

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní
Ober 23 - 07 - 8
strojírenská technologie
zaměření

tváření kovů a plastických hmot
Katedra tváření a plastů

NÁVRH VÝSTŘIKU Z TERMOPLASTU S OHLEDEM
NA JEJICH DLOUHODOBOU PEVNOST V TAHU

Kamila Suchá

399

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Šafařík, VŠST Liberec

Konzultant: Karel Křivonoska, k.p. ELITEX
Ústí nad Orlicí

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 48

Počet tabulek: 8

Počet obrázků: 14

20. května 1989

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní
Katedra: tváření a plastů Školní rok: 1988/89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMELECKÉHO DÍLA, UMELECKÉHO VÝKONU)*

pro Kamilu S u c h o u
2307-8 strojírenská technologie
obor

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Návrh výstřiku z termoplastu s ohledem na jejich
dlouhodobou pevnost v tahu.

Zásady pro vypracování:

- 1/ Seznamte se s navrhováním výstřiků dlouhodobou zkouškou v tahu včetně zařízení, které má KPT k dispozici.
- 2/ Z praxe k.p. Elitex vytypujte vhodné výrobky pro vstříkování plněného PA skleněnými vlákny. Navrhněte tvar výstřiku a proveďte měření dlouhodobé pevnosti v tahu na vybraných materiálech.
- 3/ Zhodnoťte návrh výrobků s ohledem na jejich dlouhodobé zatížení v praxi.
- 4/ Proveďte zhodnocení dosažených výsledků s ohledem na vhodný ekvivalent PA.

V. 165/89 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Termoplast - vyšetř. - pevnost

Rozsah grafických prací: **Tabulky, grafy, výkresy**

Rozsah průvodní zprávy: **35-45 stran**

Seznam odborné literatury:

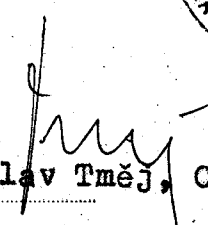
- 1/ Norma ČSN 64 0088
- 2/ DP - A. Illichmanová, VŠST-KPT 1987- 256.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miloslav Šafařík**

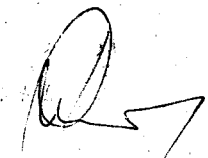
Datum zadání diplomové práce: **26.9.1988**

Termín odevzdání diplomové práce: **2.6.1989**




Prof. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.

Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.

Děkan

v **Liberci** dne **26. 9.** 19 **88**

PROHLÁŠENÍ

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

Kamila Suchá'

V Liberci 20. května 1989

OBSAH

	Seznam použitých zkratek a symbolů	5
1	Úvod	6
2	Výběr výrobků	9
2.1	Konstrukční řešení brzdy navíjecích ramen	9
2.2	Vhodné výrobky	11
2.3	Pracovní podmínky	14
2.4	Požadavky na materiál	15
3	Návrh výrobků	16
3.1	Vlastnosti vstřikování termoplastů plněných SV	16
3.2	Základní konstrukční úpravy výstřiků z termoplastu plněného skleněnými vlákny	17
3.2.1	Vtokové kanály a ústí vtoku	17
3.2.2	Tloušťka stěny	17
3.2.3	Zaoblení hran	18
3.2.4	Úkosy	18
3.3	Návrh výrobků	18
4	Návrh typu nástroje	21
4.1	Zaformování výrobku - páka	22
4.2	Zaformování výrobku - pouzdro brzdy	23
4.3	Zaformování výrobku - kolík brzdy	24
4.4	Zaformování výrobku - vložka	24
5	Ověření mechanických vlastností	30
5.1	Podstata dlouhodobé zkoušky v tahu	30
5.2	Postup zhotovení zkušebních těles	30
5.3	Charakteristika zkušebního materiálu	31
5.4	Popis zkušebního zařízení	32
5.5	Postup zkoušky a způsob zpracování výsledků	33
5.6	Vyhodnocení zkoušky a diskuze výsledků	35
6	Závěr	46
	Seznam použité literatury	48

