

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka řádu práce

fakulta strojní

obor 23-24-8

zaměření :

Jednotčelové obráběcí a tvářecí stroje

katedra obrábění a montáže

EXPERIMENTÁLNÍ ZJIŠŤOVÁNÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN HADICOVÉHO VEDENÍ

Vítězslav Ernest

DP-VS-190/81

vedoucí práce : Ing. J. Cerha

VŠST katedra obrábění
a montáže

konzultant : Doc.Ing. V. Věchet, CSc

VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh :

Počet stran	59
Počet tabulek	4
Počet obrázků a grafů	22
Počet příloh	12

K. Ernest

DT : 531.732

Datum : 22.5.1981

Vysoká škola: strojní a textilní
v Liberci
Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže
Školní rok: 1980/81

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Vítězslava E R N E S T A
obor 23 - 34 - 8 výrobní stroje a zařízení

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

Název tématu: Experimentální zjišťování objemových změn
hadicového vedení

Pokyny pro vypracování:

- 1/ Teoretický rozbor problému
- 2/ Studium možností souvislého měření objemových a délkových změn hadic v závislosti na tlaku
- 3/ Konstrukční návrh experimentálního zařízení
- 4/ Praktické ověření navrženého zařízení a zhodnocení výsledků

Autorské právo
pro státní
1980/81
Liberec
Fakulta strojní a textilní

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
LIBEREC
Fakulta strojní a textilní
FSC 48117

Rozsah grafických prací: 3 - 5 výkresů

Rozsah průvodní zprávy: 35 - 40 stran textu

Seznam odborné literatury: Tůma, M.: DP-VS-158/78. VŠST Liberec 1978
Cerha, J.: Hydraulické mechanismy v oboru výrobních strojů. VŠST Liberec, 1971

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Cerha

Konsultanti: Doc. Ing. Vladimír Věchet, CSc

Datum zadání diplomového úkolu: 6.10.1980

Termín odevzdání diplomové práce: 22.5.1981



Doc. Ing. Vojtěch Dráb, CSc

Vedoucí katedry

Doc. RNDr. Bohuslav Stríž, CSc

Děkan

v Liberci dne 6.10. 1980

Místopřisežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval
samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, dne 22. května 1981

Václav Černý

O B S A H

	str.
Použité symboly	6
1. ÚVOD	8
2. STÁVAJÍCÍ METODY STANOVENÍ KAPACITNÍCH VLASTNOSTÍ PRYŽOVÝCH HADIC	10
2.1. Zkouška objemové deformace pryžových hadic dle ČSN 63 5305	10
2.2. Měření hadic v ZKS, n.p. Dubnice nad Váhom	11
2.2.1. Sdružený modul pružnosti	12
2.2.2. Modul pružnosti pryžové hadice	14
2.2.3. Obvod pro měření statických parametrů	15
2.2.4. Výsledky měření	15
2.3. Zhodnocení metod	17
3. ROZBOR CHYB METODIKY VYŠETŘOVÁNÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN HADICOVÉHO VEDENÍ	20
4. NÁVRH ZJIŠŤOVÁNÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN HADICOVÉHO VEDENÍ SOUVISLÝM MĚŘENÍM	27
4.1. Souvislé měření deformací hadice	27
4.2. Rekonstrukce rozváděcího přípravku	28
4.3. Návrh měřícího zařízení	28
4.4. Možnosti měření na navrženém zařízení	30
5. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ	34
5.1. Obsluha měřícího zařízení	34
5.2. Postup při měření	36
5.3. Vlastní měření	38
5.3.1. Cejchování snímače tlaku	38
5.3.2. Cejchování snímače polohy	39
5.3.3. Měření hadice a použité hydraulické kapaliny	40
5.3.4. Naměřené hodnoty	42

5.4.	Vyhodnocení měření	42
6.	ZJIŠŤOVÁNÍ DEFORMACÍ HADICE PROMĚNĚNÍM GEO- METRICKÝCH PARAMETRŮ HADICE	48
6.1.	Snímání změny vnějšího průměru a délky hadice	48
6.2.	Výpočet změny geometrického objemu hadice	50
6.3.	Zhodnocení měření	53
7.	ZÁVĚR	56
	Použitá literatura	58

POUŽITÉ SYMBOLY =====

α - úhel opletu (ovinu) hadice	[°]
d - vnitřní průměr hydraulického vedení (hadice)	[mm]
D - vnější průměr hydraul. vedení (hadice)	[mm]
ΔD - změna vnějšího průměru hadice	[mm]
$\bar{D}$ - poměrná změna vnějšího průměru hadice	[1]
E - modul pružnosti materiálu hydraul. vedení (trubky)	[MPa]
E_H - modul pružnosti stěn hadice	[MPa]
E_{HS} - statický (izotermický) modul pružnosti hadicového vedení	[MPa]
ε - relativní ohyba určování poměrné objemové změny hadicového vedení	[1]
Δh - změna výšky hladiny v odměrném válci	[mm]
K - objemový izotermický modul pružnosti kapaliny	[MPa]
K_S - sdružený modul pružnosti hydraulického vedení	[MPa]
K_{SH} - sdružený modul pružnosti hadicového vedení	[MPa]
K_{TS} - převodní konstanta snímače tlaku	[MPa mm ⁻¹]
K_{OV} - převodní konstanta odměrného válce	[mm ³ mm ⁻¹]
K_{IS} - převodní konstanta indukčního snímače polohy	[mm mm ⁻¹]
K_V - převodní konstanta změny objemu hadicového vedení	[mm ³ mm ⁻¹]
l - délka hadice včetně koncovek	[mm]
Δl - zkrácení hadice	[mm]
$\bar{l}$ - poměrné zkrácení hadice	[1]
p - působící přetlak v hadici	[MPa]
S - tloušťka stěny hydraulického vedení (trubky)	[mm]
V_0 - vnitřní objem hadice při nulovém přetlaku	[mm ³]
V_p - objem přípojí hadice	[mm ³]
ΔV - celková změna objemu hadice	[mm ³]
ΔV_K - změna objemu kapaliny (stlačení)	[mm ³]
ΔV_H - změna objemu hadice, daná deformací stěn hadice	[mm ³]

ΔV_V	- celková deformace hydraulického vedení (trubky)	$[\text{mm}^3]$
ν	- celková poměrná objemová změna hydraulického vedení	$[1]$
ν_H	- poměrná objemová změna způsobená deformací stěn hadice	$[1]$
ν_K	- poměrná objemová změna kapaliny (stlačení)	$[1]$
Δx	- posunutí na souřadnicovém zapisovači v ose x	$[\text{mm}]$
Δy	- posunutí na souřadnicovém zapisovači v ose y	$[\text{mm}]$

1. Ú V O D

Úkolem této diplomové práce je návrh metody pro praktické zjišťování kapacitních vlastností hadicového vedení, resp. návrh metody pro zjišťování objemových změn při statickém tlakovém zatížení hadicového vedení.

Vedení v hydraulických mechanismech umožňuje přenos tlakové energie od stroje ke spotřebiči. Nejčastěji je vedení tvořeno ocelovými bezšvívkovými trubkami a pryčnými hadicemi. Pro pohyblivé přístroje a tam, kde by přístroj vyžadoval složité prostorové ohyby vedení, se používá hadic. Hadicové vedení je navíc snadno montovatelné a demontovatelné, má dobrou možnost skladování, manipulace vzhledem ke své ohebnosti, je korozi-vzdorné a nepřenáší svuk.

Hlavním požadavkem, kladeným na vedení obecně, je těsnost. Jakákoliv ztráta množství kapaliny má za následek ztrátu výkonu. V hadicovém vedení je to navíc určitá poškádzenost, t.j. hadice jsou schopny akumulovat část přenášené energie. Tato vlastnost se ale může stát výhodnou v případech, že bychom požadovali od vedení tlumení tlakových rázů.

Z celkové energie, kterou má hadicové vedení přenést, se část energie akumuluje ve formě deformační energie v kapalině a ve vedení samotném. Vlastnost akumulovat energii nazýváme celkovou hydraulickou kapacitou hadicového vedení a definujeme ji jako poměrnou změnu objemu hadicového vedení zaplněného kapalinou se změnou působícího tlaku, při deformaci vedení i kapaliny.

Při návrhu hydraulických systémů je tedy zapotřebí znát vlastnosti hydraulického vedení a zahrnout je do výpočtů. Naprosto dostačující výpočtové podklady jsou dnes k dispozici pouze pro vedení z kovových materiálů, kde určující hodnotou je zejména modul pružnosti E , který lze pro běžné materiály nalézt v příručkách. Rovněž tak již existují podklady pro objemový modul pružnosti kapalin K ,

ještě určování je naznačeno např. ve [2], [3], [4] .

Zvláštním problémem je ale vedení s pryžových hadic, jejichž materiál a hlavně konstrukce nedovoluje zatím určit ani přibližně směrnou hodnotu např. pro jejich objemový modul pružnosti. V nejbližší době bude ale třeba tento problém vyřešit. Hydraulika nachází stále širší uplatnění a nejen ve strojírenství. Na pryžové hadice jsou kladeny nejrozsáhlejší požadavky co do jasné světlosti, tlakových požadavků, odolnosti proti různým tlakovým a dopravovaným médiím, působení vnějšího prostředí, značnému intervalu teplot, dynamické únavě a jiné speciální požadavky. Z toho vyplývá i konstrukční řešení pryžových hadic : duše hadice odolávající dopravovanému mediu, kostra jako pevnostní prvek, obal chránící kosteru hadice před působením vnějších vlivů, zároveň odolávající všem podmínkám výrobní technologie hadic. (Podrobný popis stavby a výroby hadic viz [3]).

Na rozvoj hydrauliky reagují i směrnice pro hospodářský a sociální rozvoj ČSSR na léta 1981 - 1985. Ukládají rozvinout výrobu hydraulických prvků agregátů na dvojnásobek současného stavu. Přitom výrazně zvýšit jejich technickou úroveň, spolehlivost a životnost. Vyřešení vlastností hadicového vedení bude jistě jedním z důležitých přínosů pro hospodářský režim hydraulických mechanismů i u robotů a manipulátorů, jejichž užití u operační a manipulační manipulace, u vyššího stupně mechanizace a automatizace ucelených výrobních procesů, linek a úseků, je také jedním z hlavních úkolů dle [1] . Kromě toho se má ČSSR stát monopolním výrobcem hadic v rámci zemí NVHP. Zařazení hydrauliky jako státního cílového programu proto jistě není náhodné.

V této diplomové práci jsem se zaměřil na experimentální zjišťování objemových měn pryžových hadic při statickém tlakovém zatížení.

2. STÁVAJÍCÍ METODY STANOVENÍ KAPACIT- NÍCH VLASTNOSTÍ PRYŽOVÝCH HADIC

Nutno konstatovat, že dosud nebyla stanovena žádná experimentální ani výpočtová metoda pro určování objemových změn hadicového vedení při působícím statickém resp. i dynamickém přetlaku, která by byla závazná pro ověřování vlastností hadicového vedení. Stávající metody [6] jsou totiž zejména velmi pracné (děrování tisíců naměřených hodnot na štítek či pásku pro zpracování na počítači) nebo nedávají hodnoty odpovídající experimentálnímu měření, které vykazuje určitý rozptyl hodnot (stanovení objemových změn výpočtem [3]). Praktické i teoretické prověrky hydraulických okruhů sice vedly výrobce hadic k zavedeníkušebních metod zatěžování hadic tlakovými předem definovanými rasy, které mají zejména vliv na jejich poruchovost. Výsledkem zkoušek jsou ale křivky meze únavy hadice, t.j. údaje o jejich životnosti a nikoliv hodnoty objemových změn hadicového vedení potřebné pro stanovení kapacity celého hydraulického okruhu.

V tomto rozboru ukáží metodu měření objemových změn hadic dle ČSN a metodu navrženou v ZŠS, n.p. Dukovna nad Váhem.

2.1. Zkouška objemové deformace pryžových hadic dle ČSN 63 5305

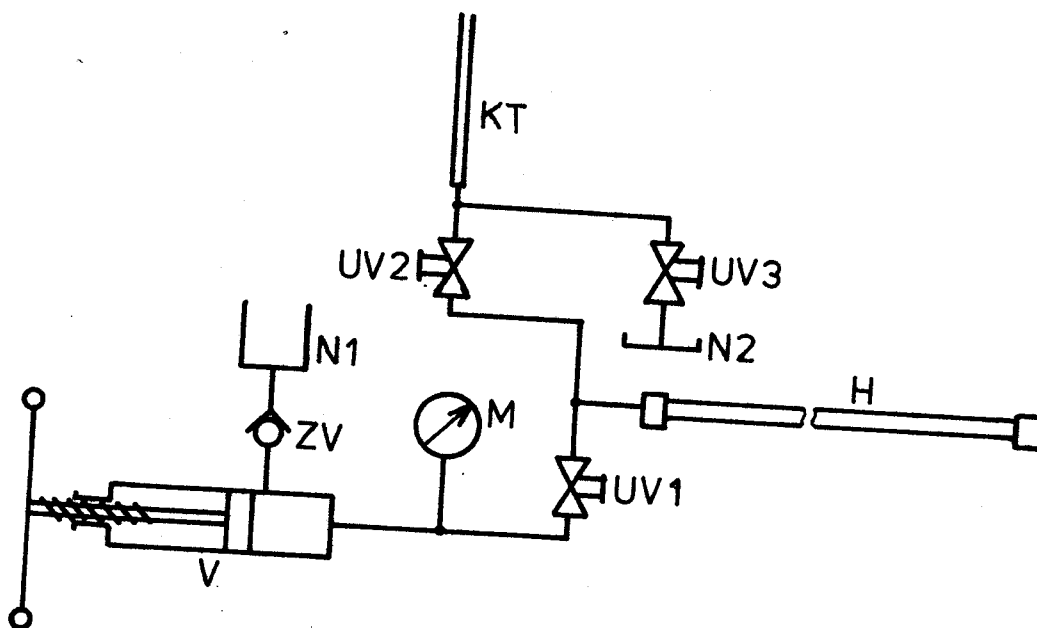
ČSN [5] zahrnuje tuto zkoušku jako jednu z řady zkoušek pro ověření vlastností hadic. Svým charakterem jde spíše o zkoušku informativní, ověřující správnou konstrukci a neporušenost hadice.

Zkouší se na zvláštním přístroji, jehož schéma je uvedeno na obr. 2.1. Před sepočetím měření se hladina kapaliny v kalibrované trubičce KT ustaví na nulovou polohu. Zkoušená hadice H je ve vodorovné poloze, jedním koncem upnutá do přístroje a druhý konec je uzavřen vhodnou zátkou. Zatlačováním pístu do válce V přístroje se vyvine ve zkoušené hadici přetlak, při kterém se měří deformace. Po dosažení tohoto pře-

tlaku se uzavře přívod kapaliny do hadice uzavíracím ventilem UV 1 a otevře přívod do kalibrované trubičky KT ventilem UV 2. Tím dojde ke změně hladiny kapaliny v trubičce. Odečtením dílků na stupnici trubičky se zjistí objemová deformace σ_1 . Naměřená hodnota σ_1 se sníží o korekci přístroje α , zjištěnou pro příslušný přetlak. Skutečná objemová deformace pak vypočteme podle vzorce :

$$\sigma = \frac{(\sigma_1 - \alpha) \cdot 100}{l} \quad [\text{cm}^3], \quad (2.1)$$

kde σ - objemová deformace zkoušené hadice,
 σ_1 - naměřená objemová deformace, t.j. údaj na trubičce,
 α - hodnota odečtená z korekční křivky,
 l - délka zkoušené hadice v mm.



Obr. 2.1.

2.2. N ě ř e n í h a d i c v Z ě S n.p., Dubnice nad Váhem

Naměřené a vypočtené hodnoty v ZĚS, n.p. [2], byly získávány v podobě objemového modulu pružnosti.

Objemový modul pružnosti K [MPa] jako charakteristická hodnota

objemové pružnosti látek všech skupenství je dán vztahem

$$K = \left(\frac{V \cdot \Delta p}{\Delta V} \right)_T, \quad (2.2)$$

kde V je původní objem látky nebo pracovního prostoru,

ΔV - přírůstek objemu pracovního prostoru nebo úbytek objemu látky,

Δp - příslušné zvýšení tlaku.

Vztah platí pro určitou konstantní teplotu T .

2.2.1. Sdružený modul pružnosti

Objemový modul pružnosti ve většině výpočtů představuje sdruženou hodnotu, zahrnující stlačitelnost pracovní látky i objemovou deformaci pracovního prostoru. Tento případ platí právě pro vedení tvořená průřevy hadicemi. Vyjdeme-li z toho, že celková změna objemu hadice ΔV při působícím přetlaku p je dána součtem deformací kapaliny stlačením ΔV_K a hadice samotné (roztahením) ΔV_H

$$\Delta V = \Delta V_K + \Delta V_H = \frac{V_0}{K_S} \cdot p, \quad (2.3)$$

pak lze z rovnice (2.3) určit sdružený modul pružnosti z rovnice

$$K_S = \frac{V_0 \cdot p}{\Delta V_K + \Delta V_H}, \quad (2.4)$$

kde V_0 je původní geometrický objem hadice při nulovém přetlaku,

p - působící přetlak,

ΔV_K - stlačení kapaliny,

ΔV_H - deformace hadice roztahením.

Stlačení kapaliny ΔV_K lze vypočítat jako

$$\Delta V_K = \frac{V_0}{K} \cdot p, \quad (2.5)$$

kde K je modul pružnosti kapaliny.

Deformaci hadice, resp. vedení obecně, lze postihnout pouze

pro ocelovou tenkostěnnou trubku, pro kterou platí

$$\Delta V_v = V_0 \cdot \frac{d}{E \cdot s} \cdot p \quad (2.6)$$

kde d je vnitřní průměr trubky,

E - modul pružnosti materiálu trubky,

s - tloušťka stěny trubky.

Dosažení vztahů pro trubku (2.6) a kapalinu (2.5) do (2.4) dostaneme vztah platný pouze pro kovovou trubku. Vztah platí v mezích Hookeova zákona.

$$K_s = \frac{K \cdot E}{E + K \cdot \frac{d}{s}} \quad (2.7)$$

Překové hadice svou konstrukcí a použitým materiálem nesplňují požadavek homogenity ani izotropičnosti jako základní podmínky platnosti Hookeova zákona, proto u nich nelze užit obdobného vztahu.

Jestliže bychom zavedli deformaci hadice ΔV_H jako

$$\Delta V_H = \frac{V_0}{E_H} \cdot p \quad (2.8)$$

Pak po dosazení (2.8) a (2.5) do (2.4) dostaneme vztah pro sárušený modul pružnosti K_{SH} pro hadicové vedení

$$K_{SH} = \frac{K \cdot E_H}{K + E_H} \quad (2.9)$$

V tomto vzorci se již nevyskytují rozměry hadice, jako tomu bylo v případě kovové trubky. Sárušený modul pružnosti hadice je funkční závislostí modulu pružnosti kapaliny K a modulu pružnosti materiálu hadice E_H . Obě veličiny dále vykazují funkční závislost na teplotě T , tlaku p ; modul pružnosti kapaliny dále závislost na obsahu ne-

rozpuštěného vzduchu v kapalině a samozřejmě na druhu kapaliny, modul pružnosti hadice dále na materiálu a hlavně konstrukci hadice :

$$K = K (T, p, \text{obs. vzduchu, druhu kap.})$$

$$E_H = E_H (T, p, \text{mat. a konstr.})$$

Z uvedených závislostí tedy vyplývá obtížnost (nemožnost) teoretického stanovení E_H , tedy i K_{SH} . Proto bylo překročeno k experimentálně početnému určení modulu pružnosti v parametrech proměnné teploty a tlaku.

2.2.2. Modul pružnosti pryžové hadice

Při měření byla předpokládána kapalina bez obsahu plynu, vyloučeného ve formě bublinek. Výpočet byl prováděn užitím sečného izotermického modulu pružnosti kapaliny (pomalu probíhající proces stlačování s ohledem na vnitřní termodynamické jevy), ozn. jako střední modul, definovaný vztahem

$$K_S = p \cdot \frac{V_0}{\Delta V} \quad (2.10)$$

Podrobněji viz [2] .

Modul pružnosti pryžové hadice bude zřejmě nejvíce závislý na konstrukci hadice, zejm. na vystužení hadice, tvořeným vlákny z příze nebo drátů a pryžovými manžetami. Modul pružnosti bude úměrný počtu vláken vystužení, t.j. ovinů či opletů.

