme zabránit nedůvěře k našim hlubokotažným plechům, zvláště karosářským a tím zvýšit požadavky na dodávky materiálu naší výroby. Tato uvedená skutečnost pomůže snižovat výrobní náklady, především v hlavní položce - materiálu.

5. 1. Zkouška hloubení (podle Erichsena).

Jednou z prvních metod na ověřování hlubokotažnosti byla Erichsenova zkouška [1]. Při této zkoušce je do materiálu vtlačována koule o $\varnothing$ 20 mm. Průtažnice má $\varnothing$ otvorů 27 mm, tažný poloměr $R = 0,75$ mm. Zkouší se plech minimální šířky 70 mm a max. tloušťky 2mm. Měřítkem hlubokotažnosti je hloubka prohlubeniny, již se dosáhlo až do výskytu trhliny. Stav napjatosti vzniklý při této zkoušce je ale málokdy táhový, jako stav, který vzniká při hlubokotažných operacích.

5. 2. Kalíškovací zkouška.AEG.

Tato zkouška podle způsobu AEG [1] jde použít tam, kde ověřujeme hlubokotažnost plechu pro takové

způsoby hlubokého tažení jímž se tvářecí mechanikou podobá. Tažník má $\varnothing$ 50 mm, tažný radius tažníku a tažnice je v každém případě $R = 7\text{mm}$. Tažník a přidržovač je stejný pro všechny tloušťky plechu, otvor tažnice je závislý na tloušťce plechu. Pro tloušťku plechu od 0,2 až do 3,5 mm je v sadě 20 různých tažnic.

Stanovuje se průměr nástřihů, při kterém ještě tažený kalíšek nepraskne. Firma AEG stanovila pro různé materiály průměry přístřihů, jež se musí nechat zpracovat, aniž prasknou. Nevýhodou tohoto způsobu je potřeba velkého množství nástrojů a poměrně pracné zhotovení přístřihů různých průměrů.

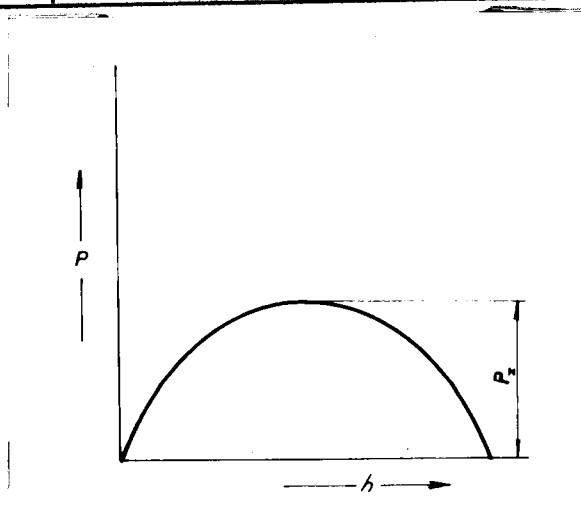
Další druhy kalíškovacích zkoušek jsou podobné zkoušce AEG, pouze s větším nebo menším úspěchem odstraňují její nevýhody.

Kalíškovací zkouška mimo kritéria hlubokotažnosti může ještě posoudit sklon k tvoření kluzových obrazců, cípů, kromě toho lze podle povrchů tažených kalíšků jakož i podle vzhledu trhliny u přetržených nádobek soudit na jakost materiálu.

5. 3! Zkouška hlubokotažnosti Tiefziehprüfer TZP

Je to jedna z modernějších ověřovacích metod vyvinutá v NDR výzkumným ústavem VEB Werkstoffprüfmaschinen - Leipzig [10].

Je to přístroj s hydraulickým pohonem, který umožňuje automatický průběh zkušebního pochodu. Je tažen přidržovaný kruhový přístřih určitého průměru. Se vzrůstající tažnou hloubkou síla nejprve vzrůstá, hluboký tah není ještě ukončen. Tažná hloubka dále roste, ale tažná síla již klesá k nule (viz obr. 5)



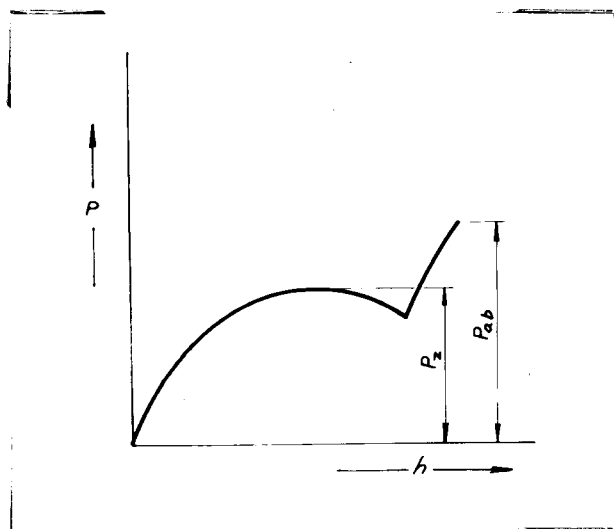
obr. 5

P - tažná síla

P_z - maximální tažná síla

h - zdvih tažníku

Jeli proveden další hluboký tah s tímtež průměrem tažníků avšak s větším průměrem přístřihů, pak největší síla, potřebná k provedení tahu bude rovněž stoupat. Zvětšování průměru přístřihů může pokračovat tak dlouho, až při určité velikosti přístřihu se dno výtažku utrhne. (obr. 6)



obr. 6

P_{ab} = síla potřebná k protržení dna

Z průběhu diagramu je vidět, že význam mají pouze hodnoty, největší tažné síly P_z a síly potřebné k utržení dna P_{ab} .

Poměr těchto sil v rovnici

$$T = \frac{P_{ab} - P_z}{P_{ab}} \cdot 100\%$$

je definice hlubokotažnosti jakožto poměrného rozdílu obou rozhodujících veličin při hlubokém tahu. Je to nová pokroková a rychlejší metoda technického vyšetření hlubokotažnosti. Přirozeným kritériem pro vhodnost materiálu a nástroje se stává rozdíl max. síly, kterou je materiál schopen přenést a síly, potřebné k tažení. Bude-li rozdíl ve stejné míře jako protažení nebo zúžení při přetržení zbaven nedostatku v podobě absolutní hodnoty, vyjde nám podle rovnice koef. T mající vztah ke kritickému místu přetvoření. Pak můžeme koef. T nazvat přirozenou mírou hlubokotažnosti.

Rozdíl porušující síly P_{ab} a max. tažné síly P_z je mírou bezpečnosti s jakou může být proveden hluboký tah.

Vyjma těchto uvedených metod existuje ještě řada dalších teoreticky náročných metod, v provozu ale minimálně používaných.

5. 4. Závěr ověřování lisovatelnosti plechu.

V současné době se hodnocení dodaných plechů provádí pomocí trhací [11 ; 12]; a Erichsenovy zkoušky [13].

Pro přejímku jsou potom rozhodující tyto hodnoty:

δ_{pt} ; $\frac{\delta_{kt}}{\delta_{pt}}$; δ ; t = hloubka vtisku,
které jsou uváděny v přejímacích podmínkách.

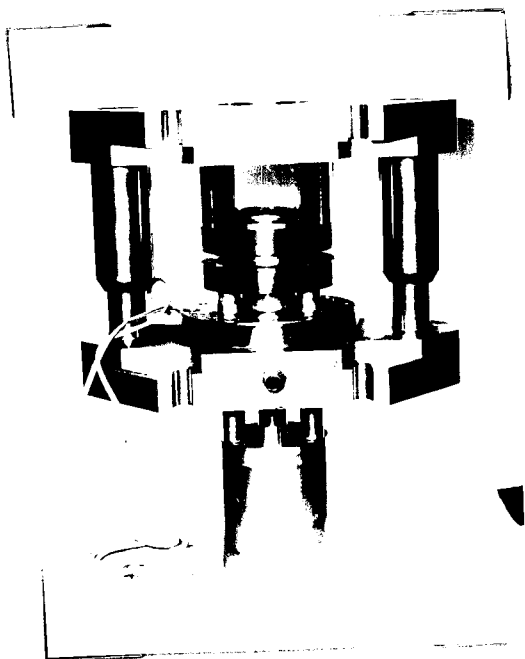
Při hlubokém tažení se vyvíjí velmi komplexní systém namáhání. Proto ani ješen ze známých způsobů laboratorních zkoušek nemůže opatřit dostatek informací o vhodnosti plechů pro kterékoliv lisování. Může pouze určit pořadí vhodnosti plechů k hlubokému tažení. Ověření lisovatelnosti výlisků musí být provedeno jinými metodami.

6. Provozní zkoušky a měření.

6. 1. Popis zkušebního zařízení.

Provozní zkoušky jsem prováděl v dílnách VŠST.

6. 1. 1. Nástroj pro tah skutečného výlisku. (obr. 7)



obr. č. 7

Nástroj byl konstruován pro použití na hydraulickém lisu Reinartz. Spodní část nástroje je připevněna upínkami na stole lisu. Horní část nástroje je v beranu uchycená upínacím čepem. Obě části nástroje jsou proti sobě vedeny dvěma válcovými kolíky, které jsou do základové desky nalisovány, v horní části se pohybují v litinových pouzdrech. Tažná nástroje o $\varnothing$ 60 mm je připevněn k základové desce kotvovou deskou. Po něm se posouvá přídržná deska, která je ovládána hydraulickým přídržovačem. Proti se pohybuje tažnice s mechanickým vyražecem výlisku. Přístřih je do pracovního prostoru vkládán pinzetou a vstředěn zapuštěním do přídržné desky.

Do hydraulického přídržovače jsem přiváděl tlakový olej o $p = 8$ ata (tlak takový, aby se již netvořily vlny), při ploše pístů $F_{ps} = 42,7 \text{ cm}^2$ vyvozuje přídržovací sílu $Q_s = 342 \text{ kp}$.

To odpovídá měrnému přídržovacímu tlaku:

$$\text{pro přístřih } \varnothing 108 - p_{s1} = \frac{Q_s}{F_{s1}} = \frac{342}{40,8} = 8,3 \text{ kp/cm}^2$$

$$\text{pro přístřih } \varnothing 104 - p_{s2} = \frac{Q_s}{F_{s2}} = \frac{342}{34,5} = 9,9 \text{ kp/cm}^2$$

kde F_{s1} , F_{s2} je plocha přístřihu.

Stoupnutí tlaku během lisování je nepatrné.

6. 1. 2. Modelový nástroj pro tah modelového výlisku (obr. 8)

Výkres č. DP - ST 586/67-1

Nástroj byl navržen především s ohledem na dodržení těchto podmínek:

- respektování zákona podobnosti
- co nejpřesnější napodobení podmínek tažení skutečného výlisku
- výrobně co nejjednodušší

Nástroj byl konstruován pro použití na lis IENP 40. Modelový nástroj je proveden ve zmenšeném měřítku 1 : 2 proti skutečnému. Všechny délkové rozměry, průměry, poloměry, tolerance jsou proti skutečnému nástroji o polovinu zmenšeny. Drsnost povrchu byla předepsána přesně stejně. Přístřih je vkládán pinzetou a středěn jednoduchým přípravkem. Přidržovací síla je opět vyvozena hydraulickým přidržovačem a je nutno nastavit tlak oleje $p = 4,4 \text{ ata}$, potom je měrný přidržovací tlak stejný jako u skutečného výlisku.

$$p_{1M} = p_{1S} = 8,3 \text{ kp/mm}^2$$

$$p_{2M} = p_{2S} = 9,9 \text{ kp/mm}^2$$

kde: p_{1M} , p_{2M} je měrný přidržovací tlak modelu

p_{1S} , p_{2S} je měrný přidržovací tlak skutečného výlisku.

$$\text{potom } p = \frac{F_{M1} \cdot D_{1M}}{F_{PM}} = \frac{11,5 \cdot 8,3}{21,85} = 4,4 \text{ kp/cm}^2$$

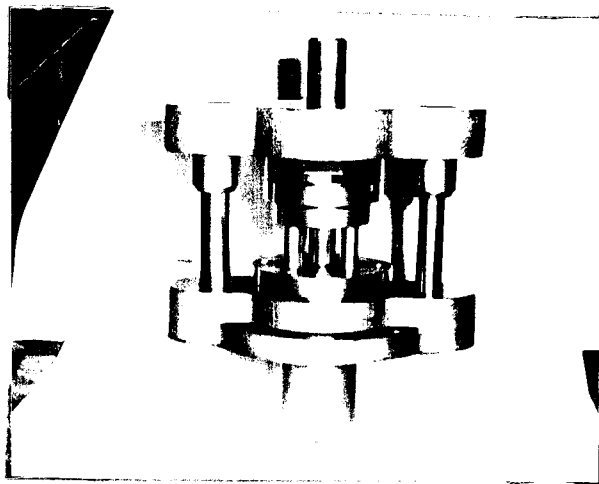
$$p = \frac{F_{M2} \cdot D_{2M}}{F_{PM}} = \frac{9,9 \cdot 9,9}{21,85} = 4,4 \text{ kp/cm}^2$$

F_{PM} = plocha pístu

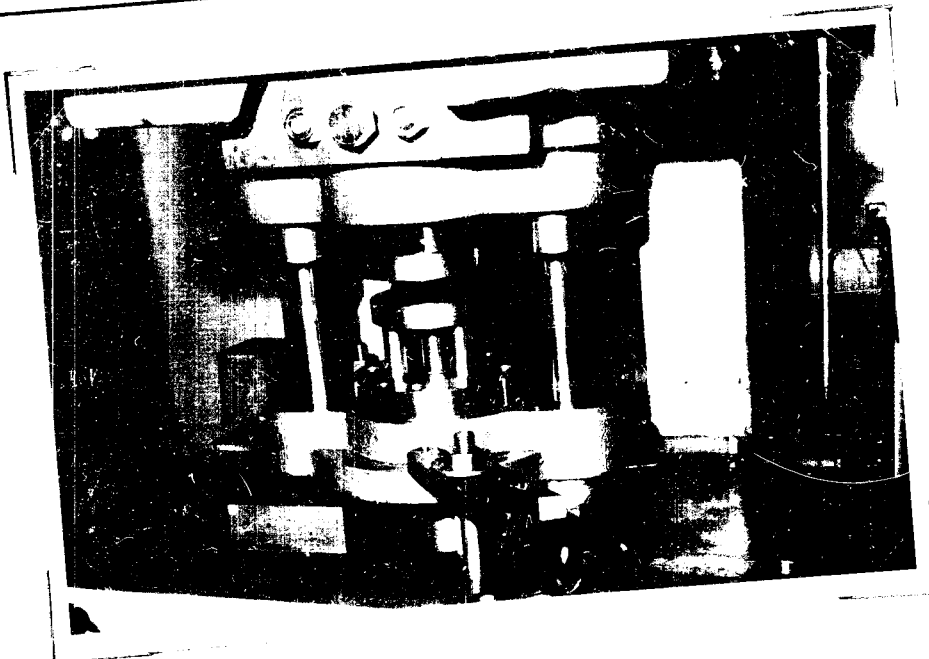
F_{M1} = plocha přístřihu $\varnothing 54 \text{ mm}$

F_{M2} = plocha přístřihu $\varnothing 52 \text{ mm}$

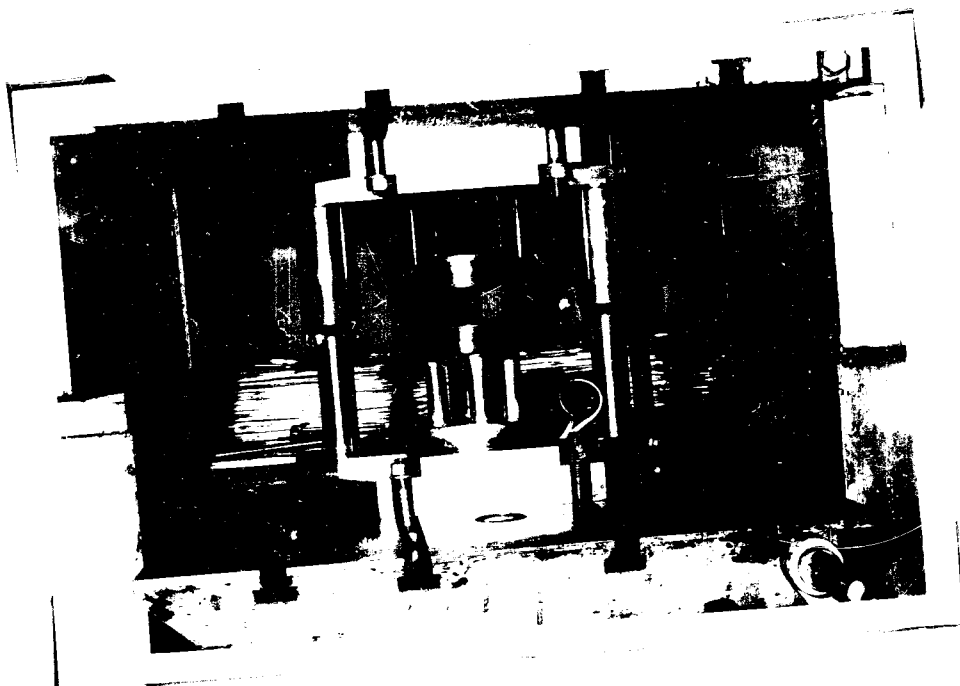
stounutí tlaku během lisování je nepatrné.



obr. 8



obr. 9 Modelový nástroj upnutý v lise.