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SV	- skleněná vlákna
PA	- polyamid
KPT	- Katedra tváření plastů
l_0 /mm/	- počáteční délka zkušebního tělesa
l /mm/	- měřená délka zkušebního tělesa
S /mm ² /	- průřez (plocha)
$\varepsilon(t)$	- poměrné prodloužení
σ /MPa/	- napětí
$E_c(t)$ /MPa/	- modul tečení v tahu
t /min/	- čas
m /kg/	- hmotnost
F /N/	- síla
V /cm ³ /	- objem
L /mm/	- délka vtokových kanálů
s //mm/	- šířka vtokového kanálu
σ_{v2} /MPa/	- tlak v dutině formy
n	- násobnost

1 ÚVOD

Používání součástí z plastů ve strojírenství má své opodstatnění. V současné době, kdy 90% používaných materiálů ve strojírenství tvoří ocele a litiny a vzhledem k tomu, že základní surovinou pro výrobu těchto slitin železa musí naše společnost dovážet ze zahraničí, má používání plastů ve strojírenství stále rostoucí význam. Surovinová základna pro výrobu plastů je poměrně široká a pro ČSSR perspektivně zajištěna v rámci dodávek ropy ze SSSR prostřednictvím ropovodu DRUŽBA.

Široké rozšíření plastů ve strojírenství je možné díky některým jejich výhodným vlastnostem jako jsou např. nízká měrná hmotnost, odolnost proti chemikáliím, dobré zpracovatelské vlastnosti, výhodné kluzové vlastnosti apod. Jako každý materiál, mají i plasty některé nedostatky, např. omezenou odolnost proti zvýšeným teplotám spojenou se změnami fyzikálních vlastností, korozi, tečení za studena apod. Proto je nutné hledat kvalitativně vyšší druhy plastů nebo využít je v kombinaci s jinými materiály.

V současné době je velice rozšířeno používání skleněných vláken jako vyztužující plniva u výrobků z termoplastů. Skleněná vlákna při obsahu asi 30 hmotnostních procent zvyšují ve srovnání s neplněnými pevnost v tahu 1,5 až 3,5 krát, pevnost v ohybu 1,2 až 4 krát, modul pružnosti v tahu 2,7 až 7,5 krát a tvarovou stabilitu o 10 až 120 °C. Dále udržují dobrou houževnatost za nízkých teplot a omezují protažení (na 3 až 50%). Mezi nejvýznamnější zlepšení vlastností patří zvýšení dlouhodo-

dobé pevnosti / 1 /.

Další výhodou používání součástí z plastů ve strojírenství je to, že se podstatně sníží hmotnost strojů, což má rozhodující význam pro úsporu energie. Ve Zprávě o hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986 - 1990 a výhledu do roku 2000 je uvedeno, že strojírenství musí usilovat o zefektivnění našich tradičních exportních programů, jako jsou textilní stroje. Úspora kovových materiálů a energií a efektivní vývoz kvalitních výrobků je prvořadým úkolem našeho národního hospodářství.

Nejrozšířenějším druhem zpracování termoplastů je technologie vstřikování, protože umožňuje úplné zautomatizování procesu výroby vstřiků a tím i zvýšení produktivity práce. Je velmi výhodná zejména pro velkosériovou a hromadnou výrobu, neboť náklady na vstřikovací stroj, nástroj a ostatní zařízení a energii jsou poměrně vysoké. Vstřikováním se dají vyrábět výrobky velmi složitých tvarů bez dalších dokončujících operací.

Diplomová práce byla zpracovávána s ohledem na vývoj bezvřetenového doprácacího stroje BDA 20 v k.p. ELITEX Ústí nad Orlicí. V rámci inovace jsou některé výrobky z kovů nahrazovány výrobky z plastů. Tato náhrada má za úkol snížit kromě hmotnosti stroje i jeho hlučnost, která je v přádelnách značná.

Diplomová práce má za úkol řešit výběr výrobků vhodných pro výrobu technologií vstřikováním polyamidu plněného skleněnými vlákny, řešit konstrukční úpravy těchto výrobků, navrhnout

jejich zaformování a ověřit dlouhodobé mechanické vlastnosti materiálu. Materiál byl určen po předchozích konzultacích jako vhodný pro použití na funkční součásti dlouhodobě namáhané a v tomto smyslu bylo formulováno zadání. Protože nejsou k dispozici křivky dlouhodobé pevnosti pro konkrétní zatížení a materiál, bylo nutno provést orientační měření.