Vyjde se z celkové objemové deformace dle (2.3), kde musíme uvažovat stlačitelnost kapaliny i v případech hadice V_p .

$$\Delta V_K = \frac{V_0 + V_p}{K_S} \cdot p \quad (2.11)$$

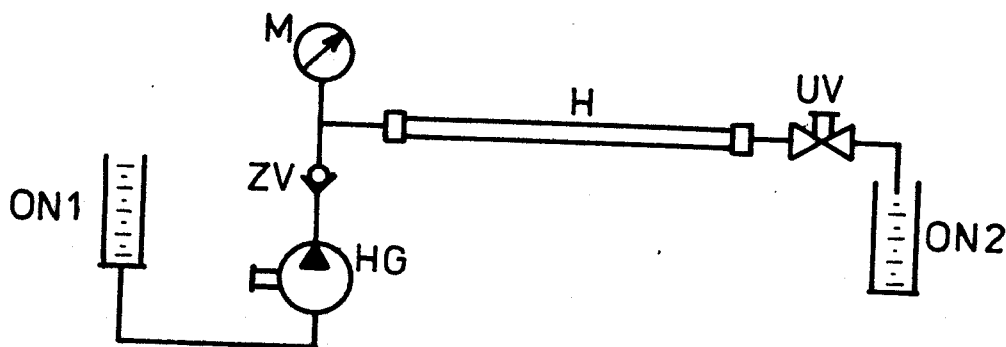
deformaci hadice vyjádříme vztahem (2.8). Vztah pro statický (izotermický) modul pružnosti pryžové hadice odvedeme dosazením (2.8)

a (2.11) do (2.3) :

$$E_{HS} = \frac{V_0 \cdot p}{\Delta V - \frac{p}{K_S} (V_0 + V_p)} \quad (2.12)$$

2.2.3. Obvod pro měření statických parametrů

Pro měření statického modulu pružnosti hadic byl sestaven experimentální obvod znázorněný na obr. 2.2. Obvod se sestává z hydrogenerátoru HG s nepatrným průtokem (řádově $\text{cm}^3 \text{ min}^{-1}$) a s téměř nulovými objemovými ztrátami, jednostranného ventilu ZV, uváděného jako absolutně těsný, odměrných válců na straně sání (ON 1) a na straně výtoku z hadice (ON 2), uzavíracího ventilu UV a kontrolního manometru M. Po odvědušnění obvodu byl zjišťován přírůstek objemu ΔV při zvoleném tlakovém spádu p buď jako úbytek kapaliny v nádobě ON 1 nebo přírůstek objemu v nádobě ON 2 po otevření uzavíracího ventilu UV.



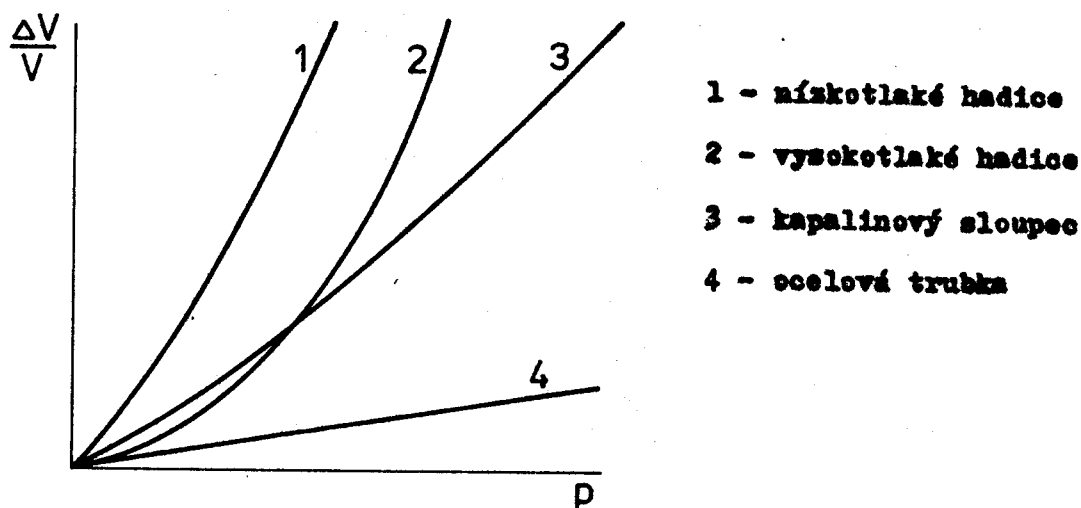
Obr. 2.2.

2.2.4. Výsledky měření

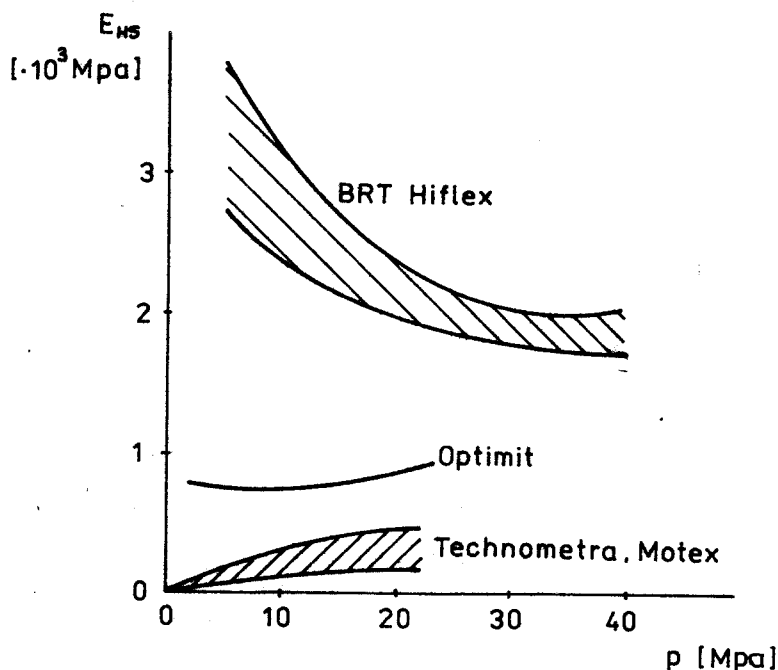
Statická měření objemového modulu pružnosti hadic zahrnovala široký program podle světlosti, délek, typu hadice, tvaru vedení, pro seriové a paralelní zapojení dvou hadic. Jednotlivá měření vykazovala

desti značný rozptyl, zejména podle typu a světlesti hadic. Výsledky byly zpracovány do plošných grafů, vymezujících oblasti dané závislosti, do kterých patřilo min. 90% naměřených hodnot. Takto byly proměřeny vysokotlaké hadice typu BRT Hiflex, středotlaké Optimit a nízkotlaké Technometra, Motex.

U výsledků jsou uvedeny grafy závislosti poměrné objemové deformace $\frac{\Delta V}{V}$ na tlaku v obr. 2.3. a průběh závislosti modulu pružnosti na tlaku u jednotlivých typů hadic na obr. 2.4.



Obr. 2.3.



Obr. 2.4.

Pro praktické využití experimentálně získaných několika set hodnot statického modulu pružnosti hadice pro zvolené typy hadic a jejich světlosti, při různých teplotách a způsobech spojení byly vypočteny střední hodnoty statického modulu pružnosti hadic $E_{s\text{str.}}$ s platností u vysokotlakých hadic pro $p = (0,6 \text{ až } 1,2) p_n$, u nízkotlakých hadic až $0,4 p_n$ a seřazeny v tabulkách viz [2] .

Součástí měření bylo i stanovení statického (izotermického sečného) modulu pružnosti oleje. Z výsledků měření vyplynula malá závislost modulu pružnosti oleje na tlaku, zejm. při vyšší teplotě. Naměřené hodnoty byly uvedeny v tabulce viz [2] pro olej OT - H3.

2.3. Z h o d n o c e n í m e t o d

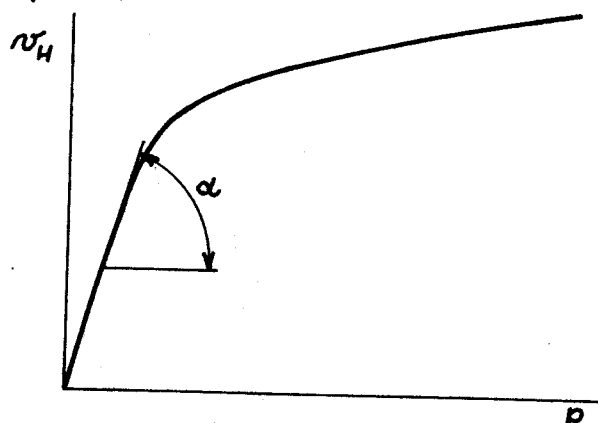
Metoda měření objemových deformací pryžových hadic dle ČSN 63 5305 je, jak již bylo řečeno, spíše metodou informativní, zjišťující bezvadnost, neporušenost hadice. Zjištěná deformace, zmenšená a hodnota korekce přístroje, je zde vztahena na jednotku délky hadice. Norma již dále neuvádí směrodatné či kontrolní hodnoty deformací hadic.

Praktické využití metody předpokládá vynesení naměřených hodnot do grafů či tabulek, aby bylo možno získat představu o chování hadic při působícím přetlaku. Jedině tak lze využít hodnot při návrhu hydraulických systémů z hlediska vlivu hadic na jejich chování a hospodárnost.

Hodnoty vyplývající z měření v ZTS, n.p. nám již dávají představu o chování různých typů hadic. Teoretický postup je obdobný, jaký se užívá na KCH VŠST v Liberci. Jde v podstatě o měření celkové objemové změny vedení, dané stlačitelností kapaliny a deformací stěn hadice. Metoda ZTS, n.p. rovněž počítá stlačení kapaliny vztahované na počáteční objem kapaliny ve vedení při nulovém přetlaku. Tímto se dopouští zcela zanedbatelné chyby, jak bude naznačeno dále při rozboru chyb metodiky

měření. Ačkoliv je teoretický přístup shodný s přístupem na KOM VŠST, výsledné charakteristiky, zejm. u nízkotlakých hadic, které byly na KOM VŠST nejvíce měřeny, udávají poněkud odlišný průběh deformací, viz křivka 1 na obr. 2.3.

Výsledky měření na KOM VŠST udávají průběh deformace znázorněný křivkou na obr. 2.5., kde na svislou osu je nanášena změna objemu hadice, ΔV_H při působícím přetlaku p , příp. poměrná objemová změna hadice $\nu_H = \frac{\Delta V_H}{V_0}$, na vodorovnou osu je vynášen působící přetlak p .



Obr. 2.5.

Jak vyplývá z rozboru chyb metodiky měření lze u pryžových nízkotlakých hadic ve vztahu pro celkovou změnu objemu hadice ΔV (vztah (2.3)) zanedbat přibližně s chybou max. 10% stlačitelnost kapaliny ΔV_K . Vztah můžeme pak psát jako

$$\Delta V \doteq \Delta V_H = \frac{V_0}{E_H} \cdot p \quad (2.13)$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že modul pružnosti hadice lze přibližně stanovit ze vztahu

$$E_H \doteq \frac{V_0}{\Delta V} \cdot p = \frac{p}{\nu} \quad (2.14)$$

Z grafu na obr. 2.5. je zřejmé, že sklon křivky je úměrný převrácené hodnotě modulu pružnosti, tedy poddajnosti hadice

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \frac{\nu}{p} \approx \frac{1}{E_H} .$$

Jestliže bychom tedy vynásobili do grafu modul pružnosti hadice E_H , pak jeho průběh daný vztahem (2.14) odpovídá jeho průběhu pro nízkotlaké hadice na obr. 2.4. V tomto bodu tedy měření odpovídá zkušenostem na KCM VŠST.

Zajímavá je ovšem otázka průběhu změny objemu hadice. Dosavadní měření na KCM ukázala pro měřené hadice průběh snázorněný na obr. 2.5. jak pro hadice s přízeovým, tak i drátěným opletem, což se nakonec ukázalo i při metodě navržené v této diplomové práci.

Otázkou stanovení kapacitních vlastností tedy bude další zkoumání experimentálních metod vyšetřování vlastností hadic, navíc zde může přistoupit i systém výběru vzorků hadic z jejich sortimentu pro jejich zkoumání.

3. ROZBOR CHYB METODIKY VYŠETŘOVÁNÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN HADICOVÉHO VEDENÍ

Hadicové vedení prokazuje nelineární závislost objemových změn způsobených deformací stěn hadice na působícím vnitřním tlaku. Nelze tedy pro určení objemových změn hadicového vedení užít vztahy obdobné vztahu pro vedení tvořené ocelovou tenkostěnnou trubicí. Pro poměrnou objemovou změnu takového vedení platí známý vztah

$$\nu = \frac{\Delta V}{V_0} = \left(\frac{1}{K} + \frac{d}{E \cdot s} \right) \cdot p \quad (3.1)$$

kde ΔV je souhrnná objemová změna vedení,

V_0 - geometrický objem vedení při atmosférickém tlaku,

K - izotermický objemový modul pružnosti kapaliny,

d - vnitřní průměr trubky,

E - modul pružnosti materiálu stěny trubky,

s - tloušťka stěny trubky,

p - působící vnitřní přetlak.

Pro hadicové vedení lze pro poměrnou objemovou změnu vedení psát

$$\nu = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{p}{K} + \nu_H(p) \quad (3.2)$$

kde $\nu_H(p)$ je poměrná objemová změna způsobená pouze deformací stěn hadice.

Poměrná objemová změna stěn hadice bude kromě působícího vnitřního přetlaku záviset rovněž na daných materiálových a konstrukčních parametrech hadice. Podle dosavadních zkušeností a výsledků se vyjadřuje obecnou mocninovou závislostí

$$\nu_H(p) = l \cdot p^m \quad (3.3)$$

při aproximaci naměřených hodnot metodou nejmenších čtverců.

Vyšetření objemových změn hadicového vedení není tedy jednoduché, Praktické metody vycházejí z měření absolutní objemové změny vedení ΔV , která je dána součtem absolutních objemových změn kapaliny ΔV_K a stěh hadice ΔV_H

$$\Delta V = \Delta V_K + \Delta V_H \quad (3.4)$$

Po vydělení rovnice geometrickým objemem vedení při atm. tlaku (V_0) lze psát pro poměrné objemové změny

$$\nu = \nu_K + \nu_H \quad (3.5)$$

Poměrnou objemovou změnu stěh hadice lze určit odečtením poměrné objemové změny kapaliny ν_K od celkové poměrné objemové změny vedení ν .

Víme, že objemová změna kapaliny, resp. její stlačitelnost, závisí kromě působícího tlaku p a modulu pružnosti K na skutečném, t.j. okamžitém objemu kapaliny. Takže ve vztahu (3.4) bude pro ΔV_K platit

$$\Delta V_K = (V_0 + \Delta V_H) \cdot \frac{p}{K} \quad (3.6)$$

Dosažením tohoto vztahu do (3.4) dostaneme

$$\Delta V = V_0 \cdot \frac{p}{K} + \Delta V_H \left(\frac{p}{K} + 1 \right) \quad (3.7)$$

pro poměrnou objemovou změnu

$$\nu = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{p}{K} + \left(1 + \frac{p}{K} \right) \cdot \nu_H \quad (3.8)$$

Odkud poměrná objemová změna stěn hadice

$$\nu_H = \frac{\nu - \frac{p}{K}}{1 + \frac{p}{K}} \quad (3.9)$$

Z odměřené celkové objemové změny vypočteme tedy poměrnou objemovou změnu stěn hadice podle (3.9) nej přesněji.

Metoda používaná dosud při vyšetřování kapacitních vlastností hadicového vedení byla založena na určování poměrné objemové změny stěny hadice z celkové poměrné objemové změny odečítáním poměrné objemové změny kapaliny, určené ovšem z geometrického objemu vedení při atm. tlaku. Jaké chyby se dopustíme při této metodě oproti přesnému určení, jehož výsledkem je vztah (3.9) ?

Pro stlačitelnost kapaliny platí zde

$$\Delta V_K = V_0 \cdot \frac{p}{K} \quad (3.10)$$

pro poměrnou objemovou změnu kapaliny

$$\nu_K = \frac{\Delta V_K}{V_0} = \frac{p}{K} \quad (3.11)$$

Poměrná objemová změna stěn hadice pak dosazením do (3.5) bude

$$\nu_H = \nu - \frac{p}{K} \quad (3.12)$$

Relativní chyba této metody užitím vztahů (3.9) a (3.12) bude

$$\epsilon = \frac{\nu_H - \nu_H}{\nu_H} = \frac{p}{K} \quad (3.13)$$

V našem případě, kdy měřený rozsah tlaků je

$p \in \langle 0,16 \rangle$ MPa a modul pružnosti kapaliny lze vzít $K = 1,66 \cdot 10^3$ MPa (jeho závislost na tlaku lze zanedbat viz [2]), bude relativní chyba metody ${}^1\epsilon$ řádově pod 10^{-2} , t.j. nepřekročí 1 %.

Zkusme dále zanedbat stlačitelnost kapaliny zcela. Naměřenou objemovou změnu vedení přisoudíme tedy deformaci stěn hadice.

$$\Delta V = \Delta^2 V_H, \quad (3.14)$$

pro poměrnou objemovou změnu hadice zde platí

$$\Delta^2 \nu_H = \nu. \quad (3.15)$$

Vypočteme relativní chybu této velmi zjednodušené metody užitím vztahů (3.15) a (3.9)

$${}^2\epsilon = \frac{\Delta^2 \nu_H - \nu_H}{\nu_H} = \frac{p}{K} \cdot \frac{\nu+1}{\nu - \frac{p}{K}}. \quad (3.16)$$

Víme, že poměr $\frac{p}{K} = {}^1\epsilon$, pak

$${}^2\epsilon = {}^1\epsilon \cdot \frac{\nu+1}{\nu - \frac{p}{K}}. \quad (3.17)$$

Vyjádříme relativní chybu ${}^2\epsilon$ jako A - násobek relativní chyby ${}^1\epsilon = \frac{p}{K}$.

$${}^2\epsilon = \frac{p}{K} \cdot \frac{\nu+1}{\nu - \frac{p}{K}} = \frac{p}{K} \cdot A. \quad (3.18)$$

Musí zde platit rovnost

$$\frac{\nu+1}{\nu - \frac{p}{K}} = A. \quad (3.19)$$

Ze vztahu (3.19) vypočteme celkovou poměrnou objemovou změnu

$$\mathcal{N} = \frac{A \cdot \frac{P}{K} + 1}{A - 1} \quad (3.20)$$

Poměr $\frac{P}{K} \doteq 10^{-2} \approx 1\%$, jak bylo uvedeno dříve (platí pro $p = 16 \text{ MPa}$). Konstanta A nám tedy dle (3.18) přímo udává relativní chybu v %. Celkové poměrné objemové změny vedení odpovídající různým chybám, daným konstantou A , jsou vypočteny v tab. 3.1.

$A \approx {}^2\mathcal{E} \text{ [%]}$	1	2	4	6	8	10	15	20
$\mathcal{N} \text{ [1]}$	∞	1,02	0,347	0,212	0,154	0,122	0,082	0,063

tab. 3.1.

Z tabulkových hodnot celkové poměrné objemové změny $\mathcal{N}$ je zřejmé, že u hadic s přísovným opletem, kde celková poměrná objemová změna $\mathcal{N}$ dosahuje asi 15 %, by poměrná chyba této metody neměla překročit 10 %. U hadic s ocelovým opletem však dochází k menším deformacím a stlačitelnost kapaliny u nich lze zanedbat na úkor větší nepřesnosti metody měření.