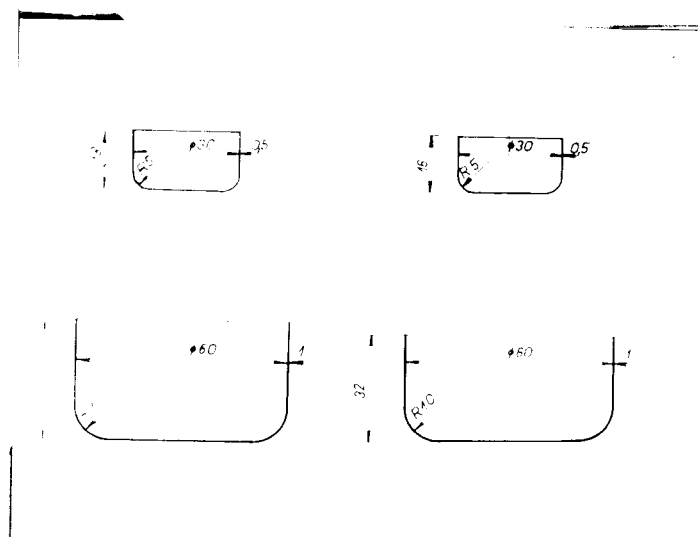


obr.10 Nástroj pro skutečný výlisek
upnutý v lise.

6. 2. Stanovení rozměru vzorku a modelu.

Také rozměry vzorku a modelu jsem volil v měřítku 1 : 2. Rozměry vzorku a modelu jsou uvedeny v následující tabulce. a na obr. 11.

	vzorek		model	
	I.	II.	I.	II.
Ø tažnice [mm]	62,3	62,3	31,15	31,15
Ø tažníku [mm]	60,0	60,0	30,0	30,0
tloušťka plechu [mm]	1	1	0,5	0,5
Ø přístřihu [mm]	108,0	104,0	54,0	52,0
poloměr tažné hrany tažnice [mm]	10	10	5	5
poloměr tažné hrany tažníku [mm]	10	10	5	5
součinitel tažení	0,55	0,57	0,55	0,57
vůle [mm]	1,15	1,15	0,575	0,575



obr. 11

Z porovnání rozměrů vzorků a modelů je zřejmé, že všechny splňují podmínky geometrické podobnosti.

6.3. Určení materiálu vzorku a modelu.

Pro zjištění porovnání deformací vzorku i modelu jsem volil materiál stejný, pouze rozdílné tloušťky.

Vzorek	Model
11 300.21-1 mm	11 300.21-0,5 mm

6.3.1. Stručná charakteristika. [24]

Materiál 11 300.21 je materiál dle ČSN 411300 určen k hlubokému tažení s povrchem bez okují, za studena lehce převálcovaný.

6.3.2. Chemické složení [24]

	C	P	S
11 300.21	0,09	0,040	0,040

6.3.3. Drsnost povrchu .

Drsnost povrchu jsem měřil na profiloměru Somet. Byly naměřeny tyto hodnoty .

	R ve směru válcování [μ]	R napříč směru válcování [μ]
11 300.21-1mm	0,11	0,24
11 300.21-0,5	1,15	1,20

6.3.4. Zkouška hloubením (podle Erichsena) [13]

Byly naměřeny tyto hodnoty :

	hloubka vtisku [mm]
11 300.21-1mm	10,8
11 300.21-0,5mm	8,7

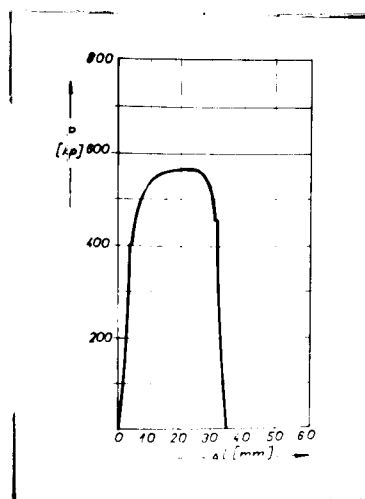
6.3.5. Zkouška tahem [11, 12]

Vzorky pro zkoušky tahem jsem odebral pro
každý materiál ve směru válcování (značeno P)
a napříč směru válcování (značeno N).

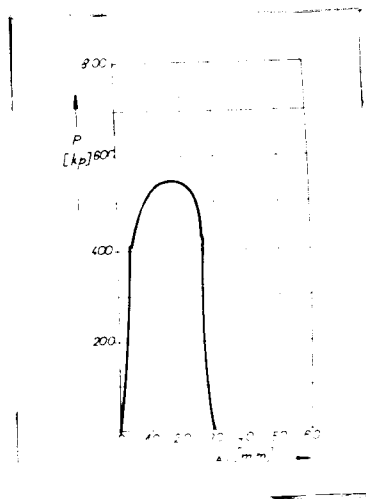
Výsledky trhacích zkoušek :

Materiál	směr odebrání vzorku	σ_{pt} [kp/mm ²]	σ_{kt} [kp/mm ²]	δ [%]
11 300.21 1 mm	P	31,3	20,7	46,2
	N	30,35	23,9	38,0
11 300.21 0,5 mm	P	33,35	24,9	43,5
	N	32,1	23,8	42,1

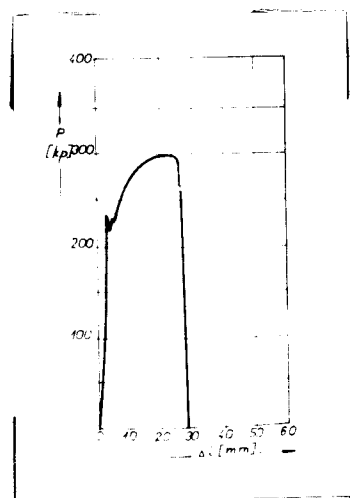
Trhací diagramy :



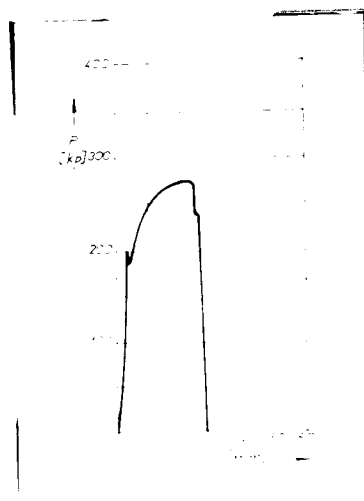
11 300.21-1mm
směr odebrání vzorku P obr. 12



obr. 13 11 300.21 - 1 mm
směr odebrání vzorku N



obr. 14 11 300.21 - 0,5 mm
směr odebrání vzorku P



obr. 15 11 300.21 - 0,5 mm
směr odebrání vzorku N

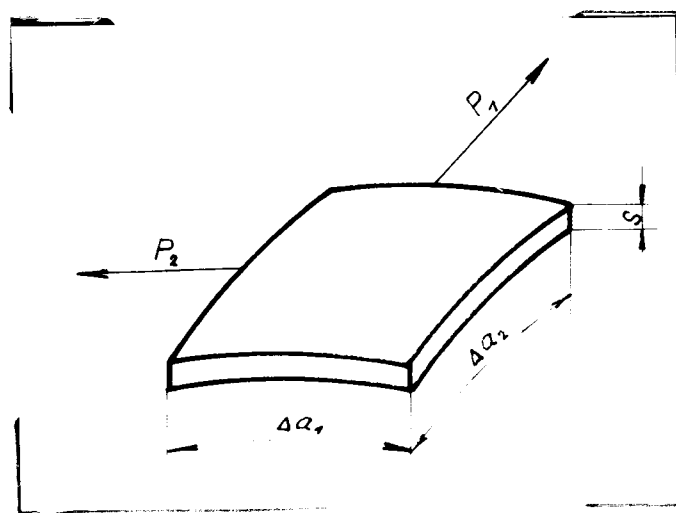
Z uvedené tabulky a trhacích diagramů je vidět, že zjištěné hodnoty téměř nezávisí na směru válcování.

6.4. Měření deformace vzorku a modelu.

6.4.1. Zjišťování stupně deformace pomocí deformačních sítí.

Při řešení předpokládám quasi - isotropní materiál a napětí ve směru tloušťky plechu rovné nule [23]

Schematické znázornění elementární plošky výtažku při dvojosé napjatosti je na obrázku 16.



obr. 16

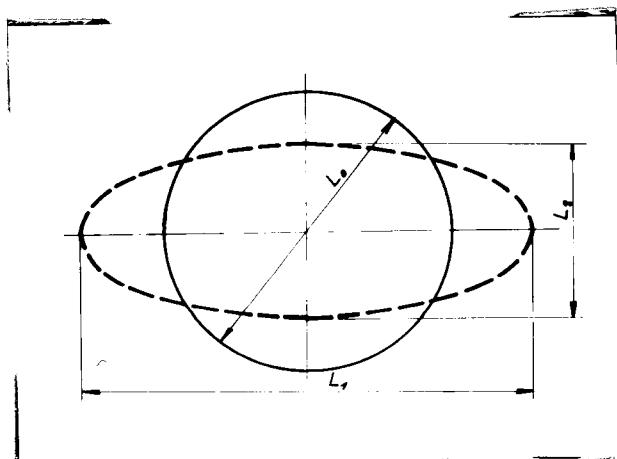
Pro elementární plošku můžeme pro změnu přetvoření ve směrech hlavních napětí psát

$$d\gamma_1 = \frac{d(\Delta a_1)}{\Delta a_1} \quad d\gamma_2 = \frac{d(\Delta a_2)}{a_2} \quad d\gamma_3 = \frac{ds}{s}$$

ze zákona stálosti objemů

$$d\gamma_1 + d\gamma_2 + d\gamma_3 = 0$$

Element kruhové deformační sítě (obr. 17) se mi po deformaci změnil na elipsu.



obr. 17

L_0 - průměr kružnice

L_1 - délka hlavní osy elipsy

L_2 - délka vedlejší osy elipsy

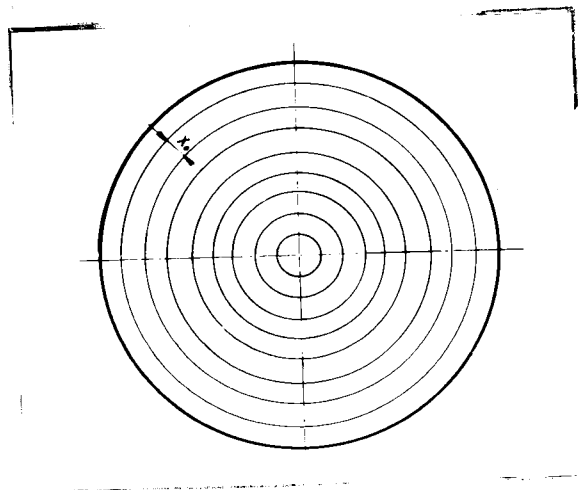
Kruhový element umožňuje zjistit hodnoty deformací ve směru hlavních napětí odečtením délek hlavních os elipsy a dosazením do těchto výrazů obdržíme logaritmické deformace.

$$\gamma_1 = \lg \frac{L_1}{L_0} \quad \gamma_2 = \lg \frac{L_2}{L_0}$$

K vyhodnocení deformace je možno použít i jiných tvarů deformačních sítí.

6.4.2. Deformační síť soustředných kružnic.

Nevýhodou sítě z kruhových elementů je, že není možné z praktických důvodů rýsovat síť libovolně hustou, protože rýsování menších průměrů kruhových elementů působí značné potíže a stává se nepřesné. Tuto nevýhodu odstraňuje síť ze soustředných kružnic (obr. 18).



obr. 18

Deformační síť soustředných kružnic lze naryšovat
s libovolnou hustotou.

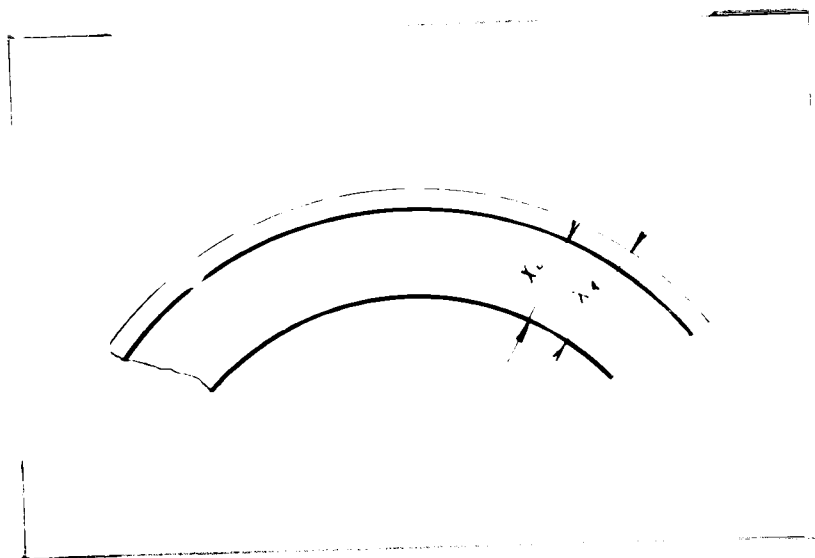
Určení deformací :

$$\gamma_1 = \lg \frac{x_1}{x_0}$$

$$\gamma_3 = \lg \frac{s_1}{s_0}$$

s_0 - původní tloušťka materiálu

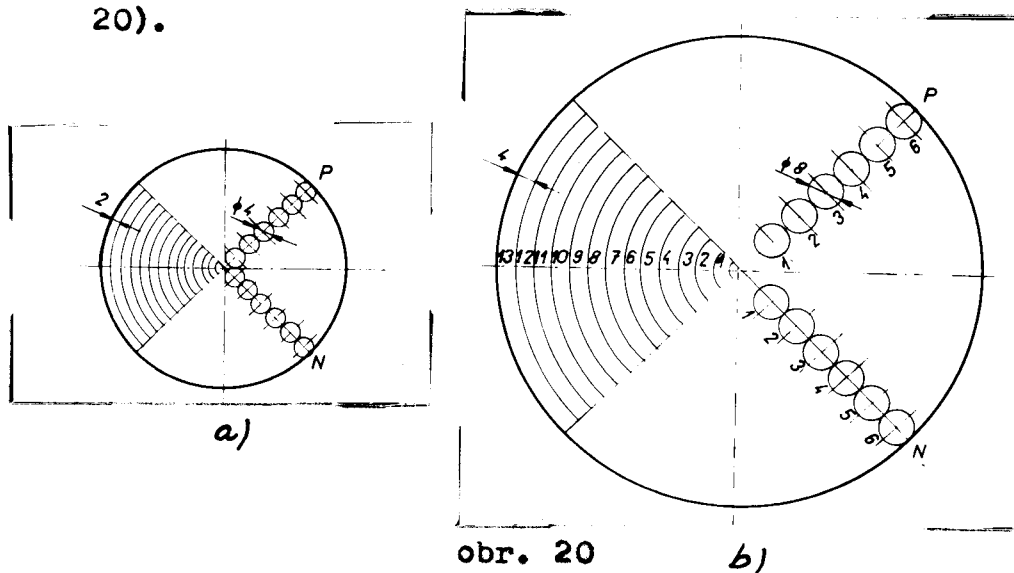
s_1 - tloušťka materiálu po tažení



obr. 19

6.4.3. Vlastní provedení deformačních sítí.

K naznačení středů kruhových elementů jsem použil důlčiku, který možná poněkud ovlivní tažení, ale vzniklá nepřesnost bude rozhodně menší než při orýsování kružnic bez důlčiku. Pro vlastní měření orýsuji kruhové přístřihy tímto způsobem. Protože se jedná o pravidelné výtažky orýsuji jednu čtvrtinu přístřihu ve dvou směrech k sobě kolmých kruhovými elementy a druhou čtvrtinu přístřihu soustřednými kružnicemi. (obr. 20).