Cílem diplomové práce je přispět k realizaci inovovačního programu k.p. ELITEX Ústí nad Orlicí, který má za úkol zvýšit kvalitu vyráběných strojů a tím se podílet na zvýšení konkurenceschopnosti našich textilních strojů na zahraničních trzích.

Výrobky vhodné pro výrobu technologií vstřikování polyamidu plněného skleněnými vlákny byly vybírány ze soustavy brzdy navíjecích ramen na bezvřetenovém dopřádacím stroji BDA 20, vyráběném v k.p. ELITEX Ústí nad Orlicí. BDA 20 je nový typ stroje z osvědčené řady typů BD strojů a je plně automatizovaný. Stroj je stavebnicové konstrukce, oboustranný, při standardním provedení s 300 spřádacími jednotkami.

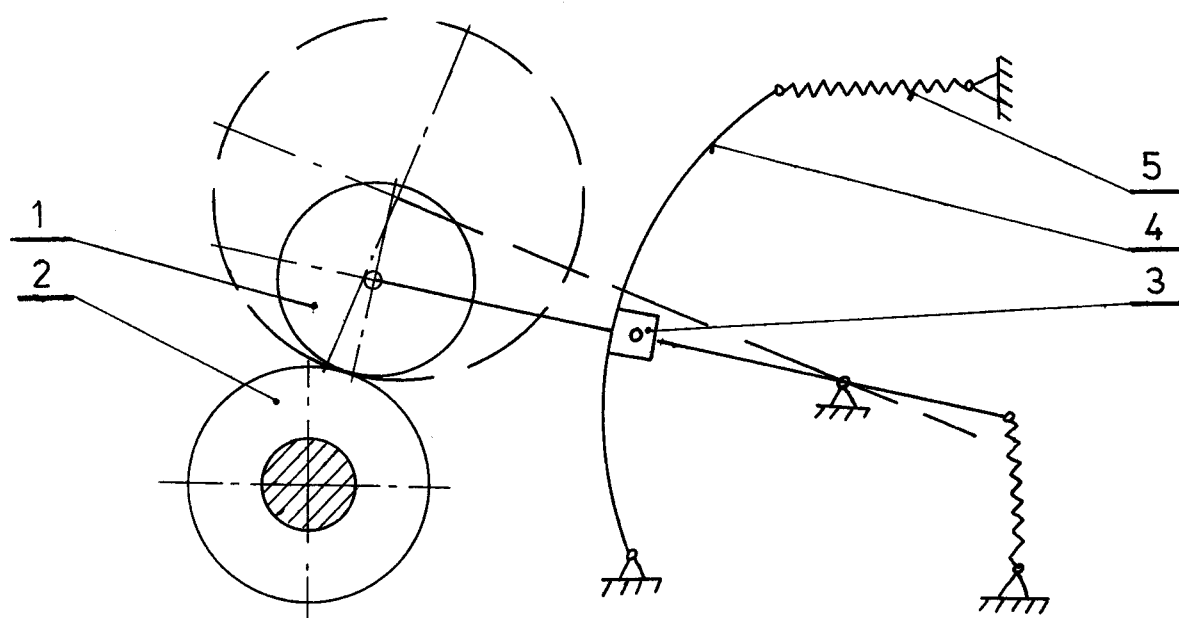
2.1 Konstrukční řešení brzdy navíjecích ramen

Navíjecí ramena (obr. 1) slouží k uchycení cívky 1, na kterou se z dopřádacího centra zapřeďte příze a pomocí navíjecího válce 2 se navíjí. Cívka je sevřena mezi talířky s ložiskem, uchycenými na koncích ramen. Postupným navíjením příze na cívku se zvětšuje poloměr návinu a ramena se odklápějí. Při dokončení navolené délky návinu příze na cívce, kterou sleduje čidlo, dojde k přerušení předení a odklopení plné cívky od navíjecího válce. Navíjecí ramena se rozevřou a plná cívka sjede po skluzu na pás dopravníku. Potom se ramena odklopí a automaticky se provede výměna plné cívky s přízí za prázdnou dutinku při současném vytvoření zálohy příze.