Uvedenou dvakrát skontrolujeme přímým výpočtem ${}^2\mathcal{E}$ užitím naměřených hodnot deformací hadice metodou uvažující stlačitelnost kapaliny vztahem na původní geometrický objem V_0 při atm. tlaku. Celkovou poměrnou objemovou změnu vedení tedy vypočteme

$$\mathcal{N} = \bar{\mathcal{N}}_H + \frac{P}{K} \quad (3.21)$$

Naměřené hodnoty $\bar{\mathcal{N}}_H$ pro hadice přísové Js 6, 10, 13 jsou uvedeny spolu s vypočtenými hodnotami ${}^2\mathcal{E}$ v tab. 3.2.

$$K = 1,66 \cdot 10^3 \text{ MPa}$$

p [MPa]	0	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	
$\bar{\nu}_H$ [1]	J_s 6	0	0,074	0,092	0,105	0,116	0,131	0,145	0,156	0,166	0,175	0,182
	J_s 10	0	0,100	0,118	0,130	0,139	0,152	0,163	0,171	0,179	0,185	0,190
	J_s 13	0	0,064	0,076	0,086	0,092	0,102	0,110	0,116	0,121	0,127	0,130
$^2\varepsilon$ [%]	J_s 6	0	0,874	1,432	1,905	2,323	3,131	3,822	4,487	5,109	5,703	6,311
	J_s 10	0	0,663	1,143	1,573	1,979	2,748	3,453	4,146	4,791	5,440	6,086
	J_s 13	0	1,002	1,708	2,286	2,866	3,917	4,884	5,827	6,741	7,540	8,450

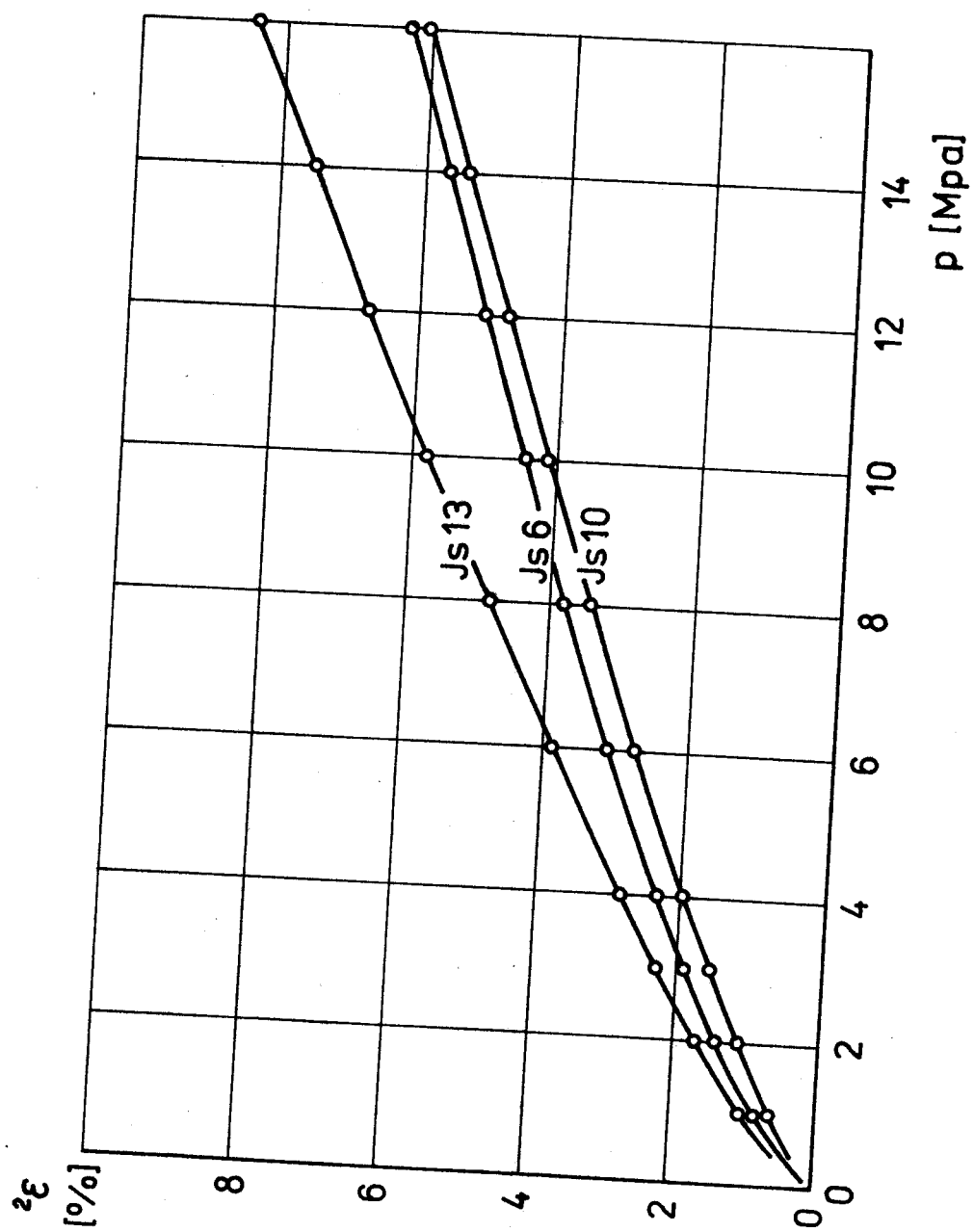
Tab. 3.2.

Vztah pro relativní chybu $^2\varepsilon$ (3.18) pro výpočet upravíme dosazením (3.21) na tvar

$$^2\varepsilon = \frac{p}{K} \cdot \left(1 + \frac{\frac{p}{K} + 1}{\bar{\nu}_H} \right) \quad (3.22)$$

Vypočtené hodnoty jsou vyneseny v grafu na obr. 3.1. Výpočet potvrdil dříve uvedený předpoklad, který uvádí, že relativní chyba metody, zanedbávající stlačitelnost kapaliny, by neměla u hadic s přísovným opletem překročit 10 %.

Obecně lze konstatovat, že bude-li celková poměrná objemová změna vedení řádeově 10^{-1} při 16 MPa, pak lze poměrnou stlačitelnost kapaliny, danou poměrem $\frac{p}{K}$, zanedbat. Tato stlačitelnost činí při tlaku $p = 16 \text{ MPa}$ $\frac{p}{K} \doteq 10^{-2}$, čímž se při určování poměrné objemové deformace stěn hadice jako odměřené celkové poměrné objemové změně dopustíme max. relativní chyby pod 10 %.



Obr. 3.1.

4. NÁVRH ZJIŠŤOVÁNÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN HADICOVÉHO VEDENÍ SOUVISLÝM MĚŘENÍM

Při stanovování objemových změn hadicového vedení při statickém tlakovém zatížení se dosud užívala na KCM VŠST metoda, která stanovovala deformaci hadice z výšky kapalinového sloupce v odměrné trubici, kam se vypouštěla kapalina z "natlakované" hadice. Pro sestavení křivky závislosti objemové změny hadice na tlaku bylo tak třeba odměřit velké množství hodnot, které při opakovaných měřeních vykazovaly určitý rozptyl. Pro zpracování naměřených hodnot na počítači k určení regresní křivky bylo tak nutno vyděrovat sta až tisíce hodnot na děrnou pásku či štítek. Takovéto stanovení objemových změn hadicového vedení dávalo příznivé výsledky, ale je poněkud časově pracné i s ohledem na možné chyby při děrování.

Úkolem této diplomové práce je navrhnout a zhodnotit metodu měření objemových změn hadicového vedení, a to metodu souvislého měření, pracující s odpovídající přesností a sledující tedy jev deformace hadice souvisle při určité rychlosti deformace, kterou lze prakticky přisoudit statickému zatížení.

4.1. S o u v i s l é m ě ř e n í d e f o r m a c í h a d i c e

Navrhovaná metoda má sloužit pro rychlou informaci o chování hadice při různém tlakovém zatížení co do změny objemu. Metoda by zároveň měla dát dostatečně přesné podklady pro jejího možné zpracování do tabulek či grafů datových k dispozici konstruktérovi pro návrh hydraulických obvodů. Grafický výstup metody dává rovněž bezprostřední představu o správné konstrukci či eventuelních poruchách ve stavbě hadice.

Metoda vychází z desavadních zkoušek při měření objemových změn hadicového vedení. Objemová deformace je snímána ve formě změny hladiny v odměrném váloči při vypouštění kapaliny z "natlakované" hadice. Výšku

hladiny sleduje plovák spřažený přes převod s kladičkami s indukčním snímačem polohy (obr. 4.1).

4.2. Rekonstrukce rozváděcího přípravku

Rozváděcí přípravek, jako součást celého měřicího zařízení, slouží pro přívod a vypouštění tlakové kapaliny z měřené hadice. Dosud užívaný rozváděcí přípravek (viz [6]) používal uzavírací ventily s kuličkou lepenou na funkční část ventilu šelakem. Při měření však docházelo k odtrhávání těchto kuliček. Proto jsem přistoupil k rekonstrukci tohoto rozváděcího přípravku. Při jeho návrhu jsem vycházel z požadavků kladených na konstrukci. Mezi tyto požadavky patřily zejména: co nejmenší vnitřní objem přípravku, resp. kanálků, který se nemí promítnout do výsledků měření skreslením vlastností hadice; dobrá manipulovatelnost a obsluha přípravku - byla zajištěna dostatečnou vzdáleností ovládacích orgánů od základny; docela ní tvar přípravku výhodný z hlediska tuhosti i výroby; možnost použití již vyrobených šroubení pro připojení hadic; připojení vysokotlakých laboratorních hadic pomocí rychlospoje; napojení tenzometrického tlakového snímače; připojení nástavce pro měrný válec, resp. trubičku. Jako uzavíracích orgánů jsem užil vysokotlakých uzavíracích ventilů s kuličkou, užívaných v letecké technice.

Vlastní konstrukční řešení s umístěním uzavíracích orgánů, přívodem kapaliny, napojením tlakového snímače, měrného válce a měřené hadice jest patrné z výkresové dokumentace v příloze, příp. z obr. 5.1.

4.3. Návrh měřicího zařízení

Jak již bylo uvedeno, je u navržené metody objemová deformace snímána jako změna hladiny v měrném válci pomocí plováku (obr. 4.1.). Plovák jest spojen přes kladičky s jádrem indukčního snímače polohy

IWT 302, který svým rozsahem ± 10 mm od střední polohy nejlépe odpovídá změně výšky hladiny určené z dosud měřených objemových deformací hadie při zvoleném průměru měrného válce. Ve skutečném provedení (obr. 5.1.) je plovák zhotoven ze silonu, nastaven do vodorovné polohy pomocí malého závaží podvěšeného pod jeho spodní hranou. Spojení plováku s jádrem indukčního snímače je provedeno obyčejnou reznou nití, nevykazující měřitelnou deformaci od zatížení nutného k vyvážení plováku a jádra indukčního snímače. Nit je vedena přes soustavu dvou kladiček, uložených na hrotech pro snížení pasivních odporů. Vrcholevý úhel hrotů činí 60° , u jamky v kladičce pak 90° , jak je tomu obvykle u leteckých přístrojů. Cívka indukčního snímače polohy je uchycena pomocí objímky nacházející se v příslušenství snímače na jednoduchém držáku. Toto uspořádání dovoluje posouvání cívky vůči jejímu jádru a tím i nastavení výšky polohy pro měření.

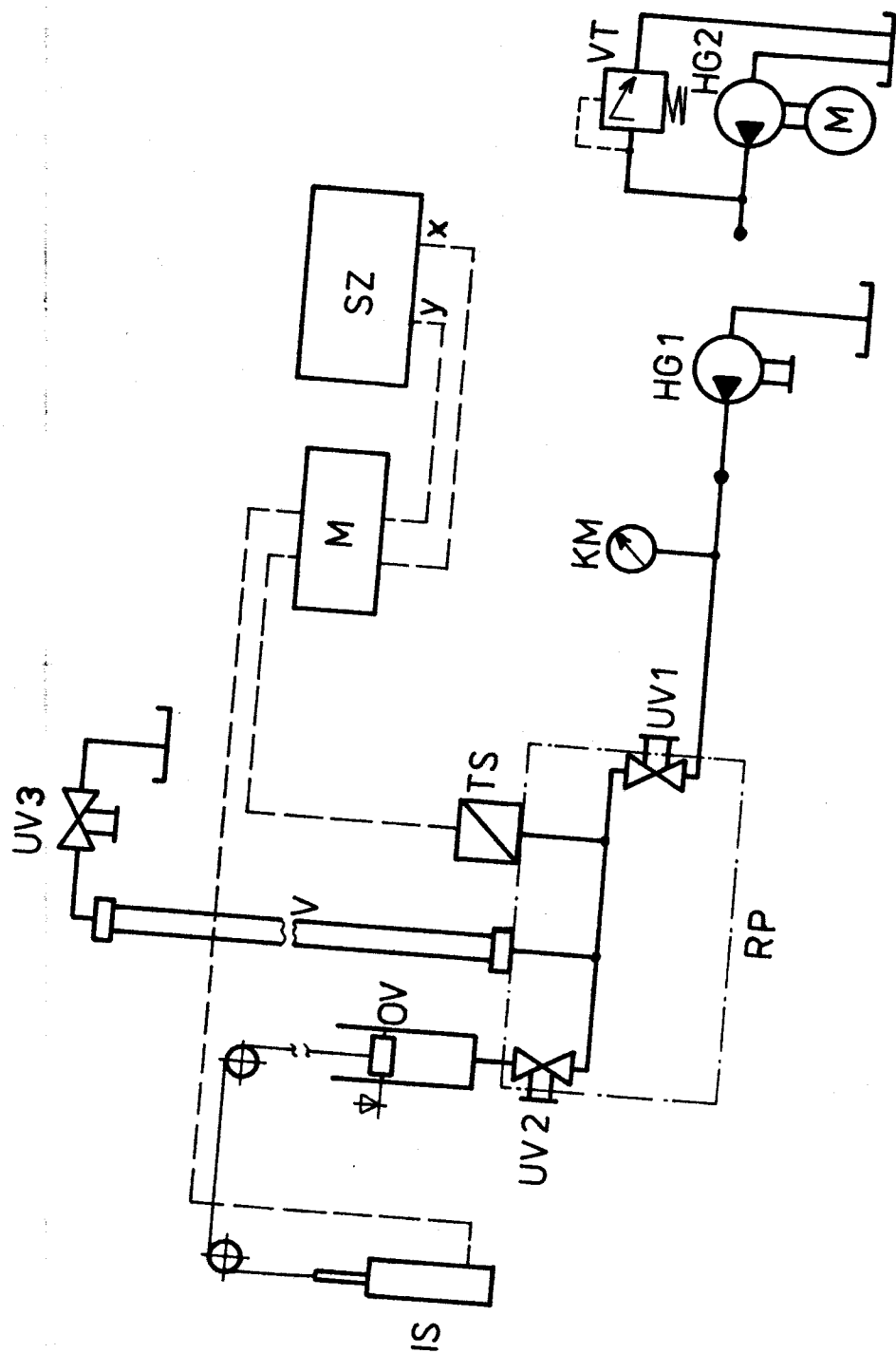
Schéma měřícího zařízení je uvedeno na obr. 4.1. Skládá se z rozváděcího přípravku RP umožňujícího připojení vedení v různých světlostí a délek, a to jak hadie s přísovným či drátěným opletem, tak i trubek. Přípravek obsahuje uzavírací ventily UV 1 pro plnění a UV 2 pro odpuštění kapaliny z měřícího vedení do odvětrávacího válce OV. Na rozváděcí přípravek je připojen pro snímání tlaku tensometrický tlakový snímač TS (TT 160) spojený dále s měřičem M (UM 131) a napojený na souřadnici X a souřadnicového zapisovače SZ (ENDIM 2200/I). Vedení ve svíslé poloze je odvětráváno před měřením ventilem UV 3. Plnění celého systému zajišťuje ruční hydrogenerátor HG 1 s kontrolním manometrem připojený pomocí ochranného vedení s rychlospojem (Mininess). Snímání výšky hladiny v odvětrávacím válci OV je zajištěno propojením plováku s jádrem indukčního snímače IS (IWT 302) přes kladičky uložené ve stojanu na hrotech. Indukční snímač je spojený přes měřič M na souřadnici Y zapisovače SZ.

4.4. Možnosti měření na navrženém zařízení

Navržené zařízení umožňuje zjišťování objemových a měř hydraulických vedení při konstantní teplotě při statickém zatěžování tlakem. Grafický výstup je dostatečně přesný s ohledem na rozptyl měřených hodnot při opakovaných měřeních.

Měření, které bylo provedeno pro ověření metody, probíhalo při teplotě okolí $t = (20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Zařízení dává možnost měření i při vyšších ustálených teplotách. V tomto případě je možné namísto ručního generátoru NG 1 dle obr. 4.1. připojit hydraulický agregát s generátorem NG 2 poháněným motorem. Po otevření ventilu pro plnění UV 1 a odvědnění ventilu UV 3 může měřenou hadicí procházet kapalina, která se přetokem přes uzavírací orgány a kladky o malém průměru ohřívá. Teplotu může snímat pomocí dotykového teploměru přiloženého na stěnu hadice, příp. může měřit přímo teplotu kapaliny, čímž lze i kontrolovat ohřátí hadice. Jakmile dosáhneme žádané teploty, uzavřeme ventily UV 3 a UV 1, připojíme na ruční generátor NG 1. Časová stráž je zde minimální. Rychlostí propojovacích hadic rovněž zaručuje svým samovolným uzavíráním pomocí kuličky, že nám do měřené okruhu nevnikne vzduch, který by způsobil znehodnocení měření vlivem své expanze na kenci vyprazdňování natlakované hadice. Takto jest tedy možné provést měření při různých ustálených hladinách teploty. Měření je dostatečně rychlé, takže by nemělo docházet k podstatnému snížení teploty.

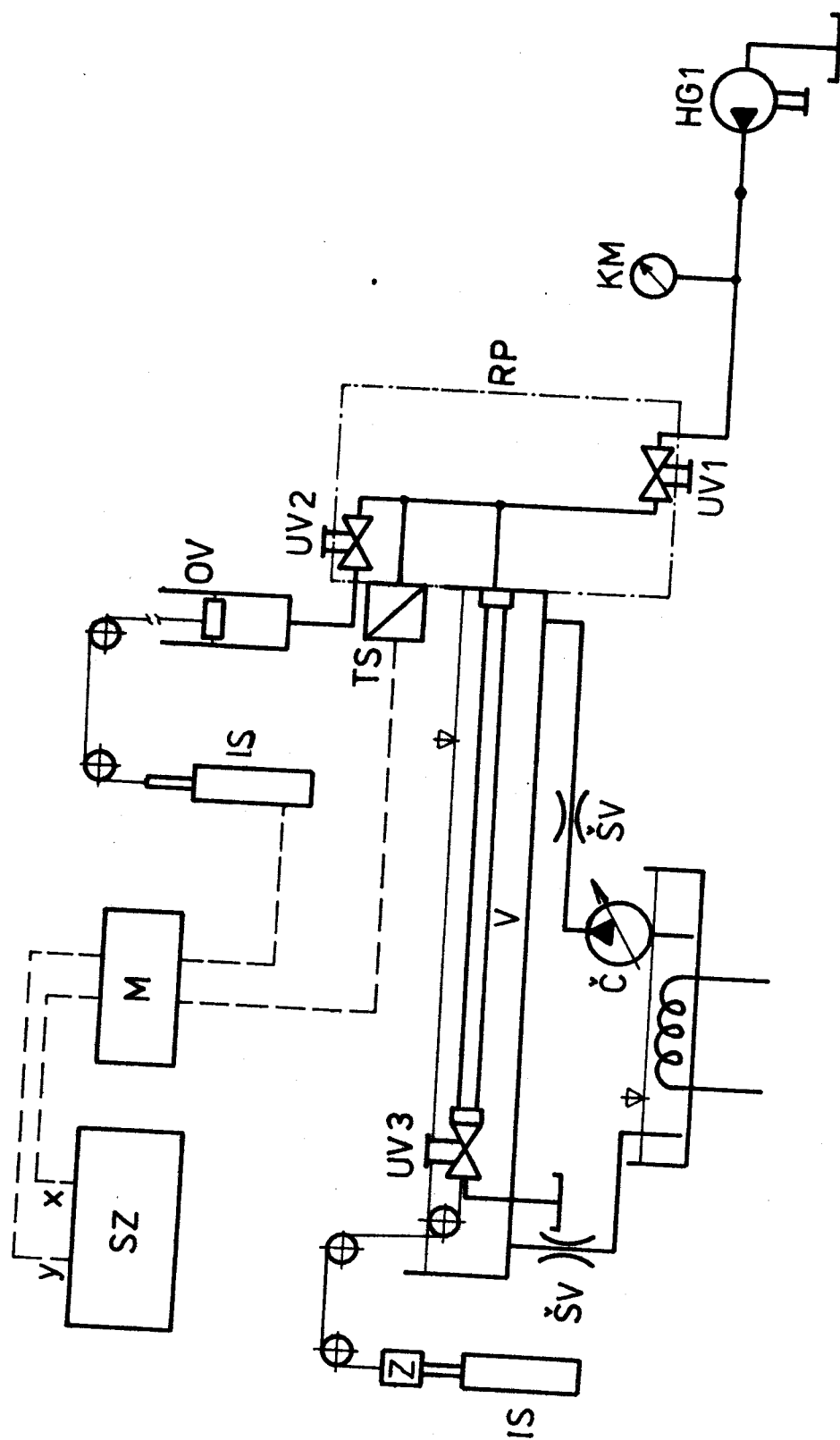
Přesnější výsledky při měření při různých teplotách bychom sřejmě dosáhli ponořením hadice do ohřívací lázně např. s vodou nebo olejem. K tomuto účelu by bylo třeba provést otočení rozváděcího přípravku o 90° , a bychom dosáhli vodorovné polohy hadice. Konstantní úroveň teploty by zde byla zcela zajištěna. Lázeň můžeme ohřívát např. pomocí topné spirály na žádanou hodnotu a kontrolovat prohřátí hadice měřením



Obr. 4.1.

teploty kapaliny uzavřené v hadici.