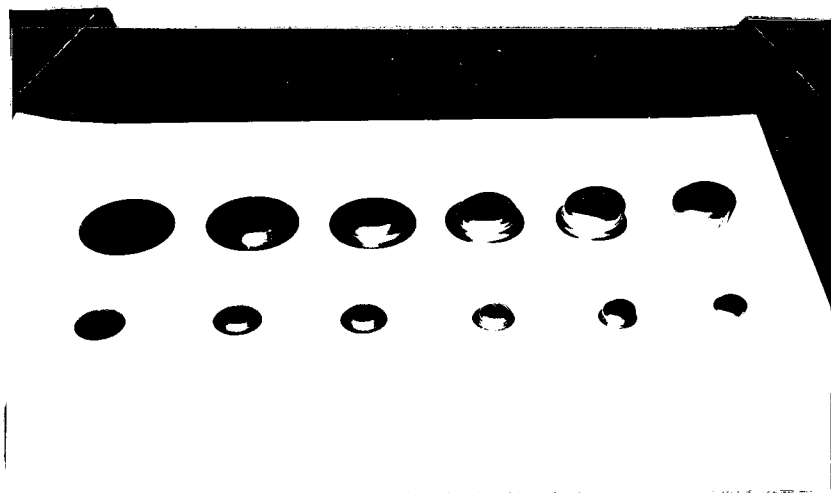
obr. 20

b)

Orýsování jsem provedl na obou stranách přístřihu. Pro porovnání stupně deformace u obou výlisků jsem zvolil průměry elementů 8 u skutečného výlisku a 4 mm u modelového výlisku především proto, že menší elementy se jednak obtížně a nepřesně orýsovaly a rovněž odečítání tak malých rozměrů by bylo nepřesné. Při vyhodnocení jsem proměřoval pouze kruhové elementy.

6.5. Průběh lisování.

Protože potřebuji sledovat deformace i v průběhu tažení, lisoval jsem vzorky na hydraulickém lisu postupně do hloubky 20, 40, 60, 80, 100 % tahu, (odpovídá hloubce zapuštění beranu h mm, tohoto označení jsem dále používal) (obr. 21) horní řada. Totéž jsem provedl při lisování na výstředníkovém lise u lisování modelového výtažku (obr. 21 spodní řada).



obr. 21

6.6. Zjištěné hodnoty deformace vzorku a modelu.

Deformace jednotlivých kružnic jsem měřil tímto způsobem. Na přiložený proužek papíru jsem si označil tužkou délky os elips, které jsem potom po narovnání proužku změřil posuvným měřítkem.

Logaritmické deformace jsem určoval ve směru radiálním - γ_1 , ve směru tangenciálním - γ_2 a ve směru tloušťky materiálu - γ_3 podle vztahu uvedených v kapitole 6.4.1.

Vše jsem provedl pro jednotlivé hloubky zapuštění beranu.

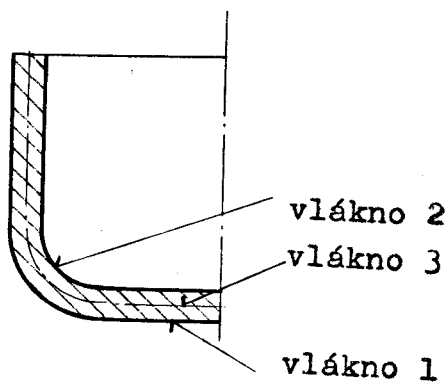
Dále jsem určil intenzitu deformací

$$\epsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\gamma_1 - \gamma_2)^2 + (\gamma_2 - \gamma_3)^2 + (\gamma_3 - \gamma_1)^2}$$

Protože se deformace odpovídajících elementů v obou naznačených směrech téměř nelišily, proto k vyhodnocení použiji jen hodnot jednoho z označených směrů. Měření deformačních sítí jsem provedl vně i uvnitř výtažku a určil hodnotu v myšleném středním vlákně, kterou jsem použil pro zjištění dále uvedených závislostí. Celkem jsem porovnával šest elementů, první v pořadí je na dnu výlisku a šestý na přírubě výlisku.

Naměřené a vypočtené hodnoty jsem sestavil do následujících tabulek.

Označení měřených vláken je na obr. 22



- vlákno 1 - vnější vlákno
- vlákno 2 - vnitřní vlákno
- vlákno 3 - myšlené střední vlákno

obr. 22

Tab. č. 1

Vzorek - přístřih Ø 108 mm, m = 0,55

20 % hloubky tahu vzorku

číslo elementu		L_0 [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	φ_1	φ_2	φ_3	ε_i
vlákno								
1	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
2	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
3	1	8,1	8,1	8,1	0,030	0	-0,030	
	2	8,1	8,0	7,9	-0,010	-0,020	0,030	
	3	8,1	8,2	8,0	0,010	-0,010	0	0,01149
4	1	8,1	8,6	8,2	0,057	-0,010	-0,047	
	2	8,1	8,4	7,8	0,039	-0,041	0,002	
	3	8,1	8,5	7,9	0,048	-0,025	-0,023	0,05886
5	1	8,1	8,3	7,8	0,020	-0,041	0,021	
	2	8,1	8,7	7,9	0,068	-0,020	-0,048	
	3	8,1	8,5	7,8	0,044	-0,030	-0,014	0,04444
6	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
40 % hloubky tahu vzorku								
1	1	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	2	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	3	8,0	8,0	8,0	0	0	0	0
2	1	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	2	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	3	8,0	8,0	8,0	0	0	0	0
3	1	8,0	8,7	8,1	0,089	0,010	-0,099	
	2	8,0	8,0	7,9	0	-0,010	0,010	
	3	8,0	8,3	8,0	0,045	0,0	-0,045	0,05386
4	1	8,0	9,1	7,2	0,133	-0,105	-0,028	
	2	8,0	8,7	7,0	0,089	-0,144	0,055	
	3	8,0	8,9	7,1	0,111	-0,124	0,013	0,15218

Pokračování tabulky č. 1

číslo elementu		L_0 [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	γ_1	γ_2	γ_3	ϵ_z
5	vlákno							
	1	8,0	8,8	7,8	0,095	-0,144	0,049	
	2	8,0	9,6	7,1	0,175	-0,124	-0,051	
	3	8,0	9,2	7,0	0,135	-0,134	-0,001	0,12871
6	1	8,0	8,6	7,4	0,057	-0,085	0,028	
	2	8,0	8,6	7,3	0,057	-0,095	0,038	
	3	8,0	8,6	7,3	0,057	-0,090	0,033	0,15435
60 % hloubky tahu vzorku								
1	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
2	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
3	1	8,1	8,8	8,0	0,086	-0,010	-0,076	
	2	8,1	8,2	7,9	0,010	-0,022	0,012	
	3	8,1	8,5	7,9	0,048	-0,016	-0,032	0,04826
4	1	8,1	9,4	6,9	0,155	-0,168	0,013	
	2	8,1	9,0	6,7	0,103	-0,186	0,083	
	3	8,1	9,2	6,8	0,129	-0,177	0,048	0,18291
5	1	8,1	9,3	6,2	0,139	-0,278	0,139	
	2	8,1	10,5	6,0	0,261	-0,302	0,041	
	3	8,1	9,9	6,1	0,200	-0,290	0,090	0,29729
6	1	8,1	9,1	6,4	0,111	-0,220	0,109	
	2	8,1	10,1	6,4	0,222	-0,220	-0,002	
	3	8,1	9,6	6,4	0,167	-0,220	0,053	0,22942
80 % hloubky tahu vzorku								
1	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
2	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0

Pokračování tabulky č. 1

číslo elementu		L_0 [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	γ_1	γ_2	γ_3	ϵ_i
3	vlákno							
	1	8,1	9,0	8,1	0,103	0,0	-0,103	
	2	8,1	8,2	7,8	0,010	-0,041	0,031	
4	3	8,1	8,6	7,9	0,057	-0,020	-0,037	0,05778
	1	8,1	9,5	6,8	0,155	-0,177	0,022	
	2	8,1	9,0	6,7	0,103	-0,186	0,083	
5	3	8,1	9,2	6,75	0,129	-0,181	0,052	0,18630
	1	8,1	11,15	5,5	0,315	-0,390	0,075	
	2	8,1	11,55	5,3	0,350	-0,430	0,080	
6	3	8,1	11,25	4,4	0,332	-0,410	0,078	0,43533
	1	8,1	10,45	5,6	0,263	-0,371	0,108	
	2	8,1	11,45	5,8	0,343	-0,330	-0,013	
	3	8,1	10,95	5,7	0,303	-0,350	0,047	0,37982
100 % hloubky tahu vzorku								
1	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
2	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
3	1	8,1	9,2	8,0	0,123	-0,010	-0,113	
	2	8,1	8,3	7,7	0,020	-0,053	0,033	
	3	8,1	8,7	7,8	0,072	-0,031	-0,041	0,07215
4	1	8,1	9,6	6,8	0,164	-0,177	0,013	
	2	8,1	9,1	6,6	0,111	-0,212	0,101	
	3	8,1	9,3	6,7	0,138	-0,194	0,056	0,19959
5	1	8,1	11,4	5,3	0,343	-0,430	0,087	
	2	8,1	11,3	5,3	0,336	-0,430	0,094	
	3	8,1	11,3	5,3	0,339	-0,430	0,091	0,42520
6	1	8,1	11,9	5,1	0,385	-0,464	0,079	
	2	8,1	11,9	5,0	0,385	-0,480	0,095	
	3	8,1	11,9	5,0	0,385	-0,474	0,099	0,49733

Tab. č. 2

Vzorek - přístřih $\varnothing 104$ mm, $m = 0,57$
20 % hloubky tahu vzorku

číslo elementu		L_0 [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	γ_1	γ_2	γ_3	ϵ_i
	vlákno							
1	1	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	2	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	3	8,0	8,0	8,0	0	0	0	0
2	1	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	2	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	3	8,0	8,0	8,0	0	0	0	0
3	1	8,0	8,3	7,9	0,035	-0,010	-0,025	
	2	8,0	8,2	8,1	0,021	0,010	-0,031	
	3	8,0	8,2	8,0	0,028	0	-0,028	0,0357
4	1	8,0	8,3	8,0	0,035	0	-0,035	
	2	8,0	8,6	7,8	0,057	-0,020	-0,037	
	3	8,0	8,4	7,9	0,046	-0,010	-0,036	0,04802
5	1	8,0	7,7	7,8	0,041	-0,020	-0,061	
	2	8,0	9,2	7,9	0,135	-0,010	-0,125	
	3	8,0	8,4	7,8	0,046	-0,015	-0,031	0,04661
6	1	8,0	8,1	8,0	0,010	0	-0,010	
	2	8,0	8,1	8,0	0,010	0	-0,010	
	3	8,0	8,1	8,0	0,010	0	-0,010	0,01149
40 % hloubky tahu vzorku								
1	1	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	2	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	3	8,0	8,0	8,0	0	0	0	0
2	1	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	2	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	3	8,0	8,0	8,0	0	0	0	0
3	1	8,0	8,4	8,1	0,048	0,010	-0,058	
	2	8,0	8,2	7,9	0,021	-0,010	-0,011	
	3	8,0	8,3	8,0	0,035	0	-0,035	0,04029
4	1	8,0	9,0	7,7	0,110	-0,041	-0,069	
	2	8,0	9,1	7,5	0,117	-0,082	-0,035	
	3	8,0	9,0	7,6	0,113	-0,061	-0,052	0,11339

Pokračování tabulky č. 2

číslo elementu		L_1 [mm]	L_2 [mm]	L_3 [mm]	φ_1	φ_2	φ_3	ε_i
5	vlákno							
	1	8,0	8,4	6,9	0,048	-0,155	0,097	
	2	8,0	9,2	7,1	0,135	-0,124	-0,011	
6	3	8,0	8,8	7,0	0,091	-0,140	0,049	0,14200
	1	8,0	8,8	7,3	0,091	-0,095	0,004	
	2	8,0	9,0	7,3	0,110	-0,095	-0,015	
	3	8,0	8,9	7,3	0,100	-0,095	-0,005	0,11259
60 % hloubky tahu vzorku								
1	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
2	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0	
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0	0
3	1	8,1	8,7	8,1	0,068	0	-0,068	
	2	8,1	8,0	7,8	0,010	-0,041	0,051	
	3	8,1	8,3	7,9	0,029	-0,020	-0,009	0,02290
4	1	8,1	9,3	7,7	0,139	-0,053	-0,086	
	2	8,1	8,6	7,5	0,057	-0,075	0,018	
	3	8,1	8,9	7,6	0,098	-0,064	-0,034	0,09949
5	1	8,1	9,2	6,5	0,129	-0,223	0,094	
	2	8,1	11,0	6,6	0,312	-0,212	-0,100	
	3	8,1	10,1	6,5	0,221	-0,218	-0,003	0,25337
6	1	8,1	8,9	6,7	0,095	-0,194	0,099	
	2	8,1	9,1	6,5	0,111	-0,223	0,112	
	3	8,1	9,0	6,6	0,103	-0,209	0,106	0,20859
80 % hloubky tahu vzorku								
1	1	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	2	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	3	8,0	8,0	8,0	0	0	0	0
2	1	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	2	8,0	8,0	8,0	0	0	0	
	3	8,0	8,0	8,0	0	0	0	0