Brzda navíjecích ramen má dvojí funkci: tlumí odskok návinu od navíjecího válce a brzdí pohyb navíjecích ramen při odklápění plné cívky s návinem od navíjecího válce.

Brždění navíjecích ramen bylo během vývoje strojů řady BD

provedeno ve třech konstrukčních variantách. Na obr. 1 je schématicky znázorněno řešení pomocí třecího kamene. Od tohoto řešení bylo ustoupeno z důvodu velkého opotřebení třecího kamene 3 i třecí lišty 4, což vyžadovalo průběžné seřizování předpětí pružiny 5.

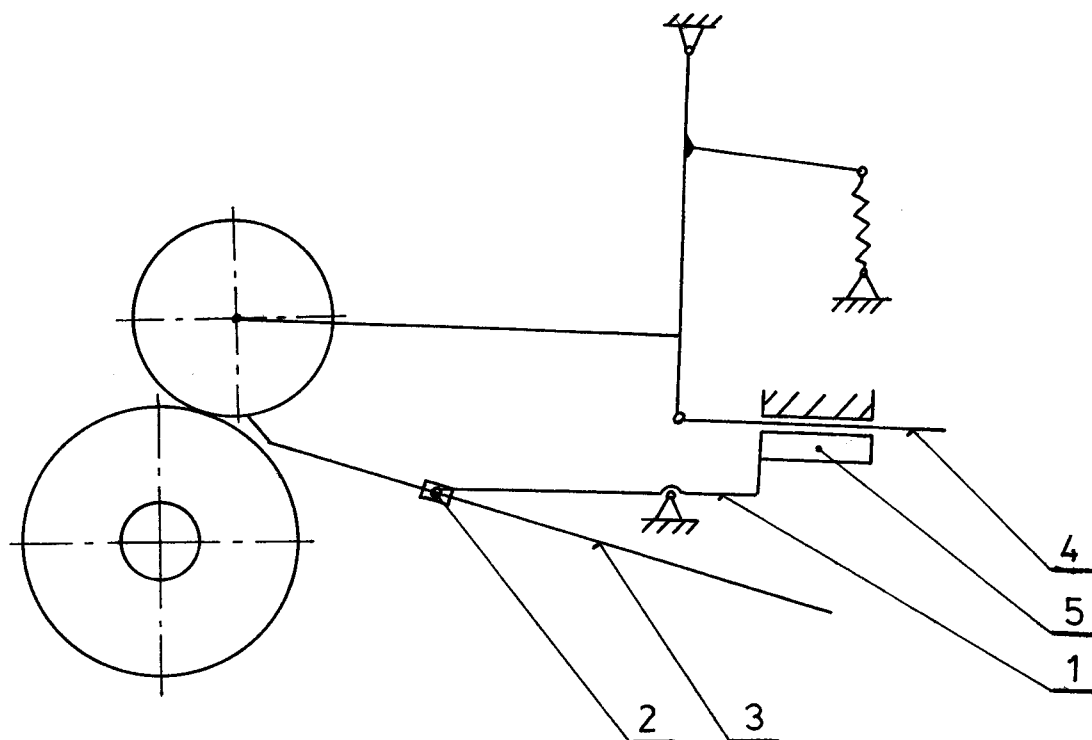


Obr. 1 Navíjecí ramena s brzděním pomocí třecího kamene

Proto byl vyvinut systém, jehož schéma je na obr. 2. Táhlo je zaklesnuto hlavicí 2 do tyče skluzu 3 a ustavuje tak aretaci brzdy přes kotouček 6 (obr. 3). Tyč 4 je bržděna svěrnými čelistmi 5. Síla potřebná k sevření čelistí je vyvozena tlakem vzduchu přes membránu a píst (obr. 3). Toto řešení je použito na prototypu stroje.