Hadici lze v ochravní lázni (kanálu) rovněž mírně napnout pomocí závaží a kladek pro případné měření délkových změn indukčním snímačem polohy. Možnost takového uspořádání je naznačena na obr. 4.2.



Obr. 4.2.

5. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ

Úkolem praktické části je ověření navrženého zařízení a metody měření objemových změn hadicového vedení ke stanovení závislosti deformace hadice na působícím vnitřním tlaku. Jak již bylo uvedeno, stanoví tato metoda deformaci hadice jako celkovou odměřenou deformaci se zanedbáním stlačitelnosti kapaliny, čímž se dopouštíme chyby pod 10 %. Tato chyba by neměla mít podstatný vliv na získané závislosti s ohledem na rozptyl naměřených hodnot při opakovaném měření.

Výsledky měření jsou přímo zaznamenány ve formě grafů závislosti vytékajícího objemu kapaliny z hadice na působícím tlaku. Postup měření a ovládání měřicího zařízení je popsáno dále.

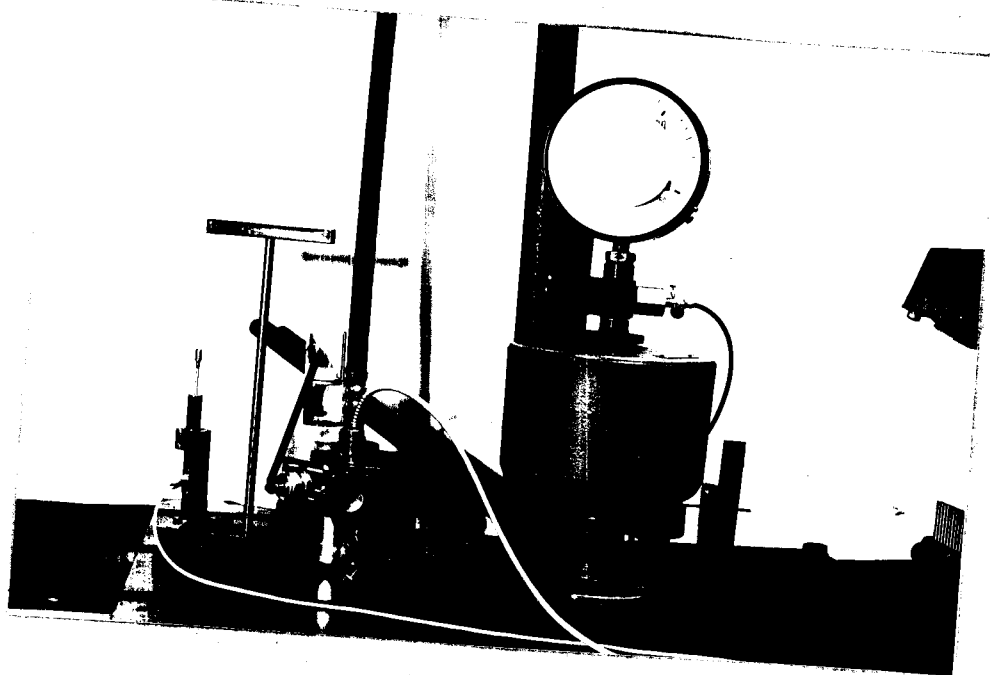
5.1. Obsluha měřicího zařízení

Metoda souvislého měření objemových změn hadicového vedení v závislosti na působení statického tlakového zatížení byla realizována na navrženém zařízení, jehož principiální schéma je znázorněno na obr. 4.1.

Před započatím měření nutno uzavřený objem kapaliny důkladně odvzdušnit. Po připojení hadice otevřeme odvzdušňovací ventil UV 3 a pomalým pumpováním naplníme hadici a necháme olej volně vytékat, až je prost vzduchových bublinek. Rovněž takto sčástei zaplníme odměřený válec OV. Důležitým momentem je rovněž vypláchnutí a naplnění vnitřního prostoru tenzometrického tlakového snímače TS kapalinou před jeho zasroubováním do tělesa rozváděcího přípravku RP. Po dokonalém odvzdušnění obvodu a uzavření odvzdušňovacího ventilu UV 3 a uzavíracího ventilu UV 2, přeponětšjícího kapalinu z měřené hadice do odměrného válce, možno přistoupit k plnění obvodu hydrogenerátorem HG 1 po otevření uzavíracího ventilu UV 1. Při dosažení žádané drevně tlaku uzavřeme

ventil UV 1 a pootevřeme ventil UV 2 přepouštějící kapalinu z hadice do odměrného válce. Výška hladiny, resp. začna výšky, je úměrná posunutí jádra indukčního snímače DS díky jeho spřažení s plovákem přes kladivky (viz obr. 5.1.). Zapejení snímačů tlaku a polohy přes městek X na souřadnice x a y zapisovače pak získáme průběh závislosti úbytku objemu kapaliny v hadici, t.j. průběh její deformace, v závislosti na poklesu tlaku.

Celkové uspořádání měřicího zařízení ověřovaného v praktické části diplomové práce je vyfotografováno na obr. 5.2. Konstrukční provedení je patrné z výkresové dokumentace v příloze této diplomové práce.



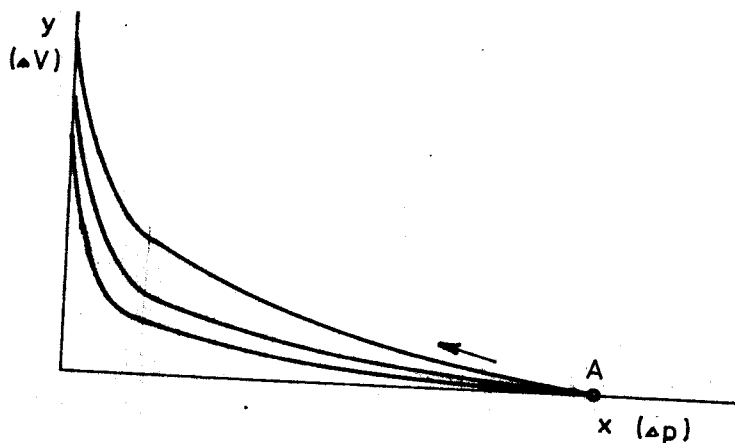
Obr. 5.2.

5.2. P o s t u p p ř i m ě ř e n í

Grafická závislost změny objemu měřené hadice na působícím tlaku byla získávána ve formě grafů znázorňujících informativně na obr. 5.2. Před vypouštěním kapaliny do odměrného válce bylo nutné vždy seřídít písátka zapisovače na nulovou výchylku v ose y, t.j. nulové výchylce

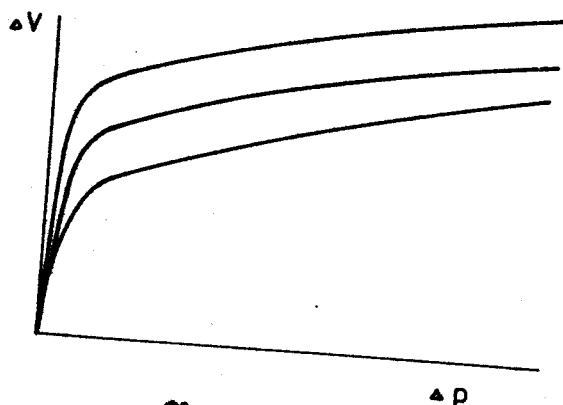
posunutí. Tehle bylo dosaženo možností posouvání cívek indukčního snímače v objímce vůči zasouvajícímu se jádru. Další doladění je možné přímo na zapisovači. Rovněž tak nutno před "natlakováním" hadice vyladit nulovou výchylku v ose x odpovídající nulovému přetlaku. Toto nulování se provede přímo na zapisovači. Po provedení nulování je možné přikročit k měření.

Po dosažení žádané hodnoty přetlaku v hadici při jejím plnění uzavřeme ventil UV 1. Pisátko zapisovače se nyní nachází v počátečním bodu měření A s souřadnicích $y = 0$, souřadnice x odpovídá zvolené úrovní tlaku. Prakticky je výhodné najet pisátkem na počáteční bod měření (v našem případě zvolena počáteční úroveň tlaku 20 MPa). V důsledku malých netěsností obvodu dochází totiž k pomalému poklesu tlaku v hadici a počátek měření lze malým přejetím bodu A lépe odhadnout. Při pomalém najetí pisátka vlivem poklesu tlaku v obvodu do počátečního bodu A otevřeme pak uzavírací ventil UV 2, který přepne kapalinu do odměrného válce. Aby byla jednotlivá měření měřena za stejných podmínek, byl ventil UV 2 opatřen pákou, jejíž poloha při otevření byla vždy stejná, t.j. stejné bylo i otevření ventilu. Vytékáním kapaliny z hadice do odměrného válce dochází k posuvu snímače polohy a poklesu tlaku, což je zaznamenáno na zapisovači. Opakovaná měření provádíme opět z bodu A.



Obr. 5.2.

Pro praktické užití je však výhodnější průběh závislosti znázor-
něný na obr. 5.3. Při pečlivém zaznamenání konců měření (na souřadni-
ci y) lze získané grafy překreslit pouhým překopírováním z rubu listu,
na kterém jsou grafy zaznamenány. Křivky přitom posuneme jejich kon-
covými body na osu y do počátku souřadnic.

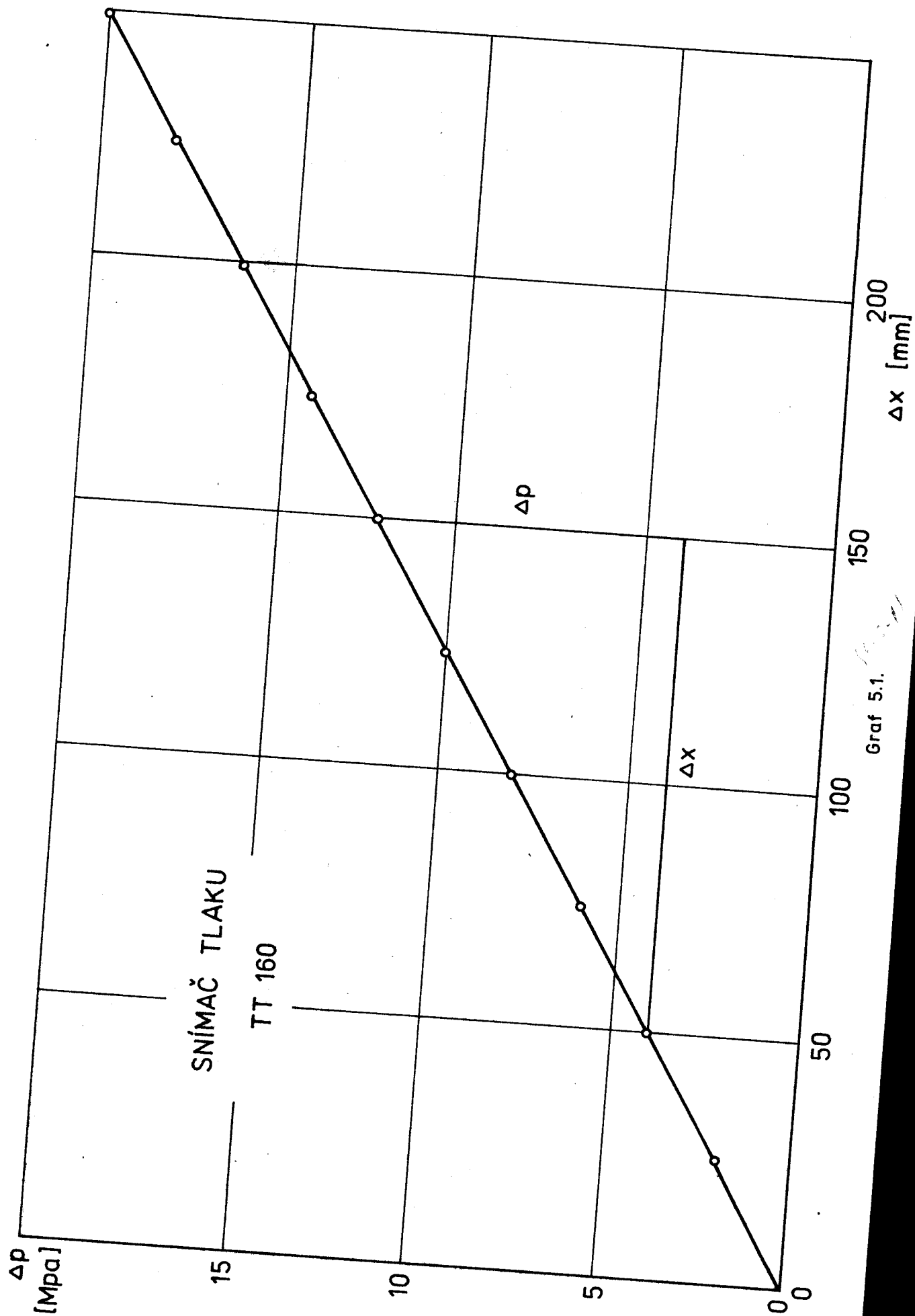


Obr. 5.3.

5.3. Vlastní měření

5.3.1. Cejchování snímače tlaku

Pro snímání dřevně vnitřního přetlaku v měřené hadici, resp.
1 trubce, byl použit tenzometrický tlakový snímač TT 160 výrobce ZPA
Jinonice. Snímač je šroubován v horní části rozváděcího přípravku.
Je připojen přes měřicí městek UM 131 (RPT Dresden) k souřadnicovému
zapisovači ENDEM 2200/I (VEB Messapparaterwerk Schleithen). Použité mě-
řicí rozsahy činily 3 V na mětku a 200 mV na zapisovači. Při cejche-
vání byl tlakový snímač připojen na přesnou laboratorní závažovou pun-
pu ZT 300 (Mikrotechna Medřany). Výsledkem cejchování jest křivka gra-
fu 5.1. Na souřadnici y zapisovače byl vynášen přetlak Δp [MPa]
vyvozený závažovou pumpou, na souřadnici x příslušně odpovídající po-
sunutí Δx [mm] píštělky zapisovače. Z lineární závislosti posunutí
 Δx na přetlaku Δp lze určit převodní konstantu tlakového snímače
 K_{TS} jako tangentu úhlu sklonu cejchovací křivky.



$$K_{TS} = \frac{\Delta p}{\Delta x} = \frac{8}{100} = 0,08 \text{ MPa mm}^{-1} \quad (5.1)$$

5.3.2. Gejchování snímače polohy

Snímání změny úrovně hladiny v odměrném válci bylo provedeno propojením plováku s jádrem indukčního snímače polohy IWT 302 (RFT Dresden) s měřicím rozsahem ± 10 mm od střední polohy zasunutí jádra. Snímač byl opět spojen přes měřicí můstek UM 131 na souřadnicový zapisovač EMDIN 2200/I, a to na jeho souřadnici y. Použité měřicí rozsahy zde činily 30 V na můstku a 2000 mV na zapisovači. Pro stanovení převodní konstanty změny objemu hadice K_V nutno nejdříve určit převodní konstantu odměrného válce K_{OV} . Při středním měření vnitřním průměru válce $D = 36,335$ mm, výšce hladiny $h = 1$ mm a změně výšky $\Delta h = 1$ mm bude mít převodní konstanta odměrného válce hodnotu

$$K_{OV} = \frac{\Delta V}{\Delta h} = \frac{\pi D^2 h}{4 \Delta h} = \frac{\pi \cdot 36,335^2 \cdot 1}{4 \cdot 1} = 1036,908 \text{ mm}^3 \text{ mm}^{-1}. \quad (5.2)$$

Převodní konstanta indukčního snímače K_{IS} vyplývá z naměřené závislosti v grafu 5.2. Na osu x zde bylo vynášeno zasunutí jádra indukčního snímače, prováděné pomocí posuvného měřítka. Toto posunutí odpovídá změně výšky hladiny kapaliny v odměrném válci. Na souřadnici y byly potom zaznamenány výchylky písmítka zapisovače Δy [mm] odpovídající jednotlivým posunutím Δh . Převodní konstanta K_{IS} nám tedy vlastně udává, kolikrát bylo skutečné posunutí Δh [mm] zvětšeno. Zvětšení K_{IS} určíme opět z lineární závislosti jako tangentu úhlu sklonu příčky

$$K_{IS} = \frac{\Delta y}{\Delta h} = \frac{78}{10} = 7,8 \text{ mm mm}^{-1}. \quad (5.3)$$

Výsledná převodní konstanta změny objemu hadice K_V odpovídající posunutí píštěle o 1 mm bude

$$K_V = \frac{\Delta V}{\Delta y} = \frac{K_{OV}}{K_{IS}} = \frac{1036,908}{7,8} = 132,94 \text{ mm}^3 \text{ mm}^{-1} \quad (5.4)$$

Pro lepší orientaci a rychlé nanesení změny objemu ΔV na souřadnici y vypočteme posunutí Δy odpovídající změně objemu $\Delta V = 1000 \text{ mm}^3$. Posunutí určíme ze vztahu (5.4)

$$\Delta y_{1000} = \frac{\Delta V}{K_V} = \frac{1000}{132,94} = 7,52 \approx 7,5 \text{ mm} \quad (5.5)$$

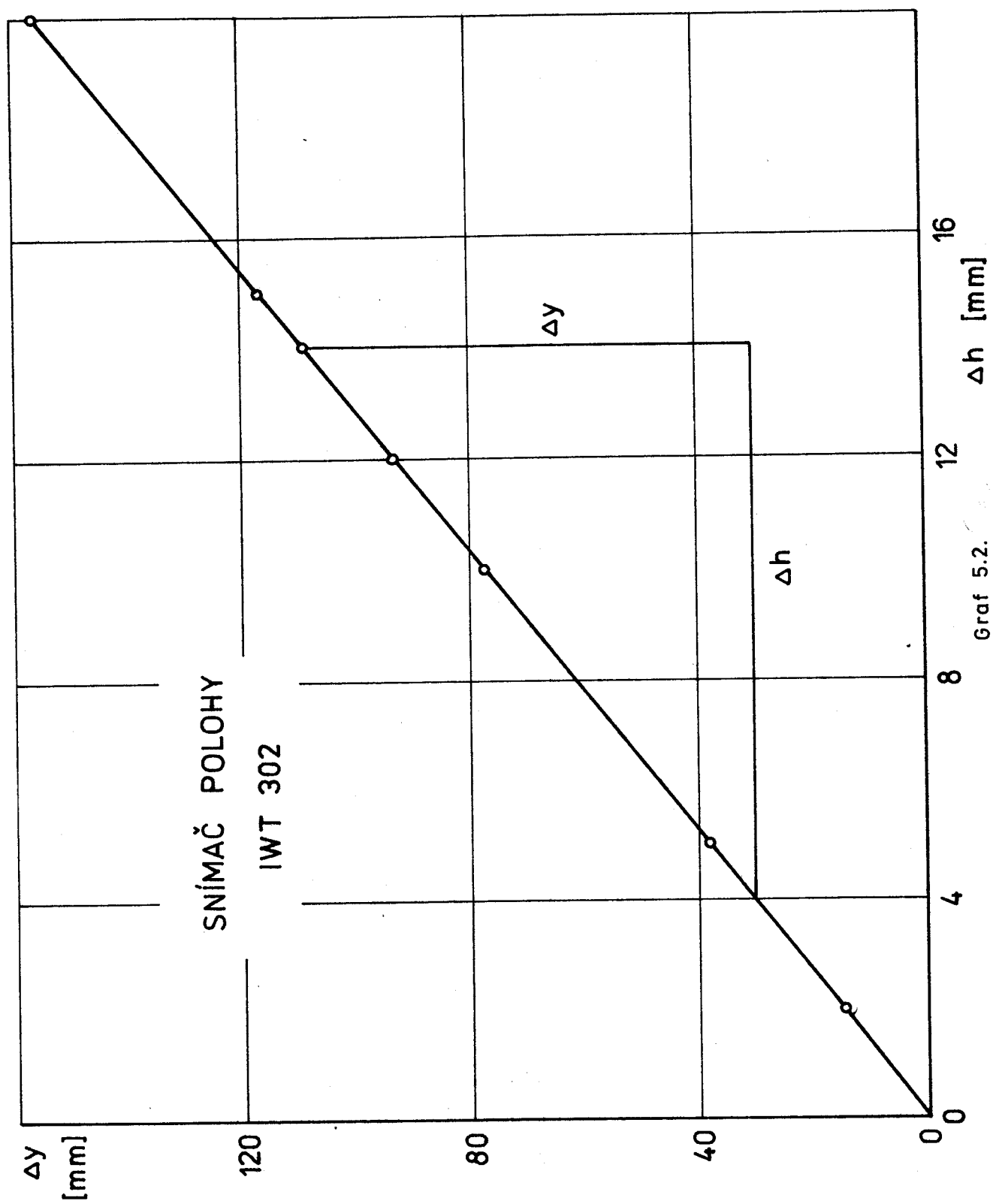
5.3.3. Měřené hadice a použitá hydraulická kapalina

Pro ověření metody byly proměřeny tři druhy hydraulického vedení. Hadice s přízevním opletem, hadice s drátovým opletem a ocelová bezešvá tenkostěnná trubka s napájecími koncovkami. Aby bylo možno všechna měření jednoduše srovnat, byla zvolena jednotná jmenovitá světlost $J_s = 10 \text{ mm}$ a délka $l = 1000 \text{ mm}$ a všech tří typů vedení. Měřené hadice se používají pro přepravu hydraulických kapalin na bázi minerálních olejů, motorových olejů, nafty, mazacích tuků, glycerinu, amoniaku a vodních roztoků. Hadice vyrábí n.p. Optimit Odry a jsou opatřeny koncovkami n.p. Technometra Praha.