Pokračování tabulky č. 2

číslo elementu	L_2 [mm]	L_1 [mm]	L_1 [mm]	γ_1	γ_2	γ_3	ϵ_i
	vlákno						
3	1	8,0	8,8	8,1	0,095	0,010	-0,105
	2	8,0	7,7	7,7	0	-0,041	0,041
	3	8,0	8,4	7,9	0,048	-0,015	-0,033
4	1	8,0	9,4	7,7	0,155	-0,041	-0,114
	2	8,0	8,7	7,5	0,089	-0,062	-0,027
	3	8,0	9,0	7,6	0,122	-0,051	-0,071
5	1	8,0	10,4	6,2	0,263	-0,252	-0,011
	2	8,0	11,2	6,2	0,336	-0,252	-0,086
	3	8,0	10,8	6,2	0,300	-0,252	-0,048
6	1	8,0	9,9	6,2	0,201	-0,252	0,051
	2	8,0	10,3	5,8	0,249	-0,325	0,076
	3	8,0	10,1	6,0	0,225	-0,289	0,064
100 % hloubky tahu vzorku							
1	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0
2	1	8,1	8,1	8,1	0	0	0
	2	8,1	8,1	8,1	0	0	0
	3	8,1	8,1	8,1	0	0	0
3	1	8,1	8,9	8,1	0,095	-0,095	-0,095
	2	8,1	8,1	7,7	0	-0,053	0,053
	3	8,1	8,5	7,9	0,048	-0,027	-0,021
4	1	8,1	9,8	7,4	0,190	-0,094	-0,096
	2	8,1	9,1	7,2	0,111	-0,105	-0,006
	3	8,1	9,4	7,3	0,150	-0,100	-0,050
5	1	8,1	10,8	6,2	0,284	-0,278	-0,006
	2	8,1	11,3	6,2	0,336	-0,278	-0,058
	3	8,1	11,0	6,2	0,310	-0,278	-0,032
6	1	8,1	11,3	5,1	0,336	-0,464	0,128
	2	8,1	11,5	5,1	0,350	-0,464	0,114
	3	8,1	11,4	5,1	0,343	-0,464	0,121

Tabulka č. 3
Model - přístřih Ø 54 mm, $m = 0,55$
20 % hloubky tahu modelu

číslo elementu	L_0 [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	γ_1	γ_2	γ_3	ϵ_i
1	vlákno						
	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
2	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
3	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	1	4,2	4,4	4,2	0,045	0	-0,045
	2	4,2	4,2	4,0	0	-0,052	0,052
4	3	4,2	4,3	4,1	0,022	-0,021	-0,001
	1	4,2	4,3	4,4	0,022	-0,052	0,080
	2	4,2	4,6	3,9	0,095	-0,084	-0,011
5	3	4,2	4,4	3,9	0,058	-0,068	0,010
	1	4,2	4,1	3,9	0,021	-0,084	0,105
	2	4,2	4,4	3,9	0,045	-0,084	0,039
6	3	4,2	4,2	3,9	0,011	-0,084	0,073
	1	4,2	4,3	4,0	0,022	-0,052	0,030
	2	4,2	4,2	4,1	0	-0,021	0,021
1	3	4,2	4,2	4,1	0,011	-0,036	0,025
	1	40 % hloubky tahu modelu					
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
2	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
3	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	1	4,2	4,4	4,2	0,045	0	-0,045
	2	4,2	4,2	3,9	0	-0,084	0,084
4	3	4,2	4,3	4,0	0,021	-0,042	0,020
	1	4,2	4,6	4,0	0,095	-0,052	-0,052
	2	4,2	4,8	3,7	0,131	-0,130	-0,001
1	3	4,2	4,7	3,8	0,113	-0,091	-0,022
	1						
	2						

Pokračování tabulky č. 3

číslo ele- mentu		L_0 [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	γ_1	γ_2	γ_3	ϵ_i
5	vlákno							
	1	4,2	4,3	4,0	0,021	-0,052	0,031	
	2	4,2	4,5	3,6	0,071	-0,156	0,085	
6	3	4,2	4,4	3,8	0,045	-0,104	0,059	0,10411
	1	4,2	4,3	4,0	0,022	-0,052	0,030	
	2	4,2	4,3	4,0	0,022	-0,052	0,030	
	3	4,2	4,3	4,0	0,022	-0,052	0,030	0,02233
60 % hloubky tahu modelu								
1	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0	0
2	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0	0
3	1	4,2	4,7	4,1	0,121	-0,021	-0,100	
	2	4,2	4,3	3,9	0,021	-0,084	0,063	
	3	4,2	4,5	4,0	0,071	-0,052	-0,019	0,07305
4	1	4,2	4,8	3,6	0,131	-0,156	0,025	
	2	4,2	4,7	3,8	0,121	-0,105	-0,016	
	3	4,2	4,7	3,7	0,126	-0,130	0,004	0,14775
5	1	4,2	4,4	3,1	0,045	-0,304	0,259	
	2	4,2	5,3	3,3	0,230	-0,233	0,003	
	3	4,2	4,8	3,2	0,138	-0,268	0,130	0,26798
6	1	4,2	4,3	3,3	0,021	-0,233	0,212	
	2	4,2	4,8	3,5	0,131	-0,193	0,062	
	3	4,2	4,5	3,4	0,076	-0,213	0,137	0,21585
80 % hloubky tahu modelu								
1	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0	0
2	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0	0

Pokračování tabulky č. 3

číslo elementu	L ₀ [mm]	L ₁ [mm]	L ₂ [mm]	γ_1	γ_2	γ_3	ϵ_i
3	vlákno						
	1	4,2	4,8	4,1	0,131	-0,021	-0,110
	2	4,2	4,4	3,8	0,045	-0,105	0,060
4	3	4,2	4,6	3,9	0,088	-0,063	-0,025
	1	4,2	5,4	3,8	0,239	-0,105	-0,134
	2	4,2	5,2	3,4	0,206	-0,213	0,007
5	3	4,2	5,3	3,6	0,222	-0,159	-0,063
	1	4,2	5,4	3,2	0,239	-0,278	0,039
	2	4,2	5,8	3,1	0,322	-0,304	-0,018
6	3	4,2	5,6	3,1	0,280	-0,291	0,011
	1	4,2	4,8	3,0	0,131	-0,345	0,214
	2	4,2	5,3	2,9	0,222	-0,373	0,151
	3	4,2	5,0	2,9	0,177	-0,359	0,182
100 % hloubky tahu modelu							
1	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
2	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
3	1	4,2	4,9	3,7	0,154	-0,128	-0,025
	2	4,2	4,5	3,6	0,064	-0,156	0,092
	3	4,2	4,7	3,6	0,109	-0,142	0,033
4	1	4,2	5,5	3,4	0,268	-0,213	-0,055
	2	4,2	5,2	3,2	0,206	-0,278	0,072
	3	4,2	5,3	3,3	0,237	-0,245	0,008
5	1	4,2	5,1	3,0	0,371	-0,343	0,028
	2	4,2	5,9	3,1	0,336	-0,304	-0,032
	3	4,2	6,0	3,0	0,350	-0,320	-0,030
6	1	4,2	6,2	2,8	0,392	-0,402	0,010
	2	4,2	6,2	2,8	0,392	-0,402	0,010
	3	4,2	6,2	2,8	0,392	-0,402	0,010

Tabulka č. 4
Model - přístřih Ø 52 mm, m = 0,57
20 % hloubky tahu modelu

číslo elementu		L [mm]	L [mm]	L [mm]	γ_1	γ_2	γ_3	ϵ_i
	vlákno							
1	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0	0
2	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0	0
3	1	4,2	4,5	4,1	0,071	-0,021	-0,050	
	2	4,2	4,1	4,1	-0,020	-0,021	0,042	
	3	4,2	4,3	4,1	0,021	-0,021	-0,001	0,02592
4	1	4,2	4,4	3,8	0,045	-0,107	0,062	
	2	4,2	4,5	3,8	0,071	-0,107	0,036	
	3	4,2	4,4	3,8	0,058	-0,107	0,049	0,10707
5	1	4,2	4,2	3,9	0	-0,084	0,084	
	2	4,2	4,4	3,8	0,045	-0,107	0,062	
	3	4,2	4,3	3,8	0,022	-0,095	0,073	0,09939
6	1	4,2	4,3	4,1	0,022	-0,021	-0,001	
	2	4,2	4,2	4,1	0	-0,021	0,021	
	3	4,2	4,2	4,1	0,011	-0,021	0,010	0,02092
40 % hloubky tahu modelu								
1	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0	0
2	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0	
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0	0
3	1	4,2	4,5	4,2	0,071	0	-0,071	
	2	4,2	4,1	4,0	-0,021	-0,052	0,073	
	3	4,2	4,3	4,1	0,021	-0,026	0,005	0,03129
4	1	4,2	4,5	3,9	0,071	-0,084	0,013	
	2	4,2	4,6	3,7	0,088	-0,130	0,042	
	3	4,2	4,5	3,8	0,080	-0,107	0,027	0,11122

Pokračování tabulky č. 4

číslo elementu	L [mm]	L [mm]	L [mm]	φ_1	φ_2	φ_3	ε_i
5	vlákn						
	1	4,2	4,2	3,7	0	0,130	0,130
	2	4,2	4,5	3,6	0,071	0,159	0,088
	3	4,2	4,3	3,6	0,035	0,145	0,110
6	1	4,2	4,4	3,7	0,045	0,130	0,086
	2	4,2	4,4	3,8	0,045	0,108	0,063
	3	4,2	4,4	3,7	0,045	0,119	0,074
							0,11051
60 % hloubky tahu modelu							
1	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
2	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
3	1	4,2	4,5	3,9	0,071	0,084	0,013
	2	4,2	4,2	4,1	0	0,021	0,021
	3	4,2	4,3	4,0	0,035	0,052	0,017
4	1	4,2	4,9	3,9	0,154	0,084	0,070
	2	4,2	4,8	3,7	0,131	0,130	0,001
	3	4,2	4,8	3,8	0,143	0,107	0,036
5	1	4,2	4,3	3,2	0,021	0,278	0,257
	2	4,2	5,2	3,2	0,206	0,278	0,072
	3	4,2	4,7	3,2	0,113	0,278	0,165
6	1	4,2	4,4	3,3	0,045	0,245	0,200
	2	4,2	4,8	3,3	0,131	0,245	0,114
	3	4,2	4,6	3,3	0,088	0,245	0,157
80 % hloubky tahu modelu							
1	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
2	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0

Pokračování tabulky č. 4

číslo elementu	L [mm]	L [mm]	L [mm]	γ_1	γ_2	γ_3	ϵ_i
3	vlákno						
	1	4,2	4,7	4,2	0,109	0	-0,109
	2	4,2	4,4	3,9	0,045	-0,084	0,039
4	3	4,2	4,5	4,0	0,077	-0,042	-0,035
	1	4,2	5,1	4,0	0,190	-0,052	-0,138
	2	4,2	4,8	3,6	0,131	-0,156	0,025
5	3	4,2	4,9	3,8	0,160	-0,104	-0,056
	1	4,2	5,5	3,3	0,268	-0,245	-0,023
	2	4,2	5,7	3,1	0,299	-0,304	0,005
6	3	4,2	5,6	3,2	0,283	-0,275	-0,008
	1	4,2	4,6	3,0	0,088	-0,343	0,255
	2	4,2	5,0	3,0	0,174	-0,343	0,169
	3	4,2	4,8	3,0	0,131	-0,343	0,212
100 % hloubky tahu modelu							
1	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
2	1	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
	3	4,2	4,2	4,2	0	0	0
3	1	4,2	4,8	4,1	0,131	-0,021	-0,110
	2	4,2	4,4	3,9	0,045	-0,084	0,039
	3	4,2	4,6	4,0	0,088	-0,052	-0,036
4	1	4,2	5,2	3,9	0,206	-0,084	-0,122
	2	4,2	4,9	3,6	0,154	-0,156	0,002
	3	4,2	5,0	3,7	0,180	-0,120	-0,060
5	1	4,2	5,6	3,2	0,280	-0,278	-0,002
	2	4,2	5,7	3,1	0,299	-0,304	0,005
	3	4,2	5,6	3,1	0,288	-0,291	0,002
6	1	4,2	5,7	2,9	0,299	-0,373	0,074
	2	4,2	5,7	2,9	0,299	-0,373	0,074
	3	4,2	5,7	2,9	0,299	-0,373	0,074

tab. 5 Porovnání deformace vzorku a modelu
vzorek - přístřih Ø 108 mm
model - přístřih Ø 54 mm
(uvažují střední hodnoty deformace).

číslo elementu	$\Delta \gamma_1$	$\Delta \gamma_2$
100 % hloubky tahu		
1	0	0
2	0	0
3	0,037	0,111
4	0,106	0,051
5	0,011	0,110
6	0,07	0,072
80 % hloubky tahu		
1	0	0
2	0	0
3	0,031	0,043
4	0,093	0,022
5	0,052	0,119
6	0,126	0,009
60 % hloubky tahu		
1	0	0
2	0	0
3	0,023	0,036
4	0,003	0,051
5	0,062	0,022
6	0,091	0,007
40 % hloubky tahu		
1	0	0
2	0	0
3	0,023	0,042
4	0,020	0,033
5	0,031	0,030
6	0,005	0,038

Pokračování tabulky č. 5

číslo elementu	$ \Delta \gamma_1 $	$ \Delta \gamma_2 $
20 % hloubky tahu		
1	0	0
2	0	0
3	0,012	0,016
4	0,010	0,043
5	0,033	0,054
6	0,011	0,036

tab. 6 Porovnání deformace vzorku a modelu
vzorek - přístřih $\varnothing$ 104 mm
model - přístřih $\varnothing$ 52 mm
(uvádějí střední hodnoty deformace)

číslo elementu	$ \Delta \gamma_1 $	$ \Delta \gamma_2 $
100 % hloubky tahu		
1	0	0
2	0	0
3	0,040	0,025
4	0,030	0,020
5	0,021	0,013
6	0,044	0,091
80 % hloubky tahu		
1	0	0
2	0	0
3	0,029	0,027
4	0,038	0,053
5	0,017	0,023
6	0,094	0,054

Pokračování tabulky č. 6

číslo elementu	$ \Delta \gamma_1 $	$ \Delta \gamma_2 $
60 % hloubky tahu		
1	0	0
2	0	0
3	0,06	0,032
4	0,045	0,043
5	0,108	0,060
6	0,015	0,036
40 % hloubky tahu		
1	0	0
2	0	0
3	0,014	0,026
4	0,033	0,046
5	0,054	0,005
6	0,019	0,024
20 % hloubky tahu		
1	0	0
2	0	0
3	0,012	0,021
4	0,012	0,097
5	0,024	0,080
6	0,001	0,021

6.6.1. Grafické znázornění průběhu deformací vzorku a modelu.

Pro snadnější porovnání deformace vzorku a modelu jsem vypočtené hodnoty logaritmických deformací vynesl do diagramů. (Grafy přiloženy za touto kapitolou - graf č. 1, 2, 3, 4).

Z grafického znázornění je vidět, že naměřené deformace u vzorků a modelů jsou v odpovídajících místech přibližně stejné. Vzniklé nepřesnosti je možno zdůvodnit nepřesností v odměřování.

Grafická závislost logaritmických deformací jednotlivých elementů na hloubce zapuštění beranů - h mm je na grafech č. 5, 6.

6.6.2. Graficko experimentální stanovení přetvárné rychlosti.

Hodnoty rychlosti skutečné deformace-w (přetvárné rychlosti) jsem dostal grafickou derivací závislostí na grafech č. 5, 6 a vynásobením příslušnou hodnotou střech rychlosti nástroje-v.

$$w = \frac{d\gamma}{dt} = v \cdot \frac{d\gamma}{dh} = v \cdot \frac{\Delta\gamma}{\Delta h}$$

$$v = \frac{dh}{dt} \Rightarrow dt = \frac{dh}{v}$$

Tažení skutečného výlisku bylo prováděno na hydraulickém lise s konstantní střech rychlostí pohybu nástroje $v = 5 \text{ mm/sec} = \text{konst.}$

Tažení modelového výlisku bylo prováděno na excentrickém lise s proměnnou rychlostí pohybu nástroje $v \neq \text{konst.}$

Určení rychlosti nástroje pro jednotlivé polohy
kliky.

$$\text{zdvih} - z = 41 \text{ mm}$$

$$\text{délka ojnice} - l = 430 \text{ mm}$$

$$\text{poloměr kliky} - r = \frac{z}{2} = 20,5 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{r}{l} = \frac{20,5}{430} = 0,048$$

$$\text{otáčky kliky} - n = 67 \text{ [1/min]}$$

$$\text{dráha beranu} - s_{\alpha} = r \left[(1 - \cos \alpha) + \frac{1}{2} \lambda \sin^2 \alpha \right]$$

$$\text{úhel pootočení kliky} - \alpha$$

$$\text{úhlová rychlost} - \omega$$

$$\text{rychlost beranu} - v_{\alpha}$$

$$v_{\alpha} = r \cdot \omega \left[\sin \alpha + \frac{1}{2} \lambda \sin 2\alpha \right]$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 67}{30} = 70 \text{ [1/sec]}$$

Tabulka č. 7

$\alpha [^{\circ}]$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
s_{α} [mm]	0	0,3	1,3	2,9	4,8	7,6	10,7	14	17,5	21
v_{α} [mm/sec]	0	26,5	51,5	75,5	96,6	113	128	138	144	145

Grafická závislost rychlosti pohybu nástroje na
dráze beranu je na grafu č. 7
(přiložen za touto kapitolou)

Odměřené a vypočtené hodnoty přetvárné rychlosti.