- hadice Ja 10 272 326 011 020 OPTIMIT x 72

je složena z pryžové duše, tlakové vložky s dvěma přízevními oplety a pryžovým obalem. Hadice je stavěna na pracovní přetlak 12,5 MPa, poruchový tlak činí 35 MPa. Vnitřní průměr $d = 10 \text{ mm}$, vnější průměr $D = 20 \text{ mm}$, Délka hadice je 1 m.

- hadice Ja 10 HET 028 406



Graf 5.2.

je pryžková hadice s vnitřním opletem z drátěného pletiva a s lisovanými koncevkami. Rozsah provozních teplot - 35 až + 80°C. Odolná proti působení esterových kapalin a chemikálií. Jmenovitý tlak činí 16 MPa, poruchový tlak 45 MPa. Délka hadice 1 m.

- ocelová bazeřová tenkostěnná trubka Js 10

s vnitřním průměrem $d = 10$ mm, tloušťkou stěny $s = 1$ mm, délkou $l = 1000$ mm a modulu pružnosti materiálu trubky $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa.

Hydraulická kapalina

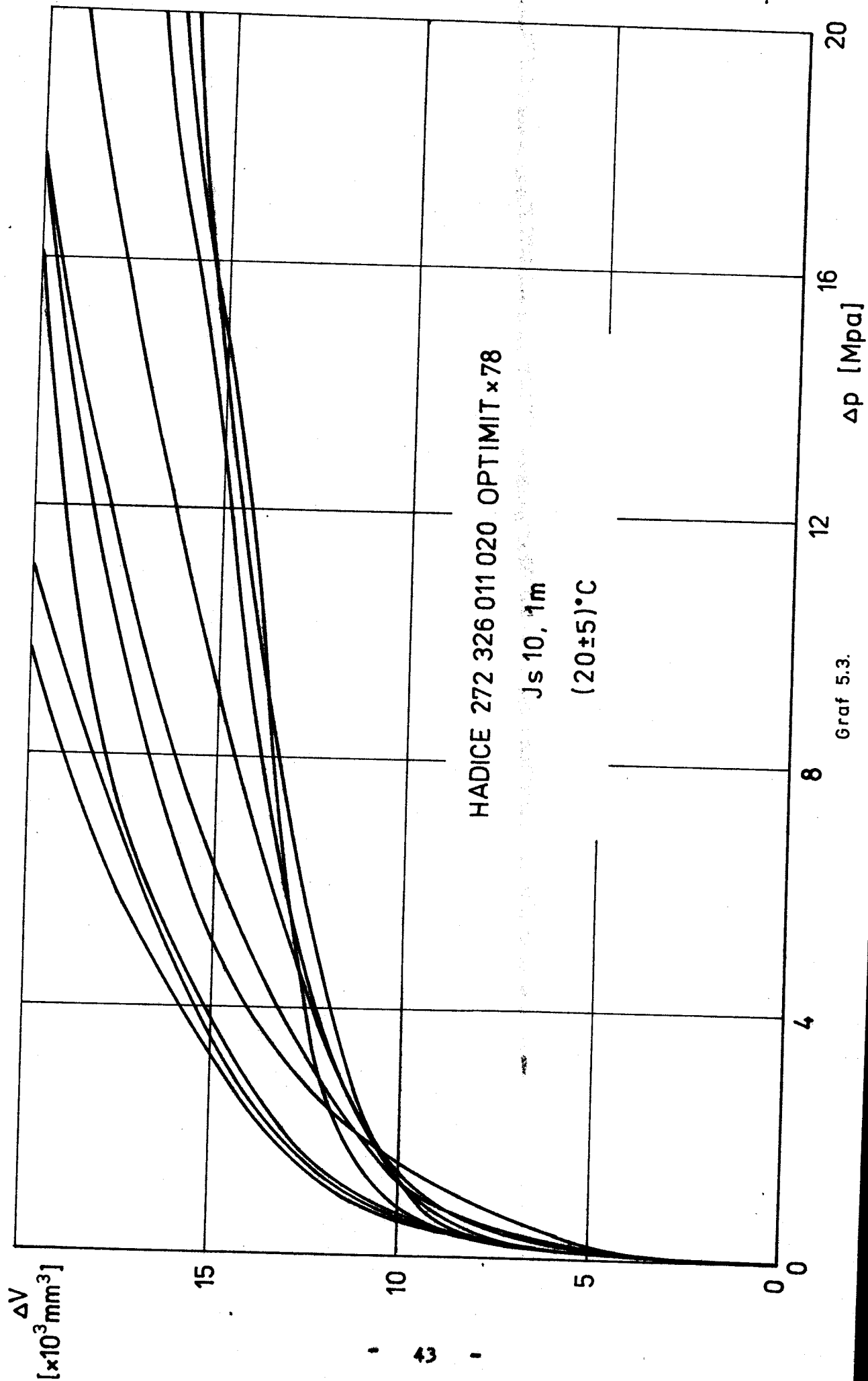
Při ověřování navržené metody byla v hydraulickém obvodu měřícího zařízení použita hydraulická kapalina OT T 3 C. Jde o minerální olej, jehož vlastnosti, resp. modul pružnosti, byl proměřen v [6]. Hodnota modulu pružnosti této kapaliny byla již použita v předchozích kapitolách a lze ji považovat v rozsahu měření za konstantní, viz též [2]. Modul pružnosti kapaliny OT T 30 činí $K = 1,66 \cdot 10^3$ MPa.

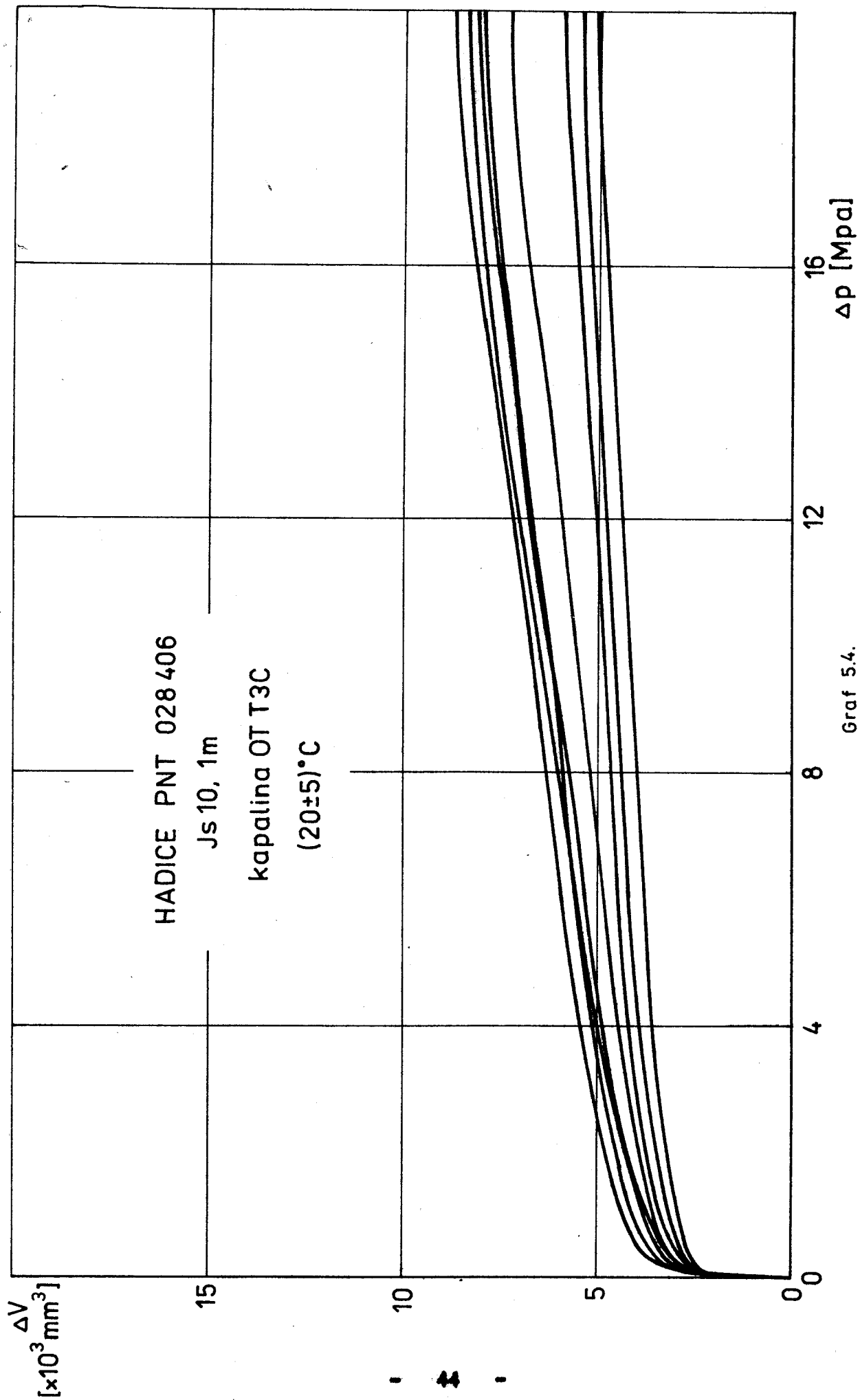
5.3.4. Naměřené hodnoty

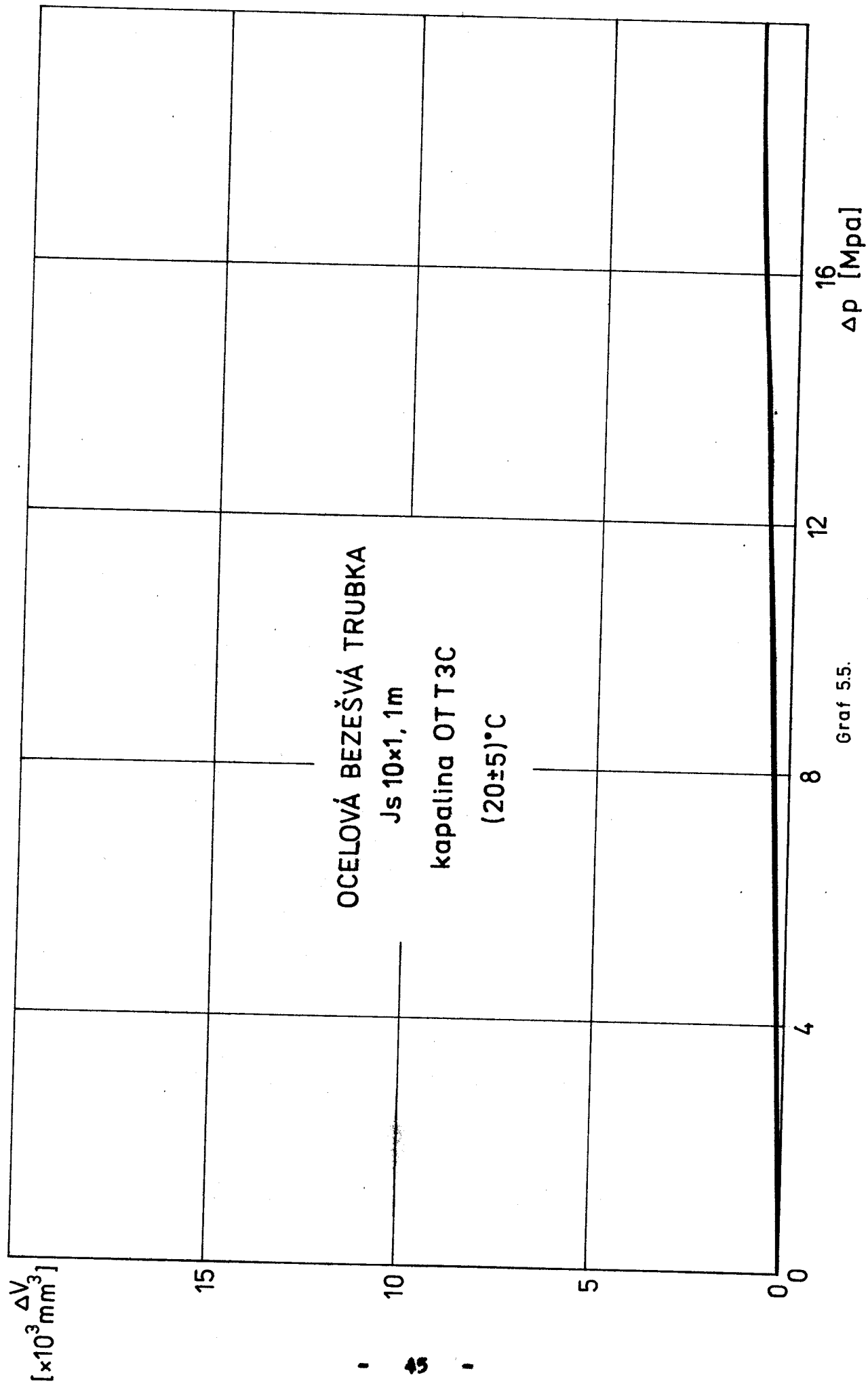
Grafické záznamy získané na souřadnicovém zapisovači byly dle návodu v kap. 5.2 překresleny a jsou uvedeny v grafech 5.3. pro hadici s přízevným opletem, 5.4. pro hadici s drátovým opletem a 5.5. pro ocelovou bazeřovou tenkostěnnou trubku.

5.4. V y h o d n o c e n í m ě ř e n í

V grafických záznamech změny objemu hadic ΔV_H v závislosti na působícím vnitřním přetlaku Δp je zřejmá nelinearita této závislosti, jak již bylo uvedeno dříve. Tato nelineární závislost je dána u hadic zejména jejich stavbou. Přitom lze při měření zanedbat stlačitelnost kapaliny, což vyplývá z rozboru metodiky měření uvedeném v kap. 3.







Pro názornost byly vyneseny do jediného grafu 5.6. odhadnuté křivky naměřených hodnot. Lineární závislost u ocelové trubky byla potvrzena již předchozím grafem 5.5. Víme, že lze hodnotu deformace ocelové trubky matematicky vyčíslit dle již uvedeného vztahu:

$$\Delta V = \Delta V_K + \Delta V_T = V_0 \left(\frac{1}{K} + \frac{d}{E \cdot s} \right) \cdot \Delta p \quad (5.6)$$

Při známých parametrech $K = 1,66 \cdot 10^3 \text{ MPa}$, $d = 10 \text{ mm}$, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $s = 1 \text{ mm}$ lze spočítat deformaci trubky o délce $l = 1000 \text{ mm}$ např. při přetlaku $\Delta p = 16 \text{ MPa}$

$$\Delta V_K = \frac{V_0}{K} \cdot \Delta p = \frac{\pi d^2}{4 \cdot K} \cdot l \cdot \Delta p = \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 10^3}{4 \cdot 1,66 \cdot 10^3} \cdot 16 = 757,01 \text{ mm}^3,$$

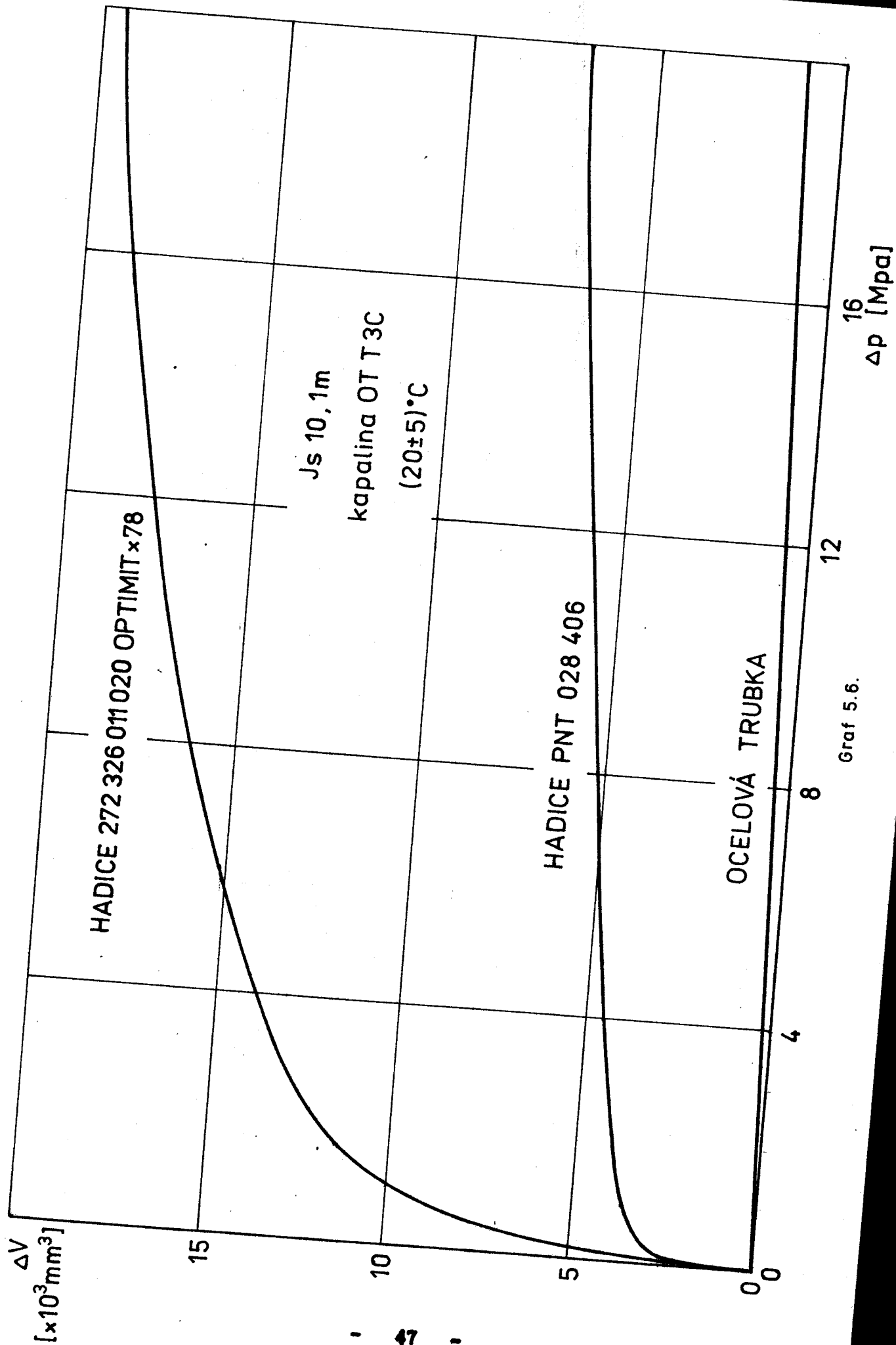
$$\Delta V_T = V_0 \cdot \frac{d}{E \cdot s} \cdot \Delta p = \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 10^3}{4} \cdot \frac{10}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 1} \cdot 16 = 59,84 \text{ mm}^3,$$

$$\Delta V = \Delta V_K + \Delta V_T = 757,01 + 59,84 = 816,85 \text{ mm}^3.$$

V grafickém záznamu činí tato hodnota pro $\Delta y_{p=16 \text{ MPa}} 6,5 \text{ mm}$

$$\Delta \bar{V} = \Delta y_{16} \cdot K_V = 6,5 \cdot 132,93 \approx 865 \text{ mm}^3.$$

Vidíme, že grafický záznam je dostatečně přesný. Navíc lze průběh deformace ocelové trubky považovat orientačně za průběh stlačení kapaliny. Deformace trubky totiž činí asi 7,5 % celkové deformace. Vynesením této závislosti stlačení kapaliny do grafu deformací hadice si lze tedy udělat názornou představu o ovlivnění závislosti deformace hadice při zanedbání stlačitelnosti v ní uzavřeného objemu kapaliny. Stlačitelnost kapaliny lze tak spolehlivě zanedbávat s ohledem na rozptyl naměřených hodnot až do okamžiku, kdy by deformace kapaliny překročila 10 % hodnoty střední částí průběhu změny objemu hadice.



Graf 5.6.

6. ZJIŠŤOVÁNÍ DEFORMACÍ HADICE PROMĚ- NĚNÍM GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ HADICE

V této kapitole bude ukázána a zhodnocena možnost měření objemových deformací hadicového vedení proměřeními jeho geometrických parametrů, t.j. vnějšího průměru a délky.

Při tlakovém zatížení hadice dochází ke změně jejího průměru a délky. Tyto změny závisí rovněž na konstrukci hadice, zejména na opletu či ovinutí kstry hadice. Z podmínky maximálního objemu hadice lze určit tzv. neutrální úhel opletu, jehož hodnota činí $\alpha_n = 54^{\circ}44'08''$. Úhlem opletu nazýváme úhel mezi měrem vinutí (spirálo) pramene přímce či drátu a osou hadice. Při hodnotě neutrálního úhlu opletu nedochází ke změně průměru a délky hadice při jejím zatížení vnitřním přetlakem (kromě změny průměru daných deformací vnitřní pryžové vrstvy, t.j. duše) viz [3] .

Změny vnějšího průměru a délky hadice naměřené při statickém zatížení hadice vnitřním přetlakem budou použity pro výpočet změny objemu hadice, resp. pro výpočet poměrné změny objemu.

6.1. Snímání změny vnějšího průměru a délky hadice

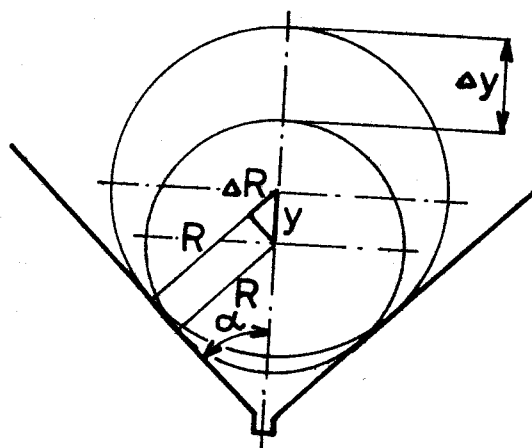
Změna vnějšího průměru byla snímána pomocí indukčního snímače pe-
lahy IWT 102 (RPT Dresden) s talířkovým dotekem (IS 2 v obr. 6.3.), jehož
celkové uspořádání je zřejmé z obr. 6.1. Z uspořádání drážku snímače
rovněž vyplývá, že je nutné měřenou výchylku Δy přepočítat na změnu
průměru ΔD .

Přepočet výchylky Δy na změnu vnějšího průměru hadice ΔD pro-
vedeme dle obr. 6.2. Změna měřená snímačem Δy je dána změnou polomě-
ru ΔR a posunutím středu kružnice y .

Obr. 6.1.

$$\Delta y = \Delta R + y \quad .$$

(6.1)



Obr. 6.2.

Poznamť středn kružnice y lze psát z obr. 6.2.

$$y = \Delta R \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \quad .$$

(6.2)

Pe dosazení (6.2) do (6.1) dostaneme

$$\Delta y = \Delta R \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha} \right) \quad ,$$

(6.3)

Odkud lze vyjádřit změnu poloměru, resp. průměru hadice

$$\Delta D = 2 \cdot \Delta R = 2 \cdot \frac{\Delta y}{1 + \frac{1}{\sin \alpha}} \quad (6.4)$$

Pro úhel $\alpha = 45^\circ$ je $\sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$, pak změna průměru

$$\Delta D = 0,828\,427 \cdot \Delta y \quad (6.5)$$

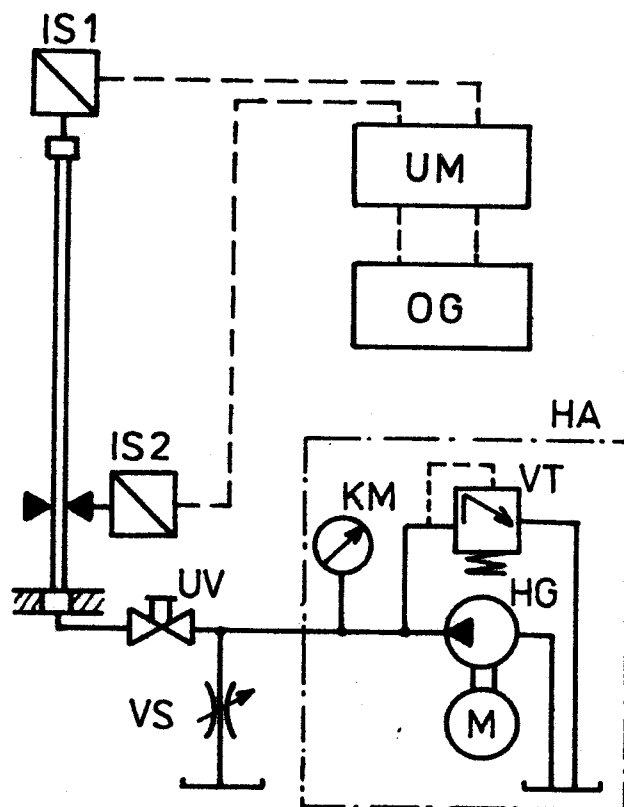
Změřené hodnoty Δy jsou přepočteny dle (6.5) na změnu vnějšího průměru ΔD a zaneseny v tab. 6.1.

Změna délky hadice, resp. její zkrácení Δl , bylo snímáno indukčním snímačem polohy (IS 1) IWT 302 (RPT Dresden). Celkové uspořádání je patrné z obr. 6.3. Jednotlivé úrovně přetlaku byly dosahovány nastavením tlakového ventilu VT, při nízkých úrovních přetlaku v kombinaci se škrtícím ventilem VŠ 1-15. Přetlak v hadici byl odečítán na tlakoměru hydraulického agregátu MA 1,2 - 200 (INOVA Praha, $Q_{jm} = 1,2 \text{ l min}^{-1}$, $p_{max} = 20 \text{ MPa}$). Hodnoty změny průměru ΔD a délky Δl byly zaznamenány pro každou úroveň zvoleného přetlaku ve dvou měřeních. Záznam hodnot ΔD a Δl byl proveden na oscilografu SLS-1 (RPT Dresden), který byl použit z měření dynamických vlastností hadice. Hadice byla při měření položena ve vedení, které zaručovalo její přímost.

6.2. Výpočet změny geometrického objemu hadice

Původní objem hadice V , daný její geometrií, t.j. vnějším průměrem D a délkou l včetně koncovek, se při změně průměru ΔD a zkrácení hadice Δl vlivem vnitřního přetlaku p změní o hodnotu ΔV

$$[V + \Delta V]_p = \left[\frac{\pi}{4} (D + \Delta D)^2 (l - \Delta l) \right]_p \quad (6.6)$$



Obr. 6.3.

Ze rozdělení a vytknutí hodnoty $\frac{\pi}{4} D^2 l = V$ dostaneme

$$[V + \Delta V]_p = \left\{ \frac{\pi}{4} D^2 l \left[1 + 2 \left(\frac{\Delta D}{D} \right) + \left(\frac{\Delta D}{D} \right)^2 - \left(\frac{\Delta l}{l} \right) - 2 \left(\frac{\Delta D}{D} \right) \left(\frac{\Delta l}{l} \right) - \left(\frac{\Delta D}{D} \right)^2 \left(\frac{\Delta l}{l} \right) \right] \right\}_p \quad (6.7)$$

Označme

$$\left(\frac{\Delta D}{D} \right)_p = \bar{D} - \text{poměrná změna vnějšího průřezu daná tlakem } p, \quad (6.8)$$

$$\left(\frac{\Delta l}{l} \right)_p = \bar{l} - \text{poměrná změna délky daná tlakem } p. \quad (6.9)$$

Do dosazení (6.8) a (6.9) do (6.7) dostaneme z (6.7) vztah pro změnu objemu ΔV

$$[\Delta V]_p = \left\{ \frac{\pi}{4} D^2 l [2\bar{D} + \bar{D}^2 - \bar{l} - 2\bar{D}\bar{l} - \bar{D}^2\bar{l}] \right\}_p \quad (6.10)$$

Odkud pro poměrnou změnu objemu platí

$$(\nu)_p = \frac{[\Delta V]_p}{V} = [\bar{D}(2 + \bar{D}) - \bar{l}(1 + \bar{D})^2]_p \quad (6.11)$$

p [MPa]	$\Delta D(p)$ [mm]		$\bar{D}(p)$ [1]		$\Delta l(p)$ [mm]		$\bar{l}(p)$ [1]		$\nu(p)$ [1]	
0,4	0,436	0,312	0,0218	0,0516	5,4	3,4	0,0054	0,0034	0,038	0,028
0,6	0,500	0,500	0,0250	0,0250	6,7	6,9	0,0067	0,0069	0,043	0,043
0,8	0,578	0,592	0,0289	0,0296	8,2	9,2	0,0082	0,0092	0,049	0,050
1,0	0,656	0,704	0,0328	0,0352	9,9	10,9	0,0099	0,0109	0,056	0,059
1,2	0,75	0,766	0,0375	0,0383	11,7	12,4	0,0117	0,0124	0,063	0,064
1,4	0,766	0,828	0,0398	0,0414	13,5	13,8	0,0135	0,0138	0,066	0,069
1,6	0,890	0,874	0,0445	0,0437	14,4	15,0	0,0144	0,0150	0,073	0,074
1,8	0,936	0,936	0,0468	0,0468	15,7	15,9	0,0157	0,0159	0,078	0,077
2,0	0,984	0,984	0,0492	0,0492	16,8	17,3	0,0168	0,0173	0,082	0,081
2,2	1,032	1,032	0,0516	0,0516	17,7	18,3	0,0177	0,0183	0,085	0,085
2,5	1,110	1,124	0,0555	0,0562	19,5	19,8	0,0195	0,0198	0,091	0,092
3,0	1,226	1,188	0,0613	0,0594	22,0	21,5	0,0220	0,0215	0,100	0,097
4,0	-	1,352	-	0,0676	-	25,2	-	0,0252	-	0,110
5,0	1,562	1,516	0,0781	0,0758	29,2	28,5	0,0292	0,0285	0,127	0,123
7,0	1,734	1,726	0,0867	0,0863	33,4	33,2	0,0334	0,0332	0,140	0,139
9,0	1,914	1,898	0,0957	0,0949	36,5	36,6	0,0365	0,0366	0,155	0,153
12,0	2,142	2,110	0,1071	0,1055	40,4	40,2	0,0404	0,0402	0,174	0,171
14,0	2,250	2,242	0,1125	0,1121	42,1	42,1	0,0421	0,0421	0,183	0,182
16,0	2,376	2,376	0,1188	0,1188	43,2	43,5	0,0432	0,0435	0,194	0,194

Hadiice Js 10 272 326 011 020 OPTIMIT x 78

vnější průměr D = 20 mm

délka včetně konečků l = 1000 mm

Tab. 6.1.

Při zanedbání malých veličin druhého řádu a označení veličin, které jsou funkcí tlaku jako $\bar{D}(p)$, $\bar{l}(p)$, $\nu(p)$, může vztah (6.11) upravit do konečného tvaru

$$\nu(p) = 2\bar{D}(p) - \bar{l}(p). \quad (6.12)$$

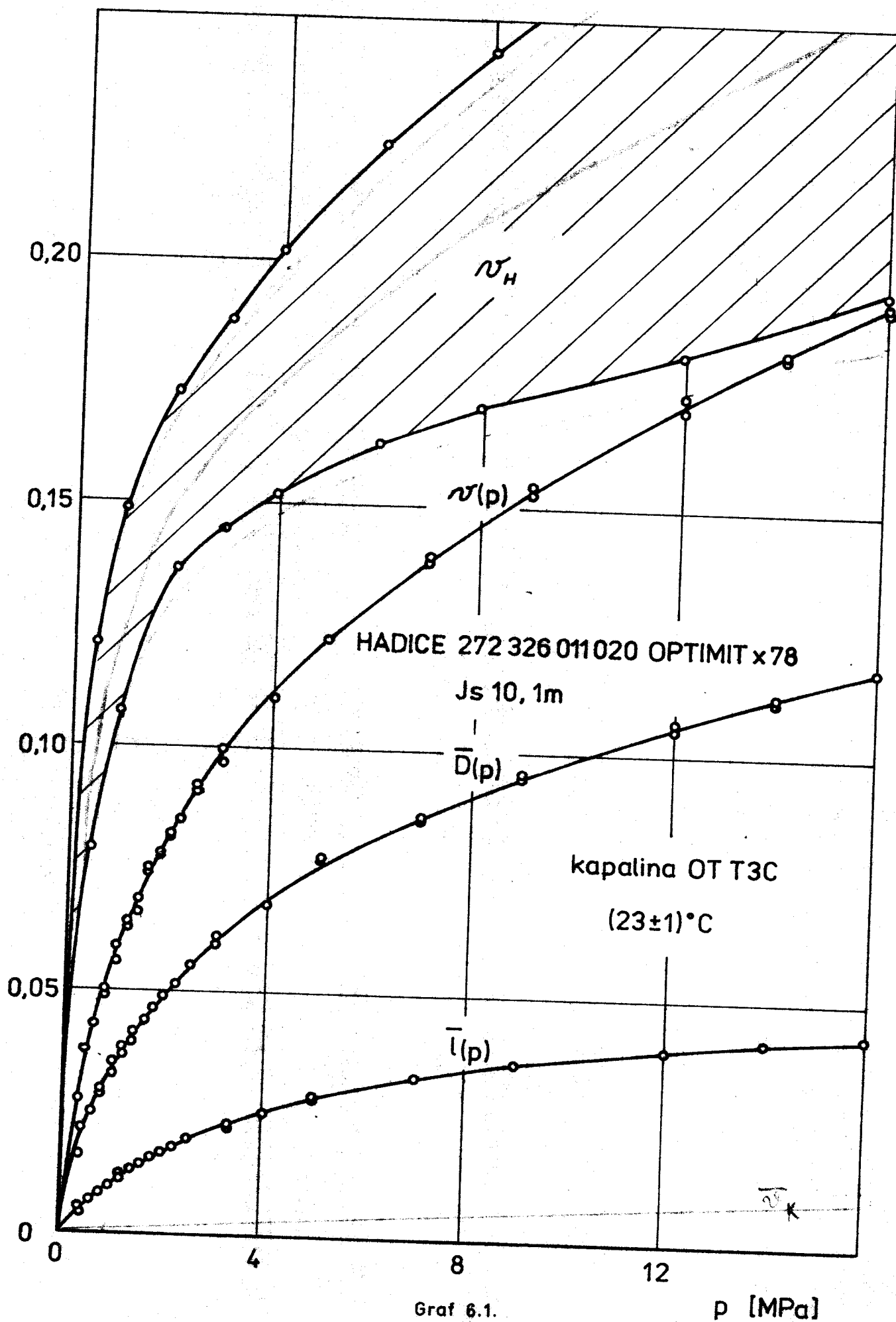
Naměřené hodnoty $\Delta D(p)$ a $\Delta l(p)$ jsou dle (6.8) a (6.9) přečteny na poměrné hodnoty a vyčísleny spolu s vypočtenou poměrnou změnou objemu dle (6.12) v tab. 6.1.

6.3. Z h o d n o c e n í m ě ř e n í

Hodnoty $\bar{D}(p)$, $\bar{l}(p)$ a $\nu(p)$ z tab. 6.1. jsou vyneseny v grafu 6.1. Vidíme, že charakter jejich průběhu je obdobný jako průběh změny objemu hadicového vedení v závislosti na působícím tlaku (graf 5.3.), zjišťovaný v kap. 5. Abychom mohli posoudit, do jaké míry se blíží hodnoty změny objemu hadice, získané měření geometrických parametrů hadice, hodnotám změny objemu získaným měření vyteklého množství kapaliny z "natlakované" hadice, je do grafu 6.1. vynesena i oblast poměrné změny objemu hadice ν_H . Tato oblast je ohraničena horní a dolní křivkou přečtené poměrné deformace ν_H z hodnot ΔV odměřených v grafu 5.3. Hodnoty jsou zaznamenány v tab. 6.2.

$$V_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot l = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \cdot 10^3 \approx 78\,540 \text{ mm}^3$$

p [MPa]		0,5	1	2	4	6	12	16
ΔV [$\times 10^3 \text{ mm}^3$]	h	9,5	11,7	13,6	15,9	17,6	21	22
	d	6,2	8,4	10,8	11,9	12,8	14,2	15,5
$\nu_H = \frac{\Delta V}{V_0}$ [1]	h	0,121	0,149	0,173	0,202	0,224	0,267	0,280
	d	0,079	0,107	0,138	0,152	0,163	0,181	0,197



Graf 6.1.

Z vynesných průběhů $V(p)$, V_H vyplývá, že průběh poměrné změny objemu, daný geometrickými parametry, leží pod spodní křivkou vyznačené oblasti V_H . Zajímavým poznatkem je i velmi blízká hodnota naměřených parametrů $\bar{D}(p)$, $\bar{L}(p)$ při opakovaném měření. Tím obě měření geometrických parametrů udávají prakticky jednotné křivky průběhu $V(p)$. Pro zkoumání této vlastnosti by bylo třeba provést řadu měření jak na této hadici, tak i na jiných hadicích o různé jmenovité světlosti i délce. Zatím lze snad vyslovit domněnku, že vnitřní pryžová vrstva (duše) a možné "dosedání" kordových vrstev hadice na sebe způsobují větší deformaci, než jakou lze naměřit změněním vnějšího průměru a délky hadice. Ze stejných důvodů sřejmě pak dochází k rozptylu naměřených hodnot při určování vyteklého množství kapaliny z "natlačené" hadice. Na závěr nutno poznamenat, že tato domněnka byla vyslovena na základě proměření jedné a téže hadice, a to hadice s dvěma příslušnými oplety Js 10 délky 1 m 272 326 011 020 Optimat x 78.

7. Z Á V Ě R

Tato diplomová práce ukázala různé možnosti měření objemových změn hadicového vedení. Hlavním úkolem bylo navržení souvislého měření objemových deformací hadic při statickém tlakovém zatížení. Navržená metoda, jejímž výsledkem je grafický záznam průběhu objemových změn hadice v závislosti na působícím vnitřním přetlaku, se ukázala velmi výhodnou. Metoda dává velmi rychlou a názornou informaci o chování hadice při tlakovém zatížení. Kontrolou pro tuto metodu byl výpočet deformace ocelové tenkostěnné beneskové trubky při zvoleném vnitřním přetlaku. Konfrontací s tímto výpočtem se ukázala navržená metoda dostatečně přesná.

Jedním z bodů této diplomové práce je i návrh určení objemových změn hadice proměřením jejích geometrických parametrů, t.j. vnějšího průměru a délky. Z vypočteného průběhu poměrné objemové změny hadice porovnáním s vyznačeným polem poměrné objemové deformace, určeným z hodnot naměřených na zapisovači, byla vyslovena domněnka o větších deformacích uvnitř hadice (duše, kstra), které se navenek nepřenášou v plné míře. Z tohoto důvodu nelze užit proměření geometrických parametrů ke stanovení vnitřních objemových změn hadicového vedení. Nutno ovšem podotknout, že metoda byla ověřena pouze jako návrh ve dvou měřeních na jedné hadici. Na rozdíl od měření vyteklého množství kapaliny z "natlakované" hadice, kdy dochází k rozptylu naměřených hodnot, proměření geometrických parametrů vykazovalo velmi blízké hodnoty. Při metodě proměření geometrických parametrů záleží rovněž na výrobních tolerancích vnějšího průměru a délky hadice. Výpočet změny objemu při použití této metody by bylo třeba provádět pro určitý rozptyl hodnot průměru a délky hadice při normálním dělení.