Vzorek - přístřih $\varnothing$ 108 mm, $m = 0,55$, $v = \text{konst.}$

Tabulka č. 8

číslo elem.	w [1/sec]				
	h = hloubka zapuštění beranu [mm]				
	7,2	14,4	21,6	28,8	36
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0,07	0,21	0,14	0,09	0,04
4	0,35	0,28	0,25	0,10	0,05
5	0,42	0,49	0,77	0,50	0,07
6	0,14	0,42	0,84	0,91	0,84

Vzorek - přístřih $\varnothing$ 104 mm, $m = 0,57$, $v = \text{konst.}$

Tabulka č. 9

číslo elem.	w [1/sec]				
	h = hloubka zapuštění beranu [mm]				
	6,4	12,8	19,2	25,6	32
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0,09	0,12	0,10	0,09	0,07
4	0,36	0,17	0,16	0,16	0,12
5	0,38	0,56	0,91	0,35	0,11
6	0,21	0,35	0,63	0,91	1,12

Model - přístřih $\varnothing$ 54 mm, $m = 0,55$, $v \neq \text{konst.}$

Tabulka č. 10

číslo elem.	w [1/sec]				
	h = hloubka zapuštění beranu [mm]				
	3,6	7,2	10,8	14,4	18
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0,28	0,42	0,49	0,50	0,05
4	2,24	1,40	1,35	1,30	0,07
5	0,95	2,28	5,05	3,36	0,60
6	0,70	1,12	2,42	3,92	4,20

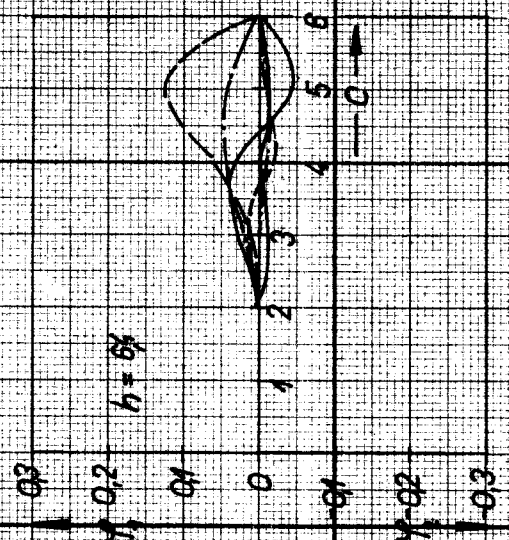
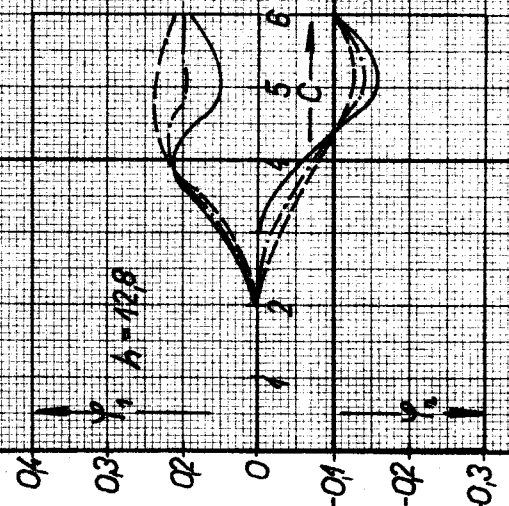
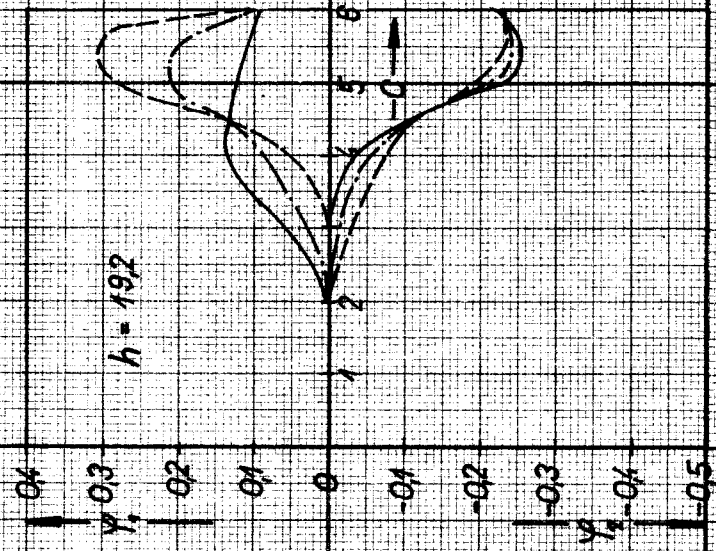
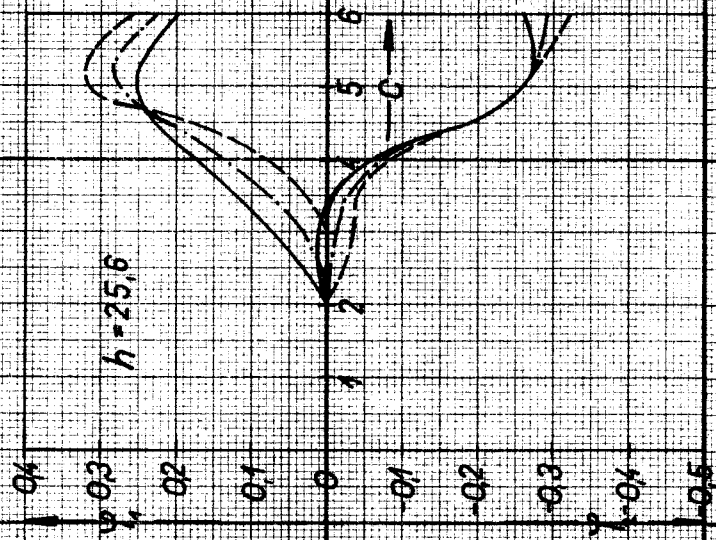
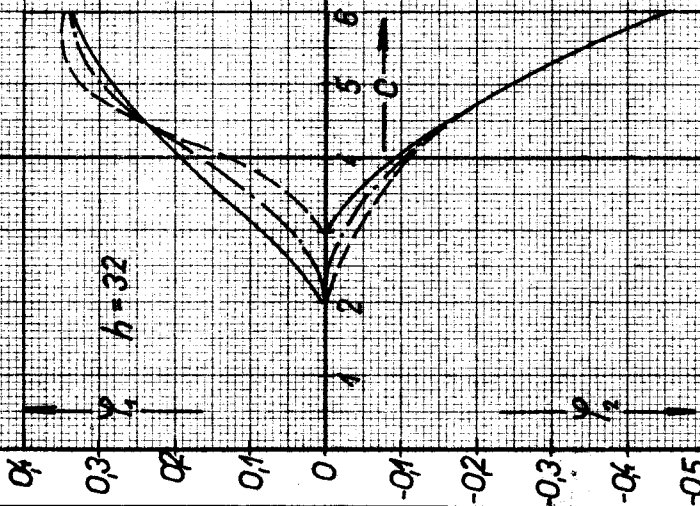
Model - přístřih $\varnothing$ 52 mm, $m = 0,57$, $v \neq \text{konst.}$

Tabulka č. 11

číslo elem.	w [1/sec]				
	h = hloubka zapuštění beranu [mm]				
	3,2	6,4	9,6	12,8	16
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0,42	0,50	0,40	0,38	0,03
4	2,24	1,65	1,40	0,58	0,05
5	1,12	2,54	4,75	1,67	0,07
6	0,60	1,14	1,35	2,8	3,92

Grafická závislost přetvárné rychlosti na hloubce
zapuštění beranu (sestaveno z hodnot pro logarit-
mické deformace v radiálním směru) je na grafu
č. 8, 9

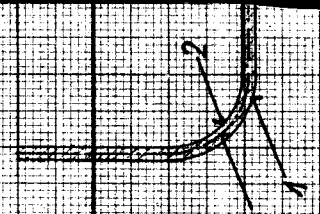
Porovnání závislosti přetvárné rychlosti-w
v průběhu jednotlivých hloubek zapuštění beranu u
vzorku a modelu je na grafu č. 10

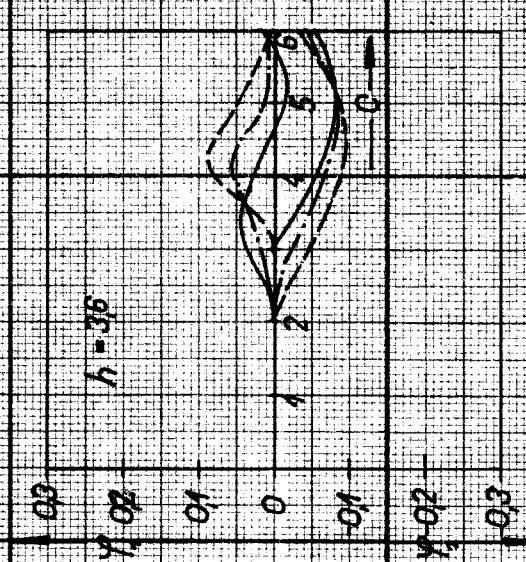
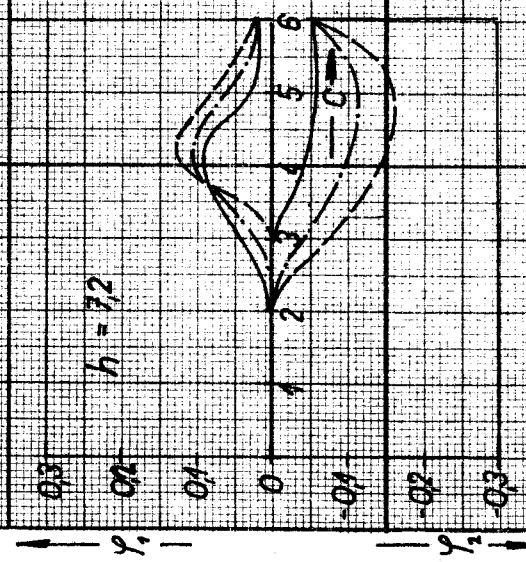
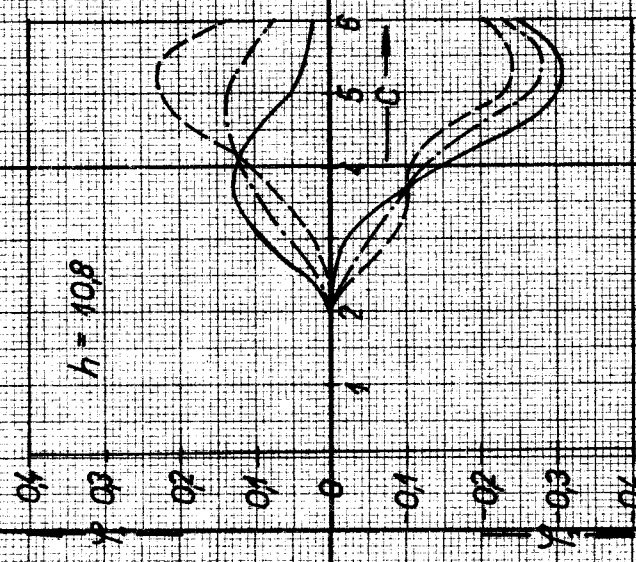
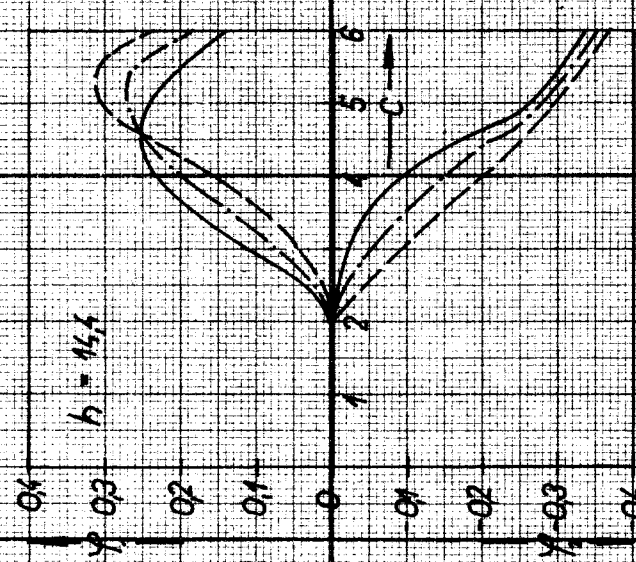
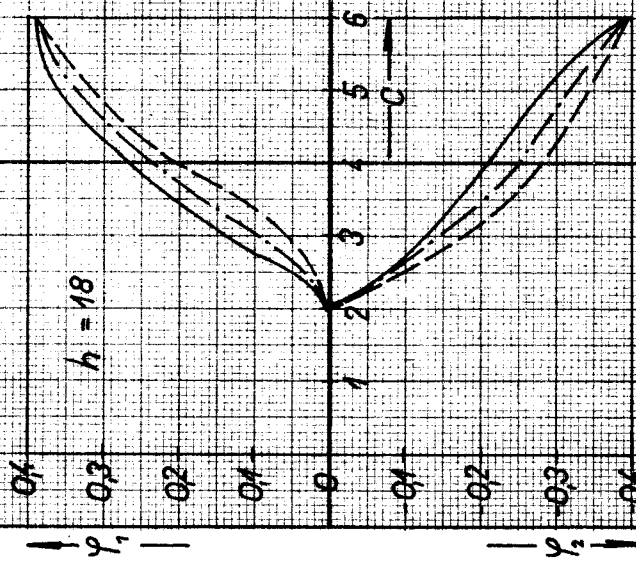


VZOREK $\varnothing 104$

h - HLOUBKA ZAPÍŠTĚNÍ BERANU
 $[mm]$
 c - ČÍSLO ELEMENTU

— $y_1, y_2 \dots$ VLÁKNO 1
 --- $y_1, y_2 \dots$ VLÁKNO 2
 - - - $y_1, y_2 \dots$ VLÁKNO 3





MODEL 454

h - HLDOUBKA ZAPUŠTĚNÍ BERANU

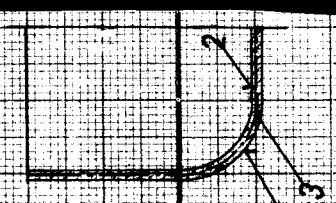
$[mm]$

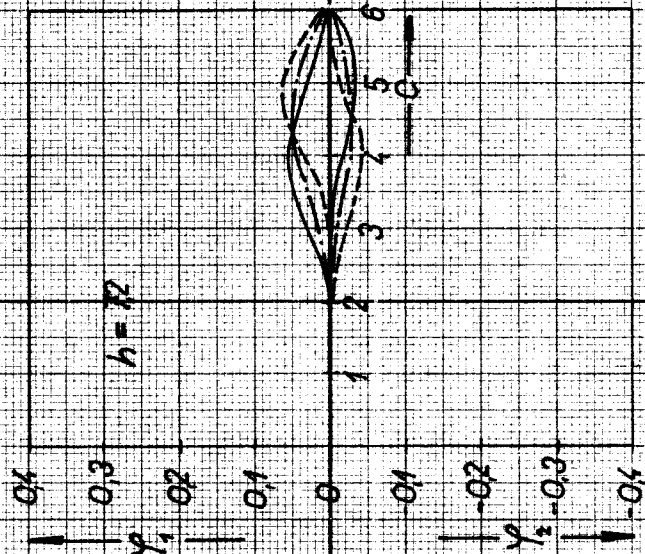
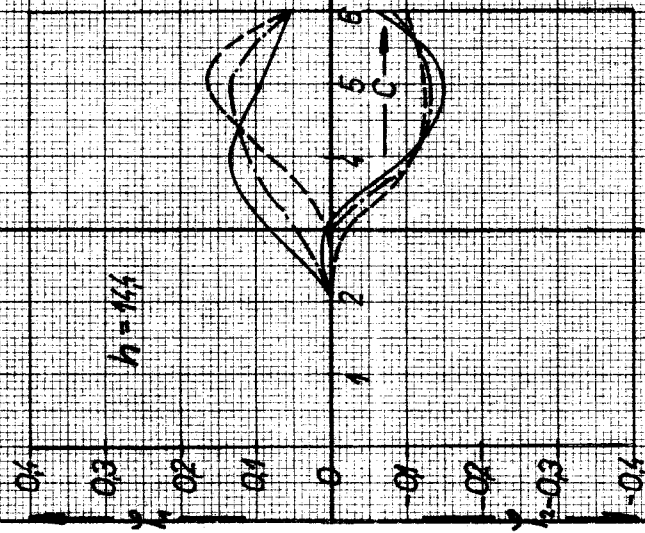
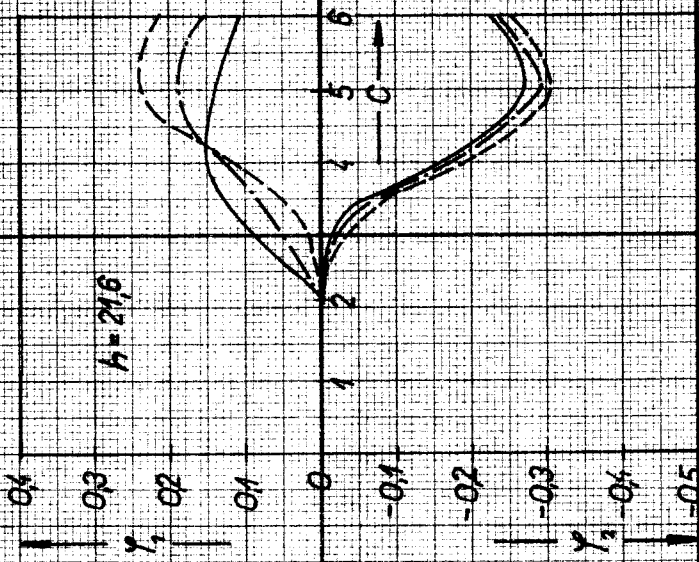
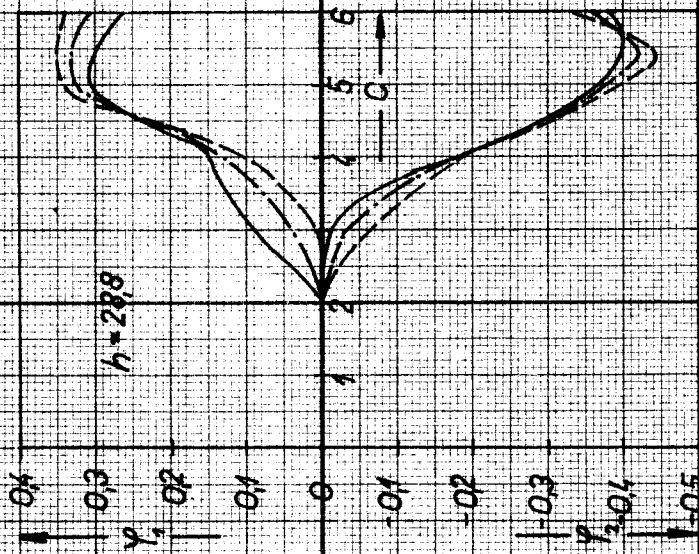
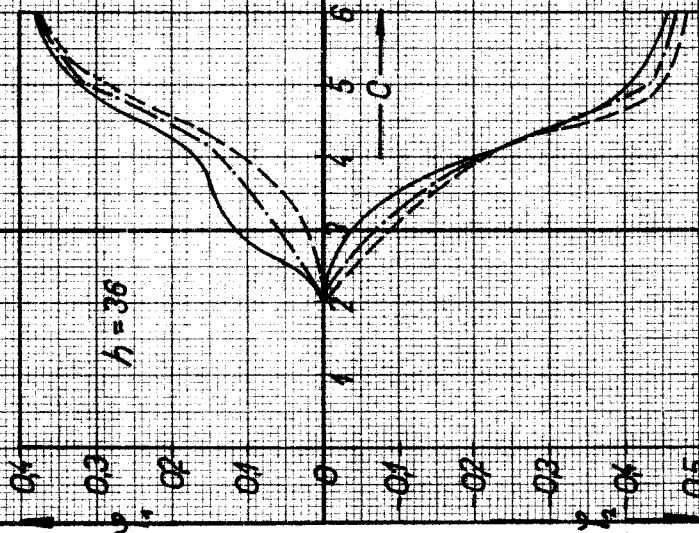
C - ČÍSLO ELEMENTU

y_1, y_2 VLÁKNOK 1

y_1, y_2 VLÁKNOK 2

y_1, y_2 VLÁKNOK 3

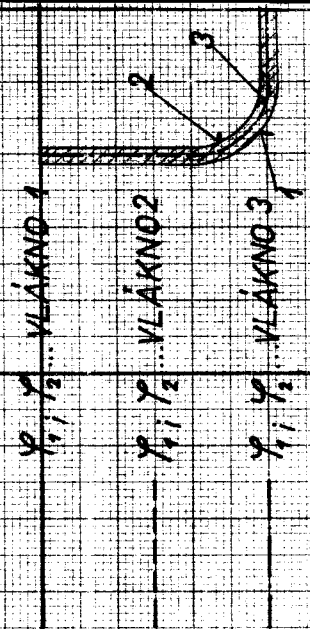


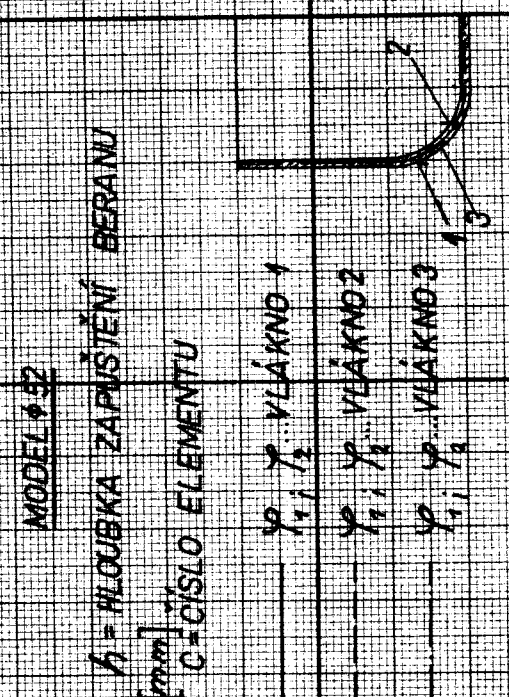
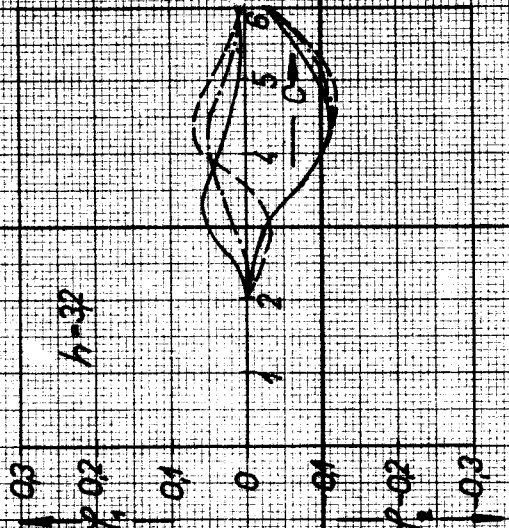
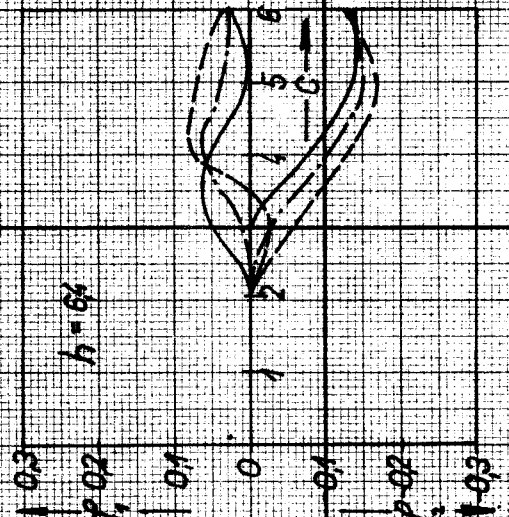
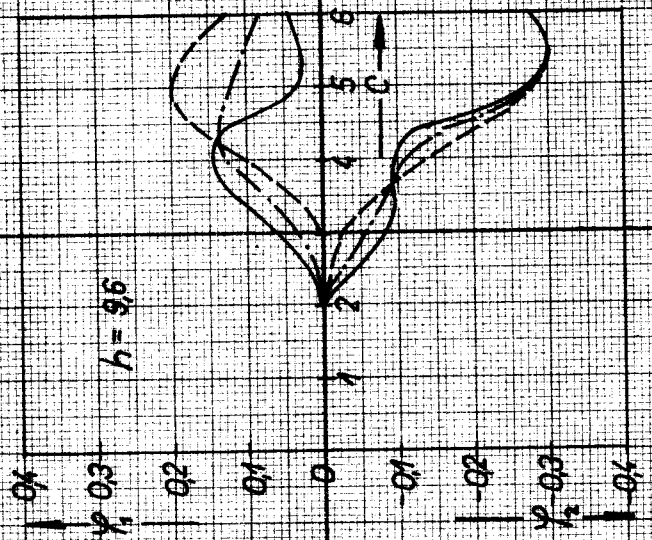
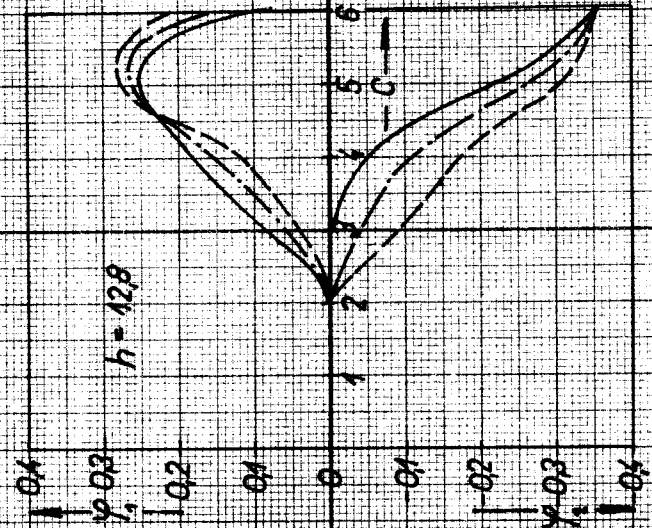
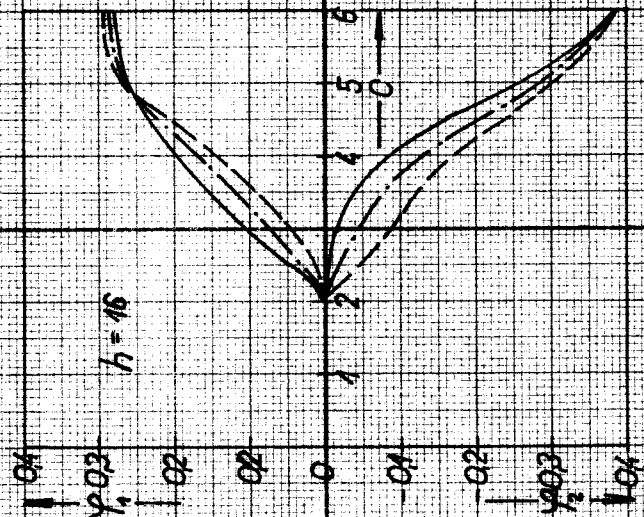


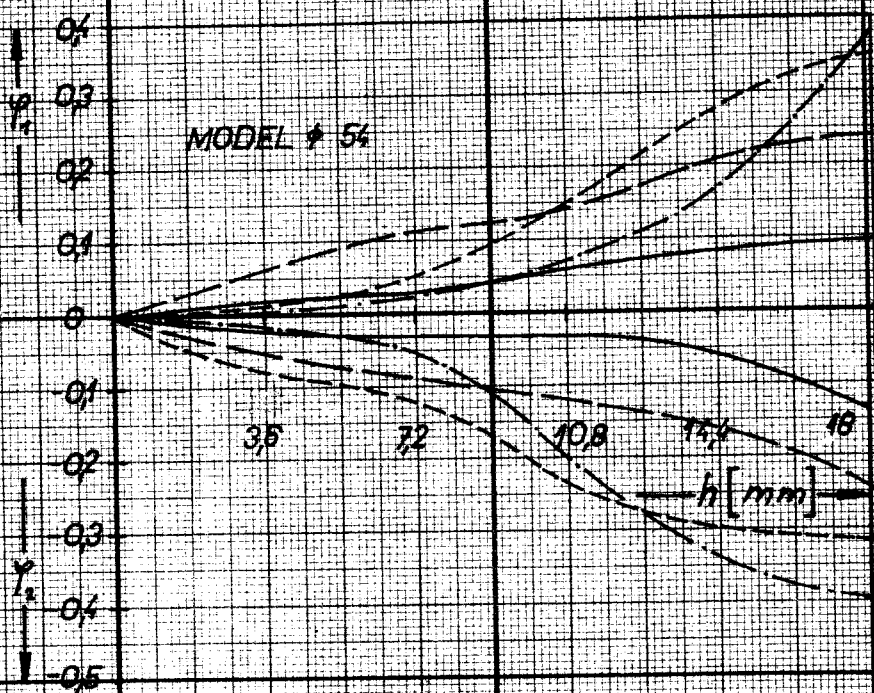
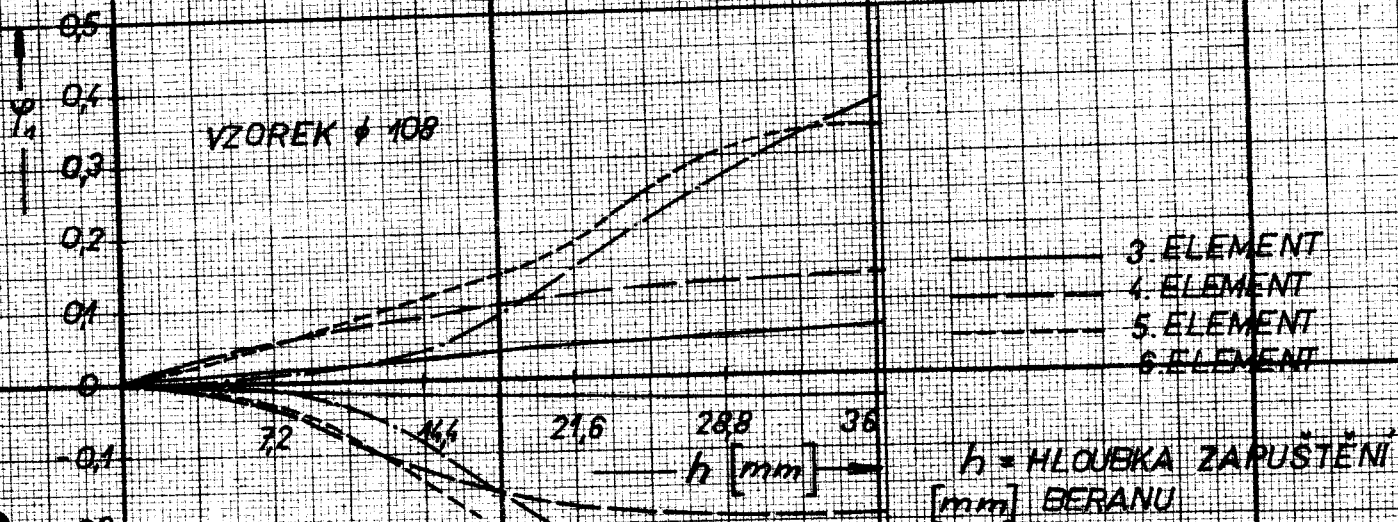
VZOREK 108