Pro komplexní návrh hydraulických systémů bude nutno získat podklady o chování hadicového vedení při tlakovém zatížení. Metoda, navr-

žení v této diplomové práci, dává svým grafickým výstupem vhodné podklady pro zpracování co do rychlosti získání informace a náročnosti. Pro početní řešení naměřených hodnot by bylo vhodné automatizovat zpracování hodnot; např. přes analogově-numerický převodník v daných intervalech zpracovat hodnoty na počítači. Měření by pak bylo možné zpracovat v podobě regresní křivky (viz [3]) závislosti změny objemu hadice na působícím tlaku s udáním tolerančního pole. Stejně tak by ovšem mohl konstruktérovi posloužit při návrhu hydraulických systémů grafický výstup. Z grafického záznamu je přímo zřejmý rozptyl naměřených hodnot.

POUŽITÁ LITERATURA

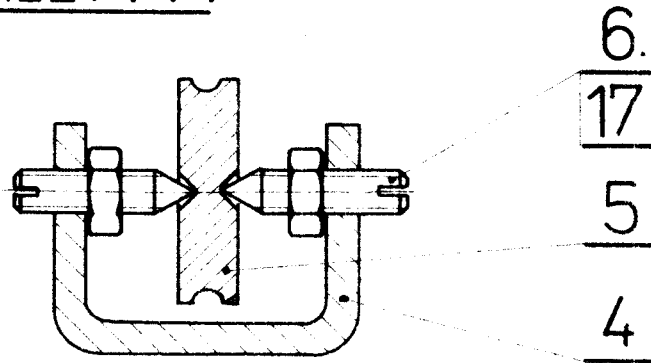
- [1] Hlavní směry hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na 14-
ta 1981 - 1985. Příloha Rudého práva. Praha 1981.
- [2] KOPÁČEK, J.; ŠUBERT, J. : Objemový modul pružnosti pryžových
hadic. Strojírenská výroba, 28.1980, č.12, s. 931 - 937.
- [3] PAVLIČEK, Z. : Teoretické-experimentální vyšetření kapacitních
vlastností hadicového vedení (Diplomová práce). Liberec 1980.
VŠST. Fakulta strojní.
- [4] DURING, J. : Projektovanie hydraulických a pneumatických otvo-
rov. 1. vyd. ALFA Bratislava - SNTL Praha 1979 . 400 s.
- [5] ČSN 63 5305 : Pryžové hadice. Všeobecná ustanovení a zkoušení.
1969.
- [6] ŠUSTER, R. : Experimentální vyšetření odporu proti deformaci
hydraulického vedení, zejména hadicového. (Diplomová práce).
Liberec 1979. VŠST. Fakulta strojní.
- [7] ČERHA, J. : Experimentální vyšetření kapacitních vlastností
hadicového vedení. In : IX. Konference o tekutinových mecha-
nismách, K. Vary. Ostrava, DT ČSVTS, s. 9.
- [8] ČERHA, J. : Hydraulické mechanismy v oboru výrobních strojů.
1. vyd. Liberec 1971. VŠST. Fakulta strojní. 296 s.
- [9] URBÁŠEK, J. A KOL. : Návedy ke cvičením z technického měření
na strojích a strojním zařízení. 1. vyd. Liberec 1978. VŠST.
Fakulta strojní. 289 s.
- [10] BARTOŠ, J. A KOL. : Strojnické tabulky. 10. vyd. Praha, SNTL 1971.
448 s.
- [11] ČERNÝ, S. : Strojní technická příručka. 13. vyd. Praha, SNTL
1977. 2568 s.
- [12] PÍČ, J.; CHVÁLA, B. : Přípravky. 1. vyd. Praha, PRÁCE 1957. 188 s.

- [13] VENTURA, P.: Inovace nízkotlakých hadic. Závěrečná práce
kurzu cyklické přípravy vedoucích pracovníků. Odry 1977,
OPTIMIT n.p.

Závěrem děkuji svému vedoucímu diplomové práce
s. ing. J. Carhovi za trvalý zájem a podporu v mé práci.

ŘEZ A-A

M 2:1



1	PODLOŽKA 6,4	ČSN 02 1702.11	---	---	---	---	19
2	PODLOŽKA 5,3	ČSN 02 1702.11	---	---	---	---	18
4	MATICE M3	ČSN 02 1401.11	---	---	---	---	17
2	ŠROUB M5×14	ČSN 02 1101.11	---	---	---	---	16
1	ŠROUB M6×14	ČSN 02 1131.11	---	---	---	---	15
1	IND. SNÍMAČ POLOHY	MONT. CELEK	---	---	---	---	14
							13
1	NIT Ø0,3-350		---	---	---	---	12
1	FLOVAK Ø25-20		SILON	---	---	---	11
1	DNO MĚRNÉHO VÁLCE Ø48-28		SILON	---	---	DP-VS190/81-110	10
1	MERNÝ VÁLEC TRUBKA Ø40×2-100		SKLO	---	---	DP-VS190/81-109	9
1	DRŽÁK IND. SNÍMAČE PLECH 15	ČSN 42 5301.21	10 370.1	---	001	DP-VS190/81-108	8
1	PŘEVLEČNÁ MATICE M5 Ø7-15	ČSN 42 6510.12	11 343.0	---	001	DP-VS190/81-107	7
4	SERIZOVACÍ ŠROUB M3 Ø4-14	ČSN 42 6510.12	13 240.0	---	001	DP-VS190/81-106	6
2	KLADIČKA Ø15-6	ČSN 42 6510.12	12 020.0	---	002	DP-VS190/81-105	5
1	RAMENO TRUBKA 20×2,5-135	ČSN 42 6720.3	11 353.0	---	001	DP-VS190/81-104	4
1	STOJNA Ø10-340	ČSN 42 6510.12	11 343.0	---	001	DP-VS190/81-103	3
1	ZÁKLADOVÁ DESKA PLECH 15	ČSN 42 5310.11	10 370.1	---	001	DP-VS190/81-102	2
1	ROZHYADECI PŘÍPRAVEK	MONT. CELEK		---		DP-VS190/81-200	1

1:1

(2:1)

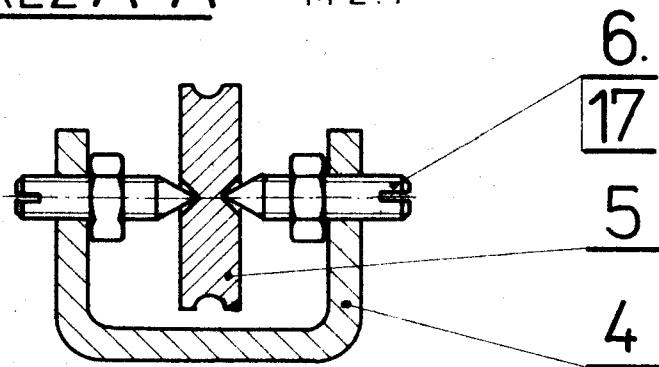
VŠST

ZAŘÍZENÍ PROMĚŘENÍ
OBJEM. ZMĚN HADIC

DP-VS 190/81-100

ŘEZ A-A

M 2:1



1	PODLOŽKA 6,4	ČSN 02 1702.11	—	—	—		—	19
2	PODLOŽKA 5,3	ČSN 02 1702.11	—	—	—		—	18
4	MATICE M3	ČSN 02 1401.11	—	—	—		—	17
2	ŠROUB M5×14	ČSN 02 1101.11	—	—	—		—	16
1	ŠROUB M6×14	ČSN 02 1131.11	—	—	—		—	15
1	IND. SNÍMAČ POLOHY	MONT. CELEK	—	—	—		—	14
								13
1	NIT Ø0,3-350			—				12
1	PLOVÁK Ø25-20		SILON	—				11
1	DNO MĚRNÉHO VÁLCE Ø48-28		SILON	—			DP-VS190/81-110	10
1	MĚRNÝ VÁLEC TRUBKA Ø40×2-100		SKLO	—			DP-VS190/81-109	9
1	DRŽÁK IND. SNÍMAČE PLECH 1,5	ČSN 42 5301.21	10 370.1	—	001		DP-VS190/81-108	8
1	PŘEVLEČNÁ MATICE M5 Ø7-15	ČSN 42 6510.12	11 343.0	—	001		DP-VS190/81-107	7
4	SERIZOVACÍ ŠROUB M3 Ø4-14	ČSN 42 6510.12	13 240.0	—	001		DP-VS190/81-106	6
2	KLADIČKA Ø15-6	ČSN 42 6510.12	12 020.0	—	002		DP-VS190/81-105	5
1	RAMENO TRUBKA 20×2,5-135	ČSN 42 6720.3	11 353.0	—	001		DP-VS190/81-104	4
1	STOJNA Ø10-340	ČSN 42 6510.12	11 343.0	—	001		DP-VS190/81-103	3
1	ZÁKLADOVÁ DESKA PLECH 15	ČSN 42 5310.11	10 370.1	—	001		DP-VS190/81-102	2
1	ROZVÁDEČÍ PŘÍPRAVEK	MONT. CELEK		—			DP-VS190/81-200	1

V. Erich

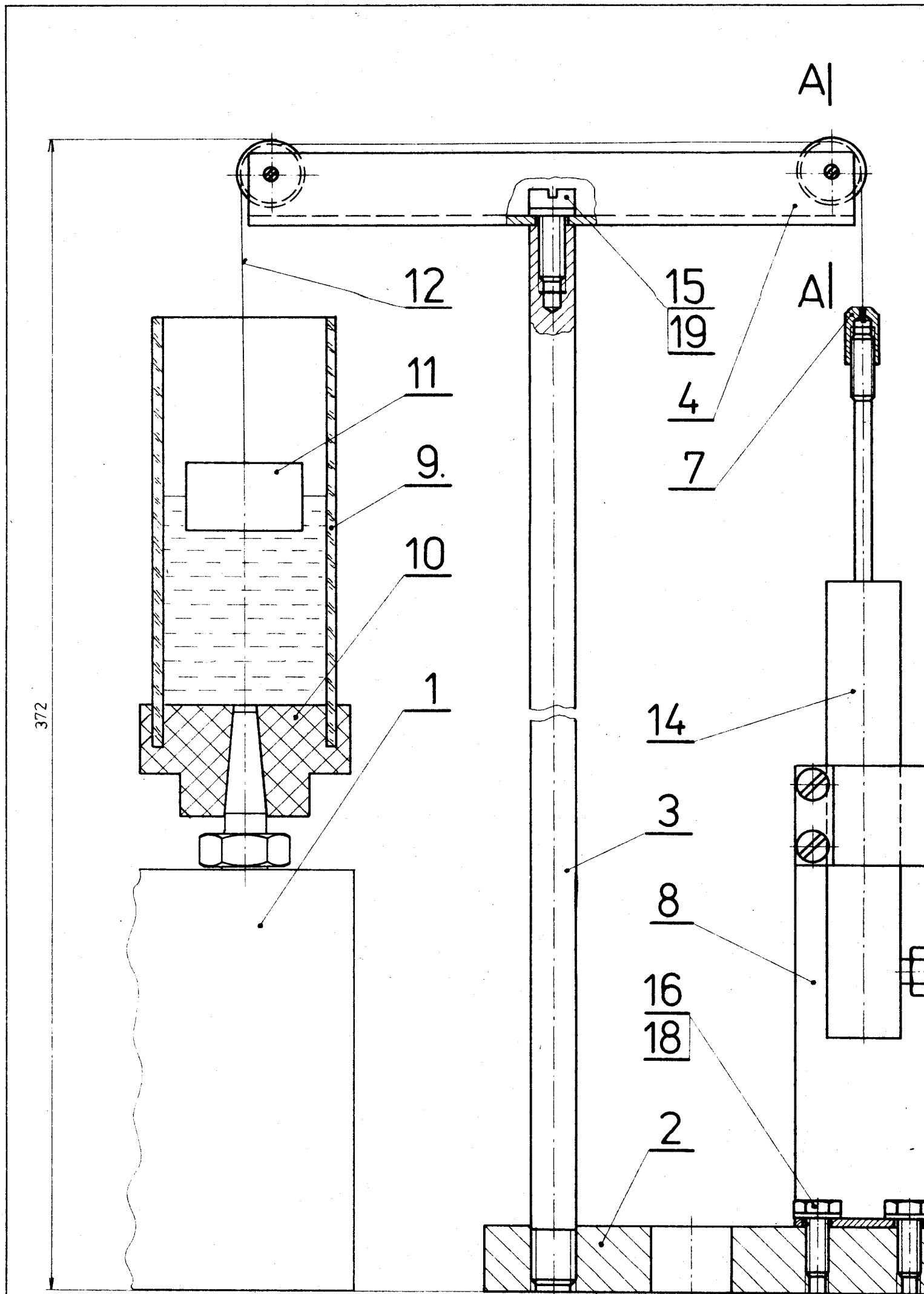
1:1

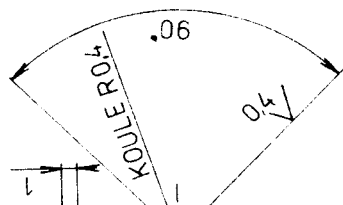
(2:1)

VŠST

ZAŘÍZENÍ PROMĚŘENÍ
OBJEM. ZMĚN HADIC

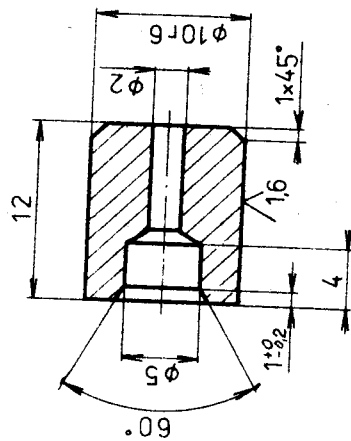
DP-VS 190/81-100



$$3.2 \sqrt{0.81}$$
 $3.2 \sqrt{0.}$ 

200

20.0



014-13

CSN 42 8611.22 423223.1

365

5

V. Enrich

2:1

VŠT

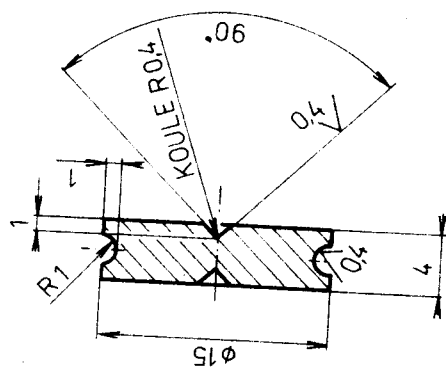
SEDLO VENTILU

DP-VS 190/81-205

DP-VS 190/81-105

$$3.2 \sqrt{1.6}$$

32/04/1



$\phi 15-6$

ČSN 42 6510.12 12 020.0

002

5

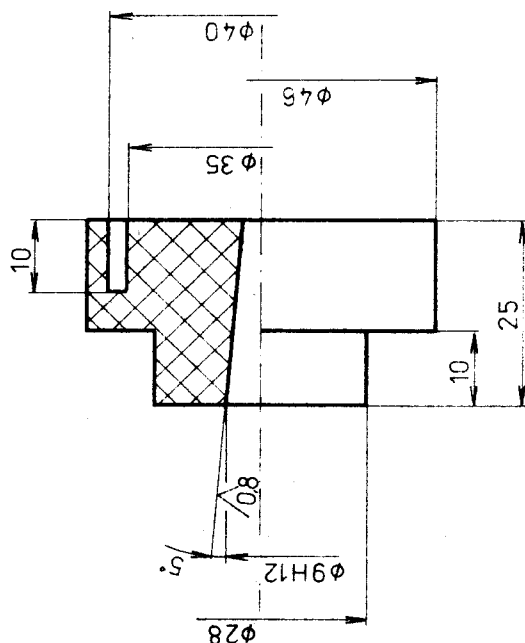
V. Bruck

2:1

VŠST

KLADIČKA

DP-VS 190/81-105



$\phi 48-28$

SILON

10

V. Benčať

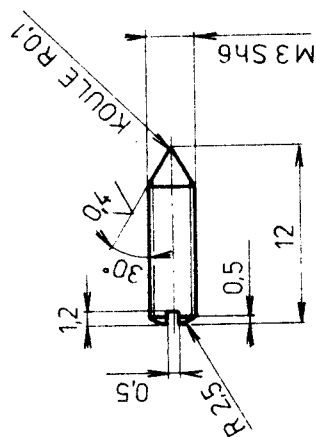
1:1

VŠST

DNO MĚRNÉHO
VÁLCE

DP-VS 190/81-110

16√ / 0.4√ /



6.