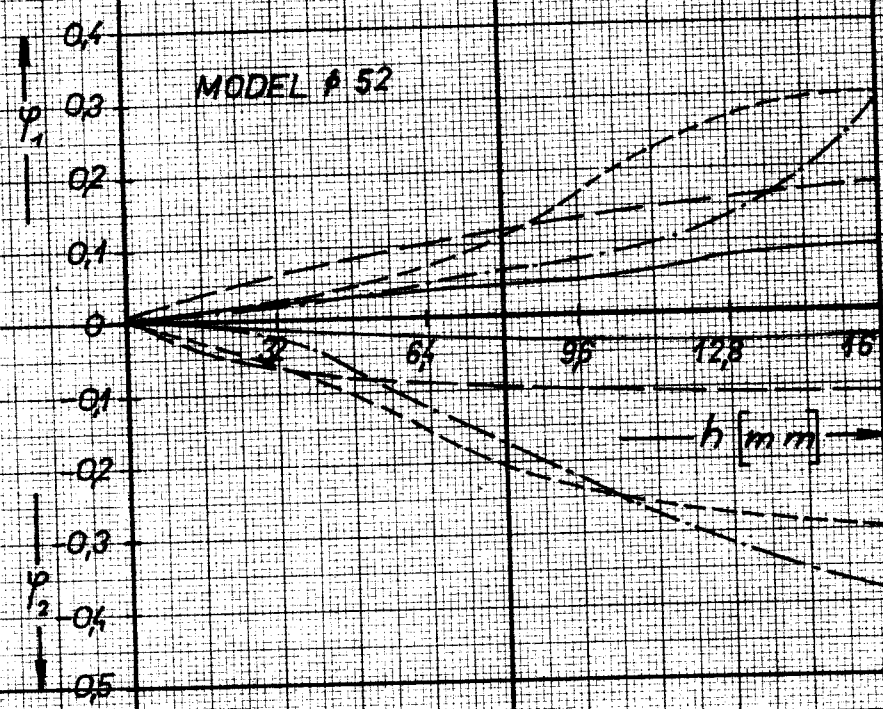
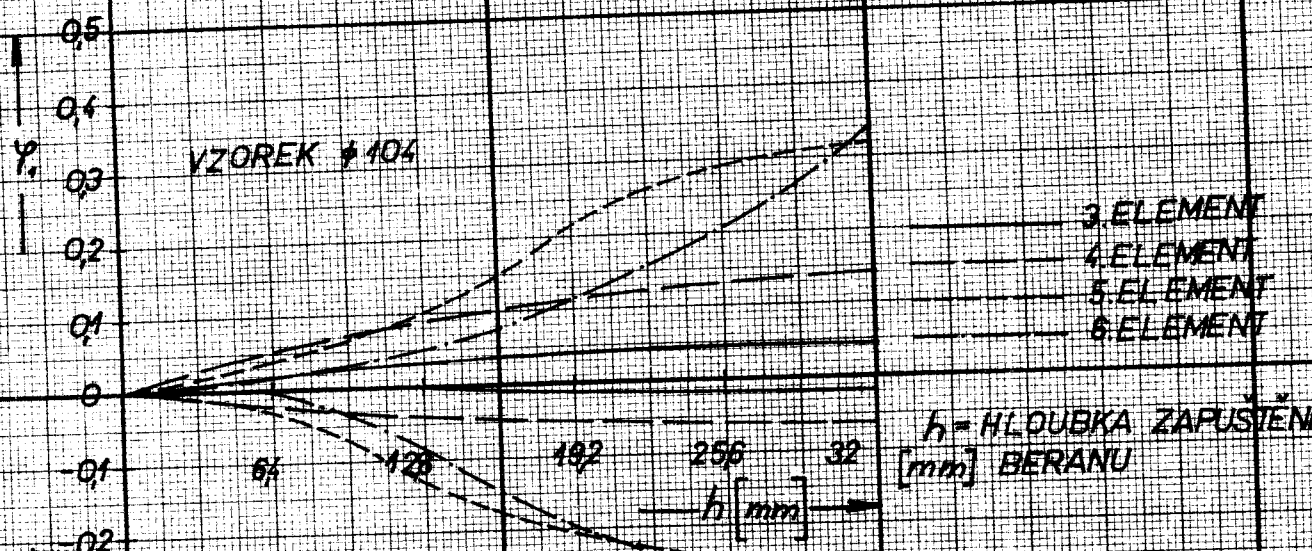
h - HLoubKA ZAPUŠTENÍ BERANU
[mm]

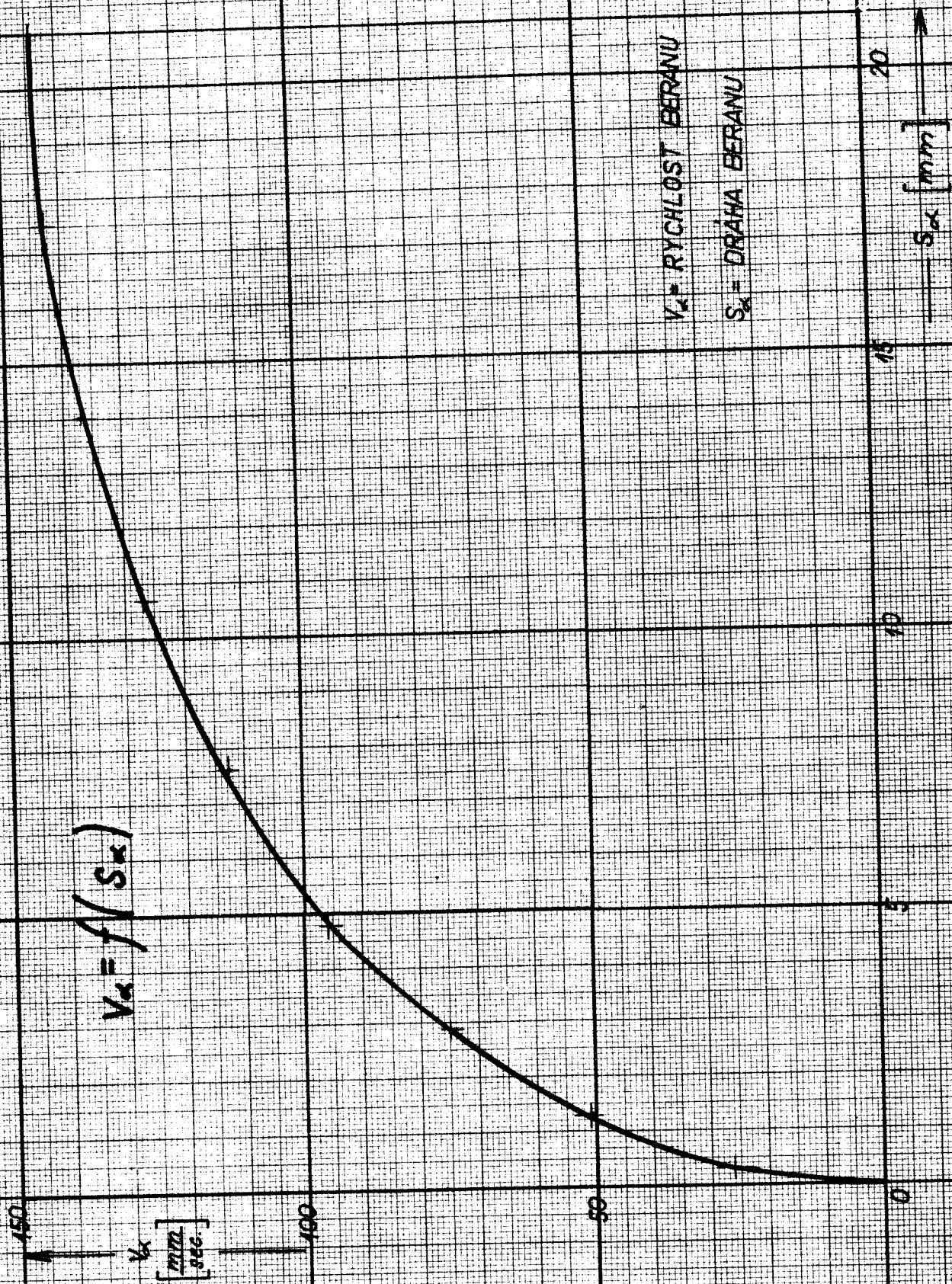
c - ČÍSLO ELEMENTU

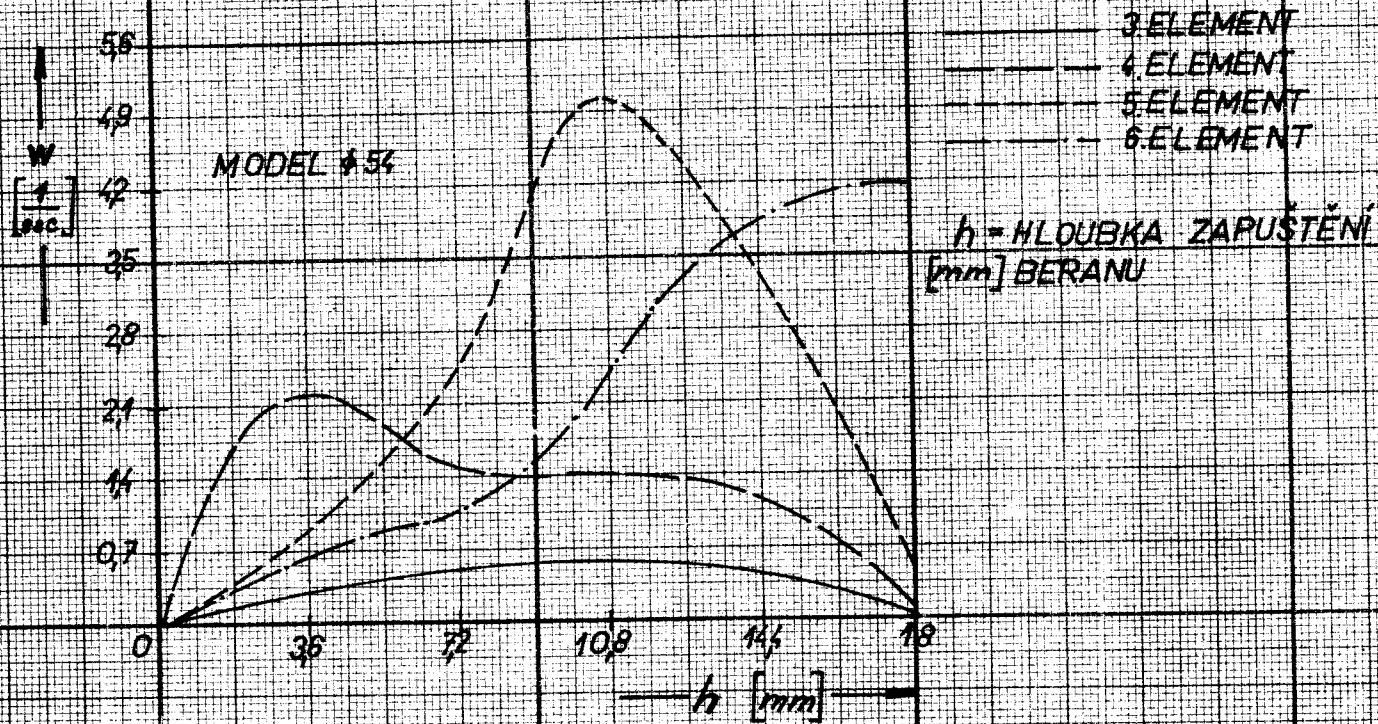
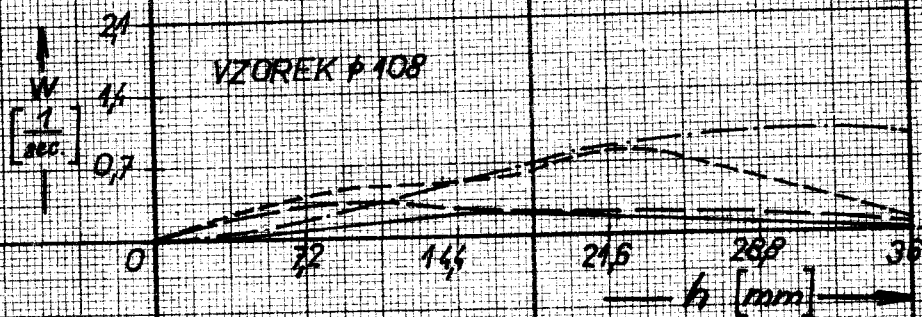


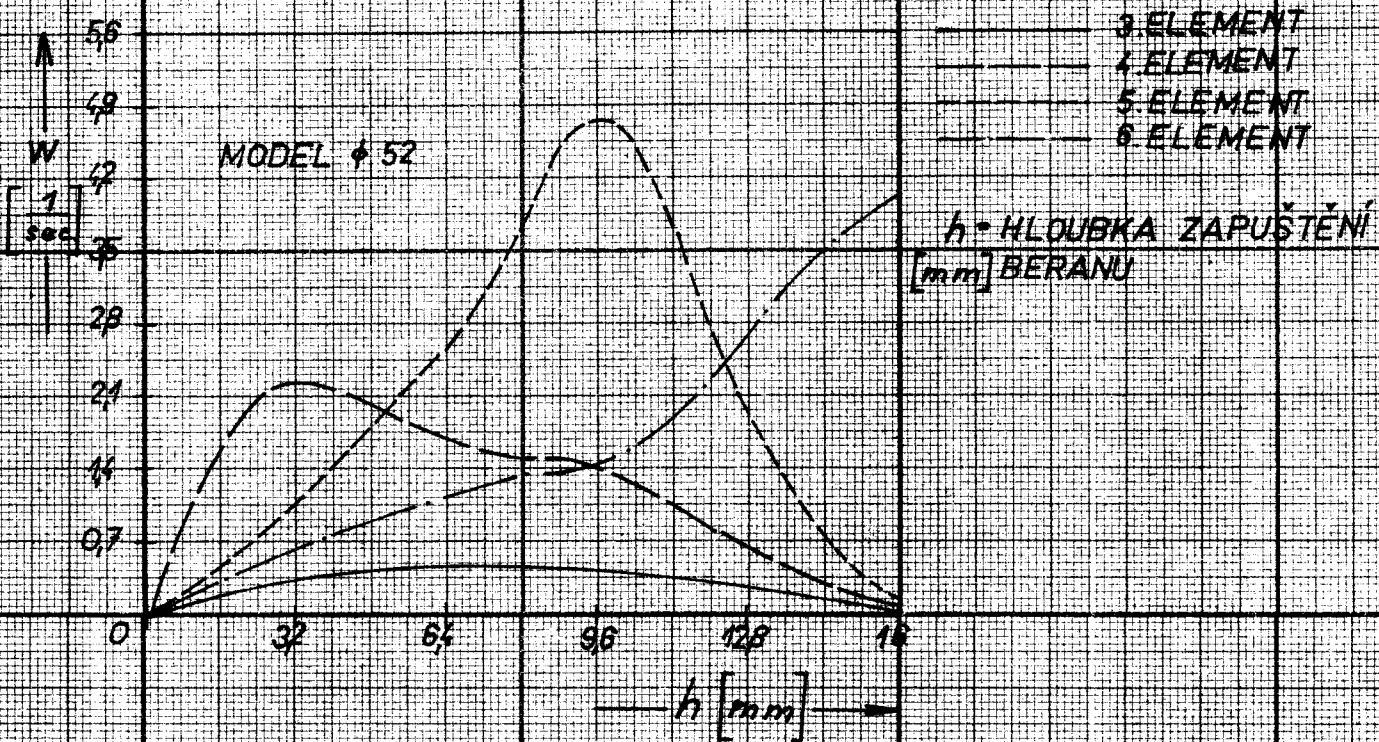
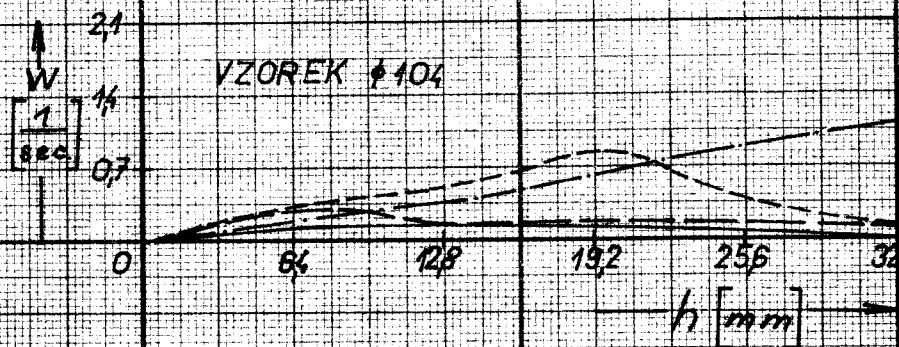