Φ 4-14

ČSN 42 6510.12 13 240.0

001

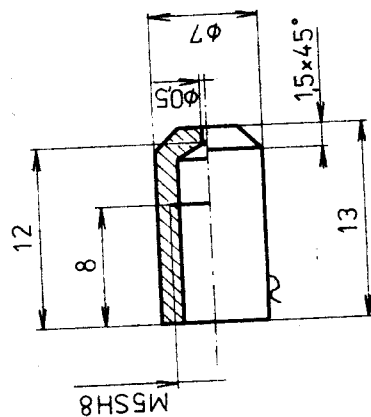
V. Kunc

2:1

VŠST SŘIZOVACÍ
ŠROUB M3

DP-VS 190/81-106

32√1~1



7

001

ČSN 42 6510.12 11 343.0

$\phi 7-15$

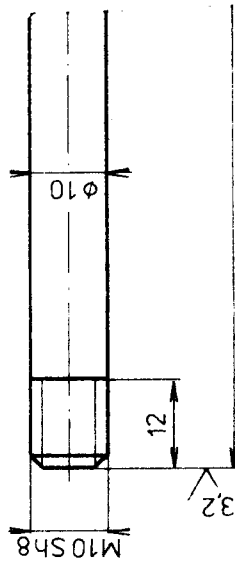
V. Emich

2:1

DP-VS 190/81-107

PŘEVLEČNÁ
MATICE M5

VŠST



$\phi 10-340$

ČSN 42 6510.12

113

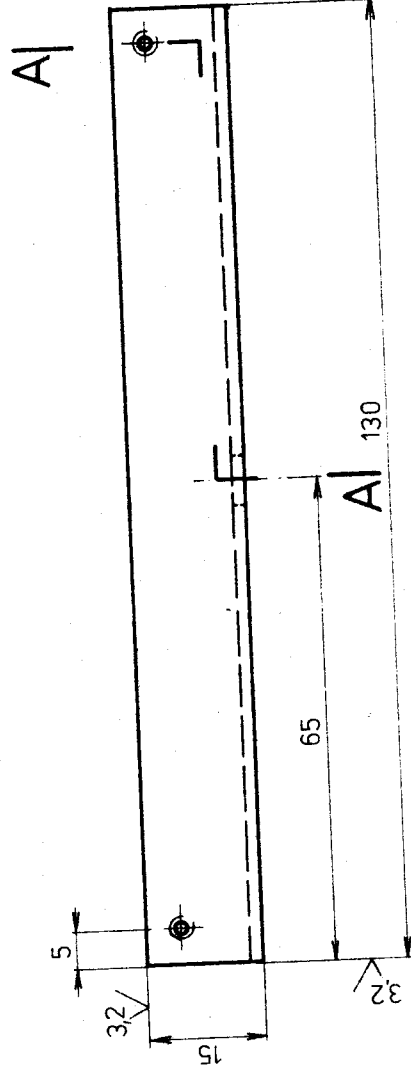
V. Encel

1:1

VŠST

STOJNA

~ / 32 / 1



TRUBKA 20x2,5-135

ČSN 42 6720.3

11 353.0

001

4

V. Encel

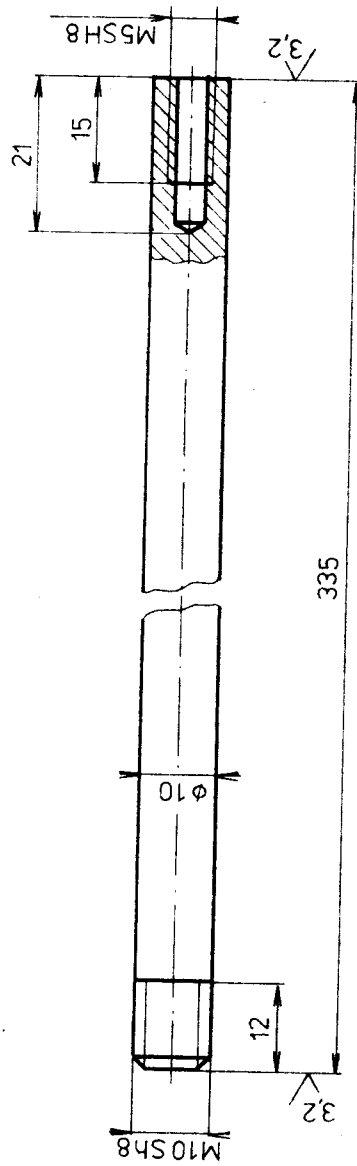
1:1

VŠST

RAMENO

DP-VS 190/81-104

~ / 32 //



$\phi 10-340$

ČSN 42 6510.12

11 343.0

— 001

3

V. Encl.

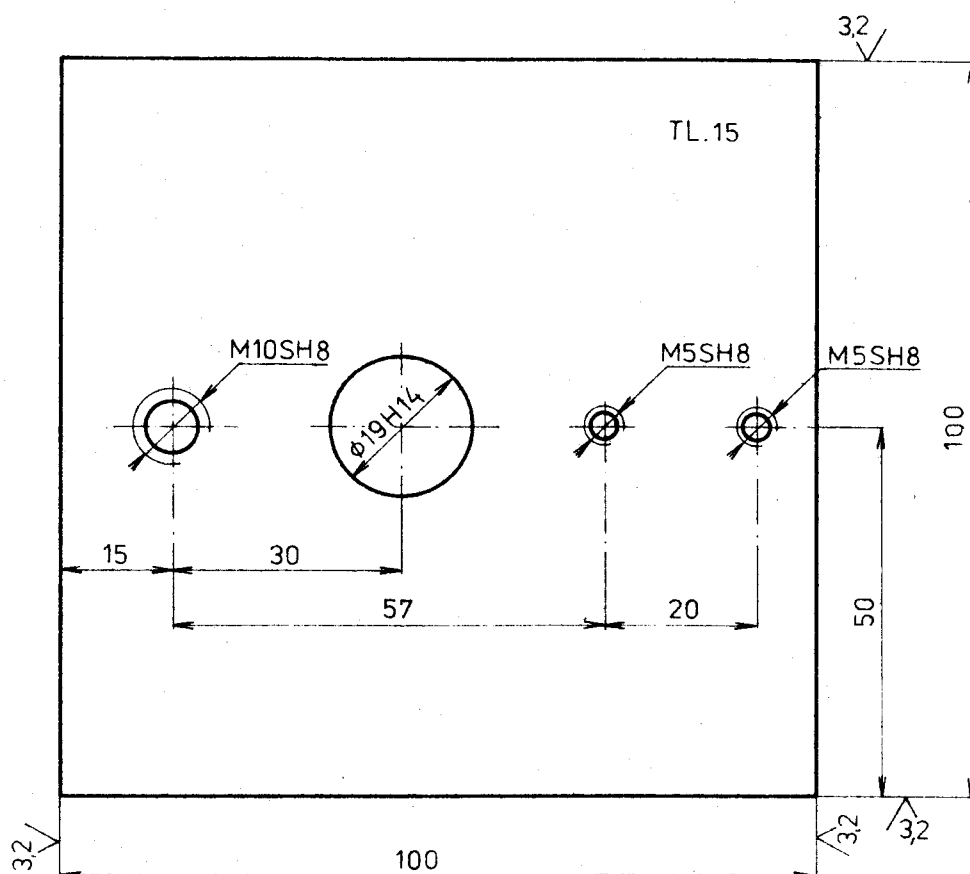
1:1

VŠST

STOJNA

DP-VS 190/81-103

~ / 3,2 ✓ /



PLECH 15

ČSN 42 5310.11 10 370.1

001

2

V. Beníšek

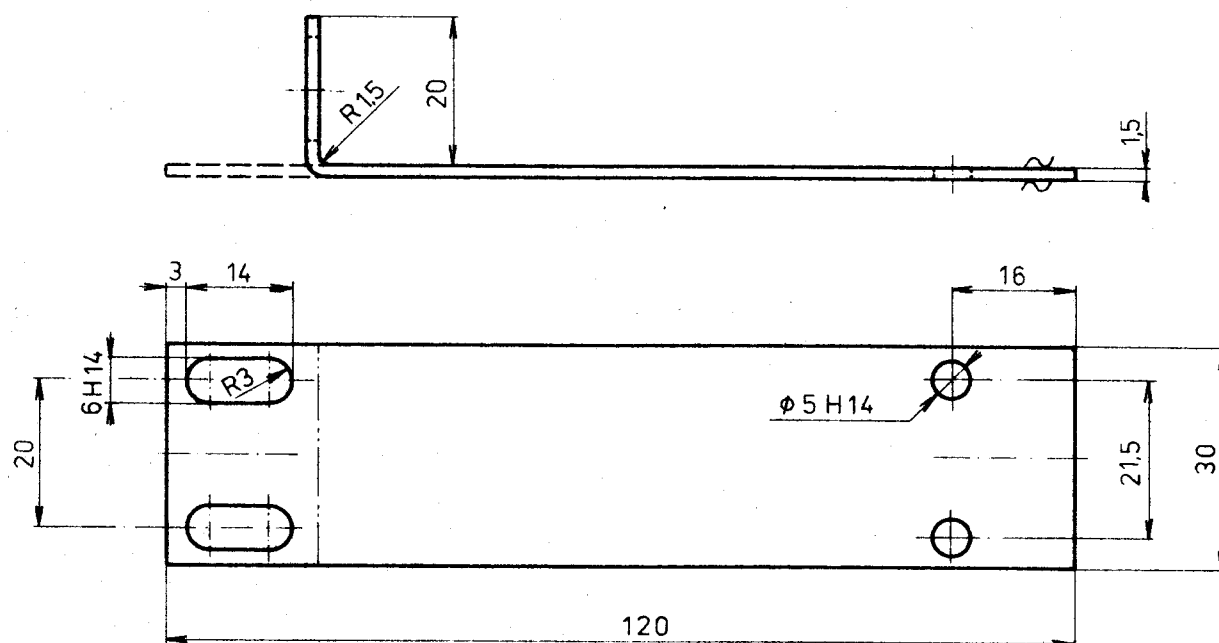
1:1

VŠST

ZÁKLADOVÁ
DESKA

DP-VS 190/81-102

3,2 ✓ 1 ~ 1



PLECH 1,5

ČSN 42 530121 10 370.1

001

8

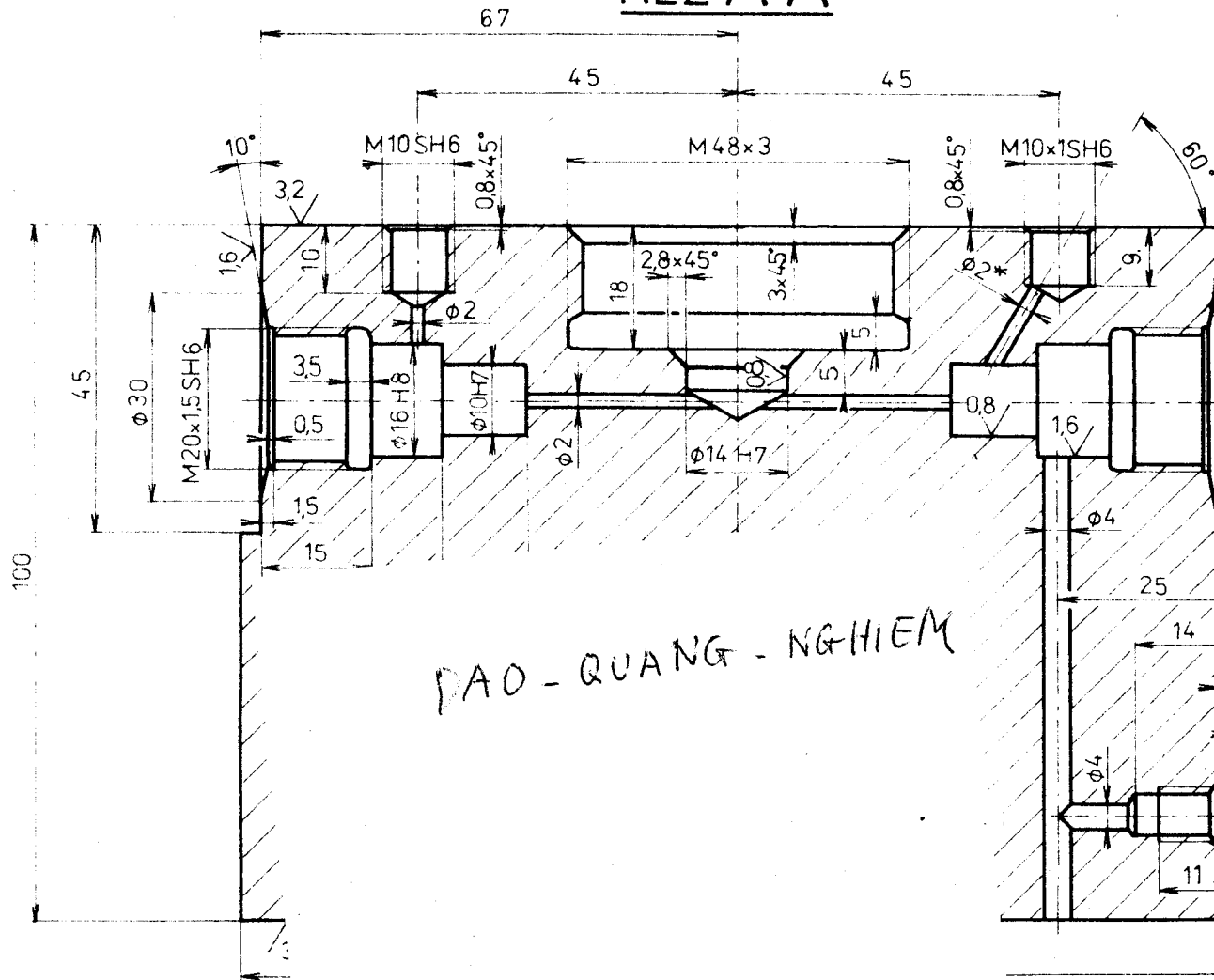
V. Ernesty

1:1

VŠST DRŽÁK INDUKČ.
SNÍMAČE

DP-VS 190/81-108

ŘEZ A-A



PAO - QUANG - NGHIEM

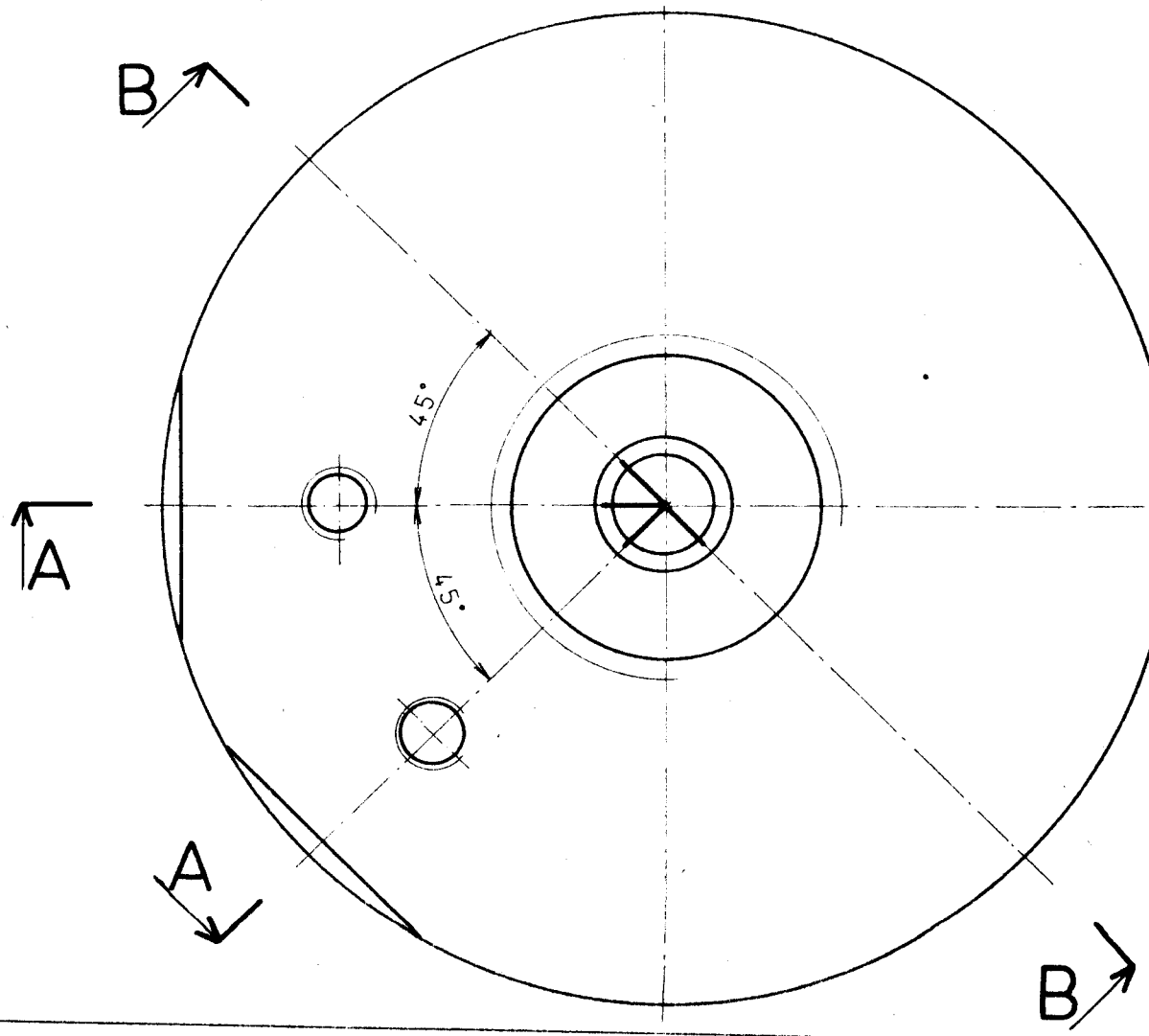
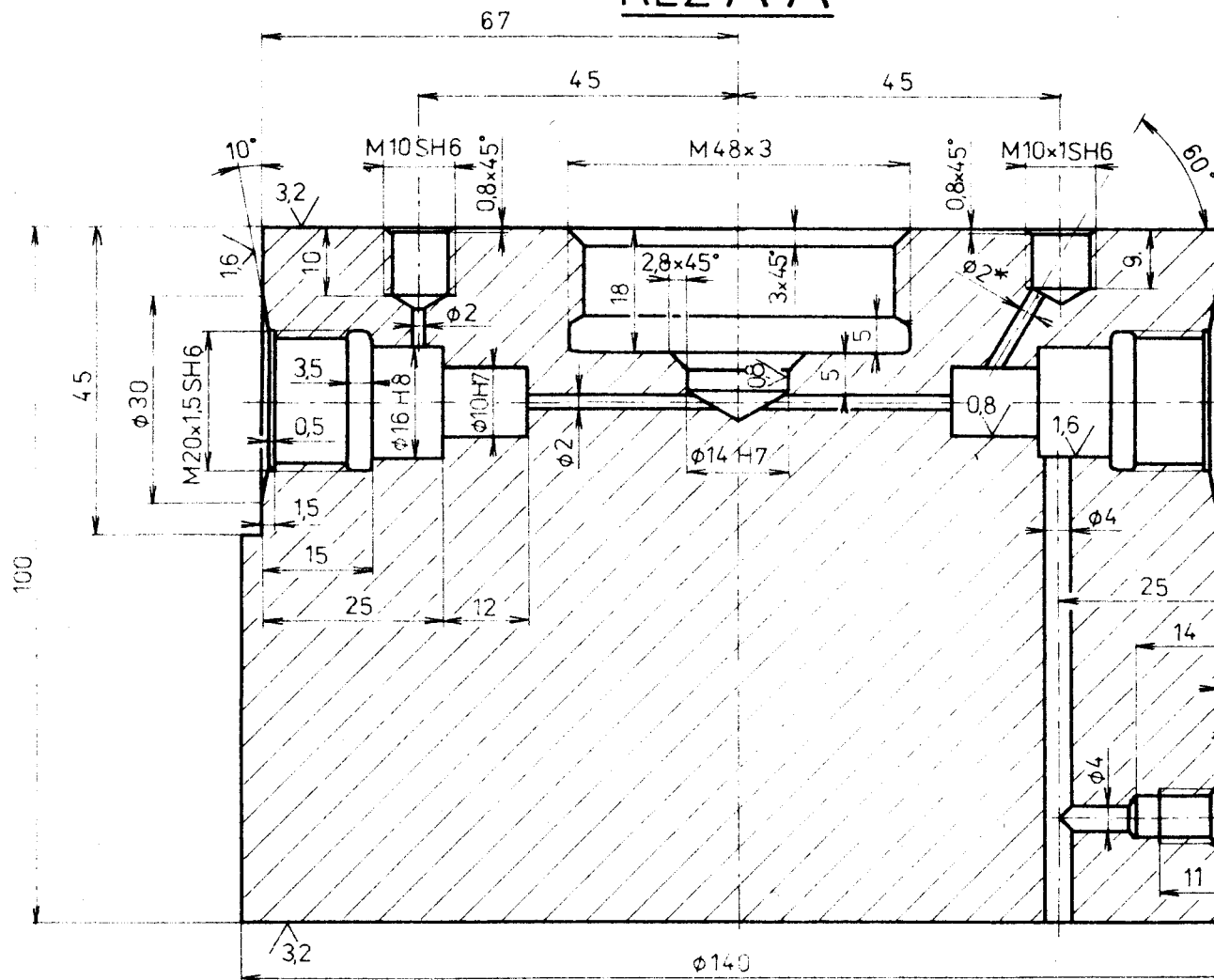
B ↗

A ↑

A ↘

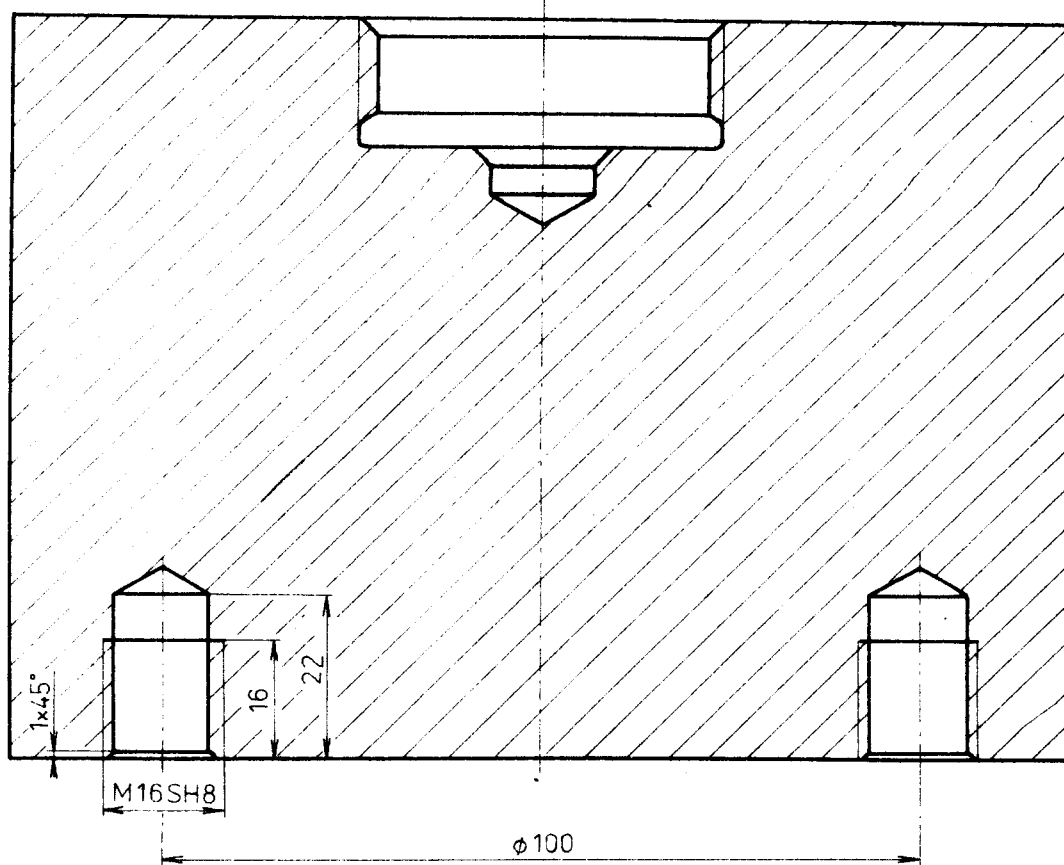
B ↗

ŘEZ A-A



ŘEZ B-B

$\sqrt[3,2]{} / \sqrt[0,8]{}, \sqrt[1,6]{} /$



* VRTAT PO NALISOVÁNÍ SEDLA VENTILU.

Ø 140-105

ČSN 42 5510 11

11 500.0

001

1

D. Buresky

1:1

VŠST

TĚLESO
PŘÍPRAVKU

DP-VS 190/81-201