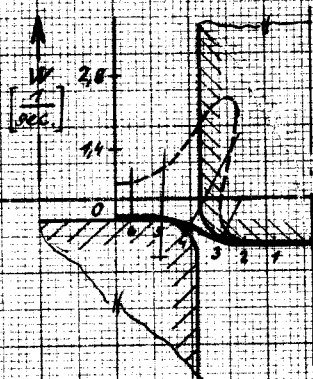




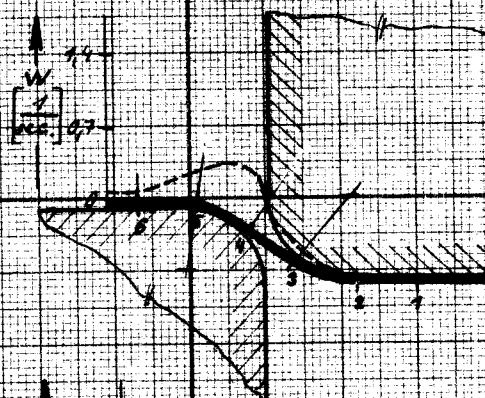


MODEL 456

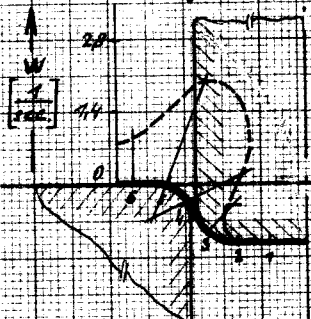
VZOREK 108



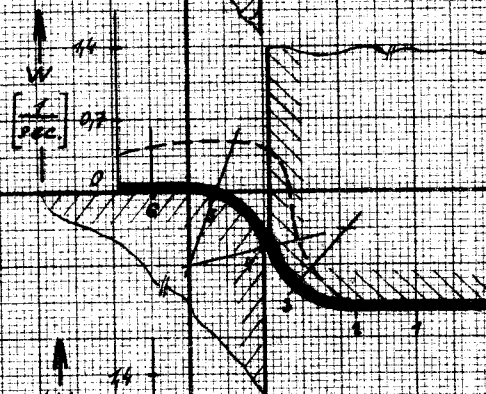
$h = 36$



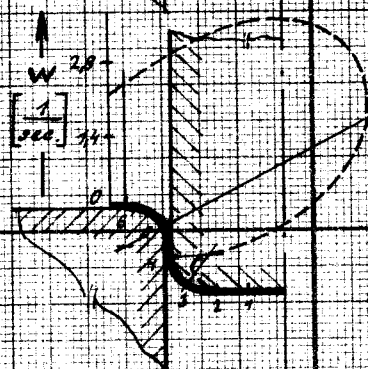
$h = 72$



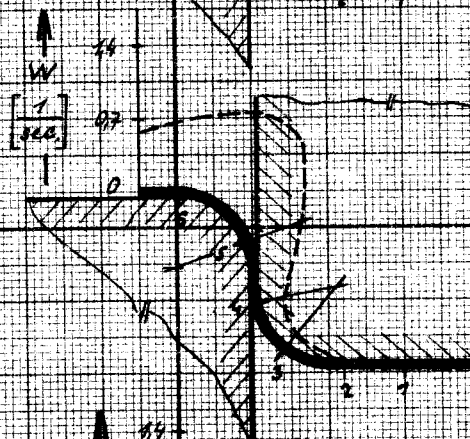
$h = 72$



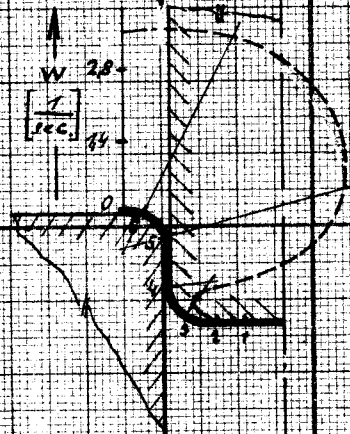
$h = 144$



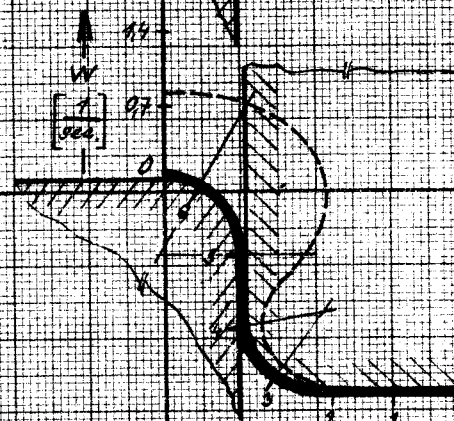
$h = 108$



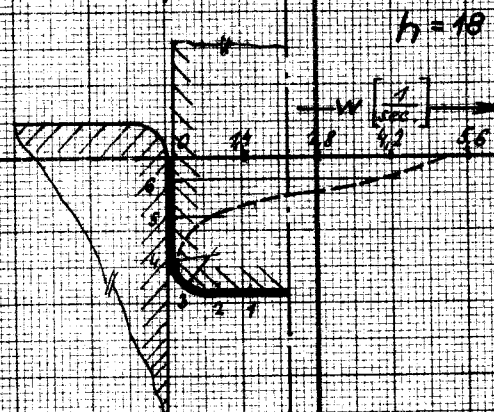
$h = 216$



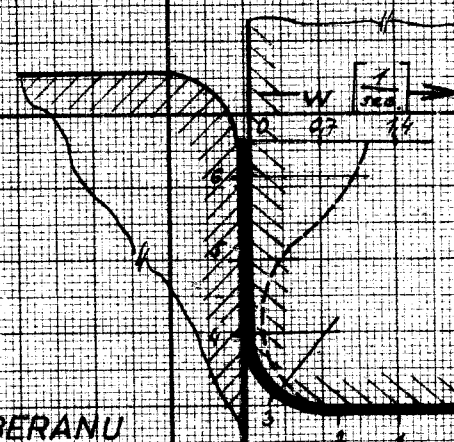
$h = 144$



$h = 288$



$h = 18$



$h = 36$

$h = \text{HLOUBKA ZAPUŠTĚNÍ BERANU}$
[mm]

7. Zhodnocení vlivu rychlosti nástroje a přetvárné rychlosti u vzorku a modelu rotačního hlubokého výtažku.

Při provedeném měření jsem nezistil vliv rychlosti nástroje (v měřeném rozsahu 1 - 145 mm/sec) na rozdělení deformace u vzorku a modelu. Vzniklé rozdíly byly pravděpodobně způsobeny nepřesností odměřování deformovaných kroužků, protože měření délek os elips v průběhu tažení 20, 40, 60, 80, 100 % hloubky tahu, vzhledem ke tvaru výtažku již není tak přesné. Proto jsou rozdíly deformací u některých elementů větší.

Také v průběhu rychlosti skutečné deformace (přetvárné rychlosti) jsem nenaměřil podstatného rozdílu mezi vzorkem taženým s konstantní rychlostí nástroje ($v = 5$ mm/sec) a modelem taženým s proměnnou rychlostí nástroje (graf 7.v-1 - 145mm/sec). Průběhy křivek na grafu č. 10 si odpovídají, pouze nelze srovnávat rychlost skutečné deformace vzorku a modelu v odpovídajících si bodech v absolutní hodnotě.

Pro praktická měření lze předpokládat, že v rozmezí rychlosti nástroje (1 - 145 mm/sec) vliv rychlosti nástroje nemusíme brát v úvahu.

V Liberci 28. října 1967

Obst Jaroslav

VŠST LIBEREC
FAKULTA STROJNÍ

**Vliv rychlosti nástroje
na rozdělení deformace na
vzorku a modelu rotačního
hlubokého výtažku.**

DP - ST 586/67

30. října 1967

Obst Jaroslav 53.

Chtěl bych touto cestou poděkovat za cenné
rady a připomínky vedoucímu diplomové práce
Ing. K r i š t o f o v i , konsultantům
Ing. M i k e š o v i a Ing. T m ě j o v i
a pracovníkům Vývojových dílen VŠST za včasné
a kvalitní vyrobení modelového nástroje.

8. Seznam literatury:

- [1] Siebel - Beisswänger: Hluboké tažení,
SNTL Praha 1958
- [2] Oehler: Plechy a jejich zkoušení, SNTL Praha 1958
- [3] Drastík: Rozbory modelových zkoušek plastického
tečení kovů ČSAV 1964
- [4] Panknin: Der Einfluss der Ziehgeschwindigkeit
Auf das Tiefziehenin Auschlag
Blech 6 - 1959, č. 9 str. 391 - 396
- [5] Zajcev: Zakon mechanického podobia pri defor-
macii raznych metallov
Zavodskaja laboratoria tom XVI 1950
- [6] Šechtěr: Maximalnaja skorost deformacii pri
glubokoj vytažke listovych metallov
Kuzněčno - šampovočnoje proizvodstvo
č. 12. 1962
- [7] B. Drbohlav: Diplomová práce ST - 514/1 - 1966
- [8] Schuler: K. Jetsche: Au investigation into use
of scale - model try - ont press tools
Sheet metal industries September 1957
- [9] I. Bureš: Diplomová práce - ST - 328 - 1965
- [10] VEB - Werkstoffprüfmaschinen - Leipzig
Prospekt zkušebního zařízení
- [11] ČSN 42 03 10
Zkouška tahem
- [12] ČSN 42 03 20
Zkušební tyče ploché
- [13] ČSN 42 06 06
Zkouška hloubením (podle Erichsena)
- [14] Vývoj technologie AZNP Mladá Boleslav
I. Bartůněk - životnost a využití plastických
hmot v nástrojařské a karosářské
technologii - Zpráva č. 9 - 09 -
- 119 - 4 Ml. Boleslav
- [15] Doc. Ing. Vladimír Hašek
Tváření kovů
- [16] L. A. Šofman
Elementy teorii chołodnoj šampovky
- [17] O. Sachs
Princips and methods of Sheet - Metal
Fabrications
část I. kapitola II. - překlad
- [18] Prof. Ing. Dr. J. Kožešník
Fyzikální podobnost a teorie modelů
- [19] V. P. Romanovskij
Příručka pro lisování za studena
- [20] Akademik F. Pišek
Nauka o materiálu II. - I.
- [21] V. Pásek
Pokrokové způsoby tváření
- [22] Ing. Novotný
Vybrané statí z tváření za studena

VŠST LIBEREC
FAKULTA STROJNÍ

Vliv rychlosti nástroje
na rozdělení deformace na
vzorku a modelu rotačního
hlubokého výtažku.

DP - ST 586/67

30. října 1967

Obst Jaroslav 55.

[23] Doc. Ing. M. Kařínek - Ing. V. Mikeš
Zjišťování napjatosti a přetvoření na
výliscích nepravdelných tvarů
Strojírenství 16, 1966, č. 1.

[24] ČSN 41 13 00
Ocel 11 300 (konstrukční k hlubokému
tažení)

9. O b s a h

	list
1. Úvod	1
2. Způsoby ověřování výrobní technologie	3
2.1. Úpravy kovového nástroje	3
2.2. Ověřovací nástroj z plastické hmoty	4
2.3. Ověřovací nástroj ve zmenšeném měř.	5
2.4. Modelové zkoušky	5
3. Zákon podobnosti	5
3.1. Definice zákona podobnosti podle Sofmana [16]	6
3.2. Definice zákona podobnosti podle O. Sachse [17]	7
4. Stanovení podmínek pro modelové zkoušky	8
4.1. Určení tvarů a rozměrů modelů a vzor- ků	8
4.2. Vliv rychlosti na průběh tažení	10
4.2.1. Rychlost deformace	11
4. 2.1.1. Průběh smluvní deformační rychlosti při tažení kalíšků [7]	12
4.3. Vlastnosti plechu pro vzorek a model	14
5. Ověření lisovatelnosti plechu	15
5.1. Zkouška hloubením (podle Erichsena)	15
5.2. Kalíšková zkouška AEG	15
5.3. Zkouška hlubokotažnosti Tiefziehpriifer TZP	16
5.4. Závěr ověřování lisovatelnosti plechu	18
6. Provozní zkoušky a měření	19
6.1. Popis zkušebního zařízení	19
6.1.1. Nástroj pro tah skutečného výlisku	19
6.1.2. Modelový nástroj pro tah modelového vý- lisku	20
6.2. Stanovení rozměrů vzorku a modelu	23
6.3. Určení materiálu vzorku a modelu	24
6.3.1. Stručná charakteristika [6]	24
6.3.2. Chemické složení	24
6.3.3. Drsnost povrchu	24
6.3.4. Zkouška hloubením (podle Erichsena)	25
6.3.5. Zkouška tahem	25
6.4. Měření deformace vzorku a modelu	27
6.4.1. Zjišťování stupně deformace vzorku a modelu pomocí deformačních sítí	27
6.4.2. Deformační síť soustředných kružnic	28
6.4.3. Vlastní provedení deformačních sítí	30
6.5. Průběh lisování	31
6.6. Zjištěné hodnoty deformace vzorku a modelu	31
6.6.1. Grafické znázornění průběhu deformací vzorku a modelu	48
6.6.2. Graficko experimentální stanovení přetvárné rychlosti	48

VŠST LIBEREC
FAKULTA STROJNÍ

Vliv rychlosti nástroje
na rozdělení deformace na
vzorku a modelu rotačního
hlubokého výtažku.

DP - ST 586/67

30. října 1967

Obst Jaroslav 57

		list
7.	Zhodnocení vlivu rychlosti nástroje a přetvárné rychlosti u vzorku a modelu rotačního hlubokého výtažku	52
8.	Seznam literatury	54
9.	Obsah přílohy: výkres DP - ST 586/67 - 1	56