Na obr. 4 je konstrukční řešení navíjecího ramene 1 s brzdou, která je odlišná od předchozího řešení v konstrukci funkčních částí. Tyč 9 je bržděna kolíkem brzdy 5, který je posouván

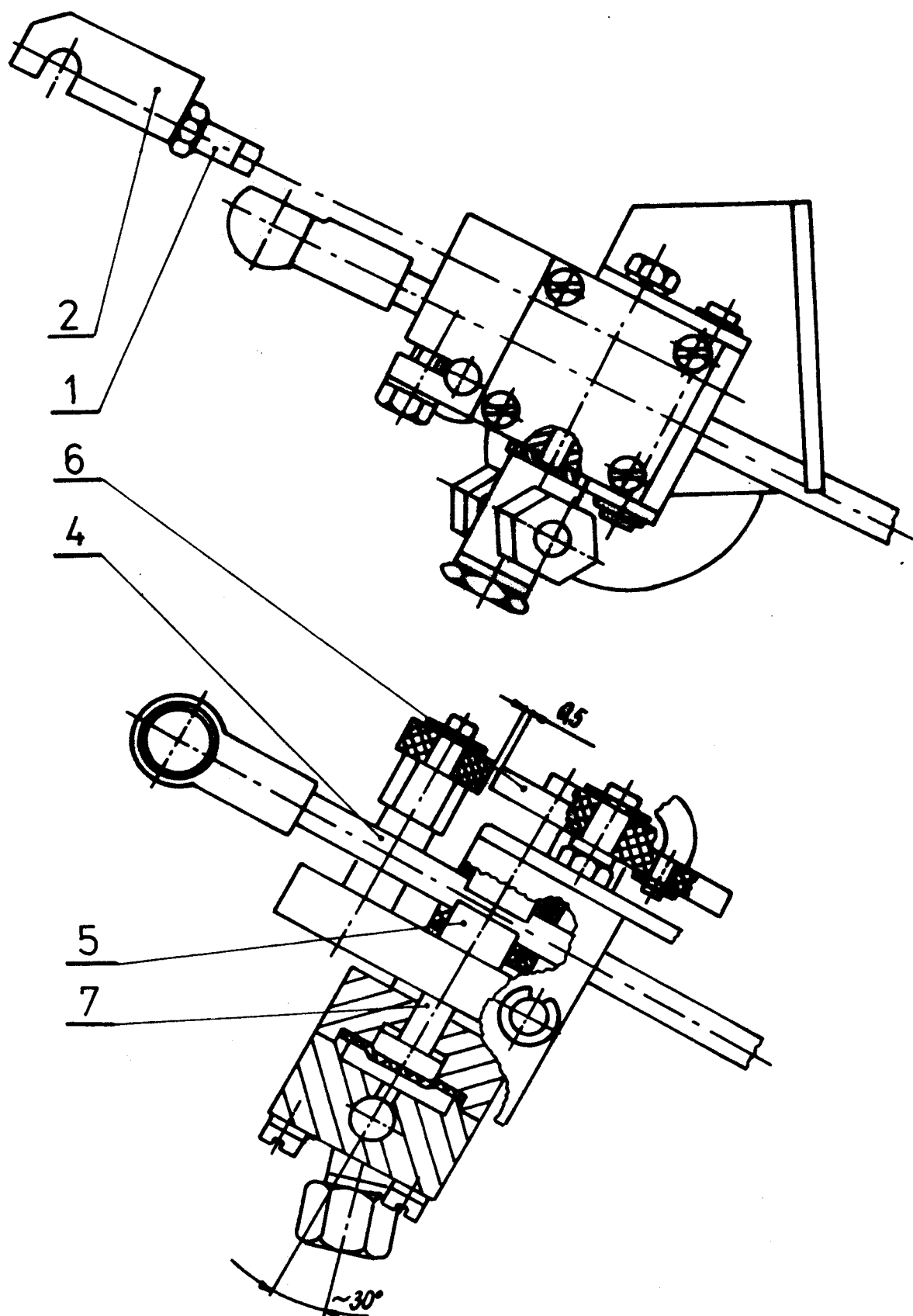
membránou 7 vůči tělesu brzdy 8. Aretace brzdy je ustavena pomocí táhla 2 a páky 3. Přítlak navíjecích ramen s brzdou na válec odtahu je 40 N.



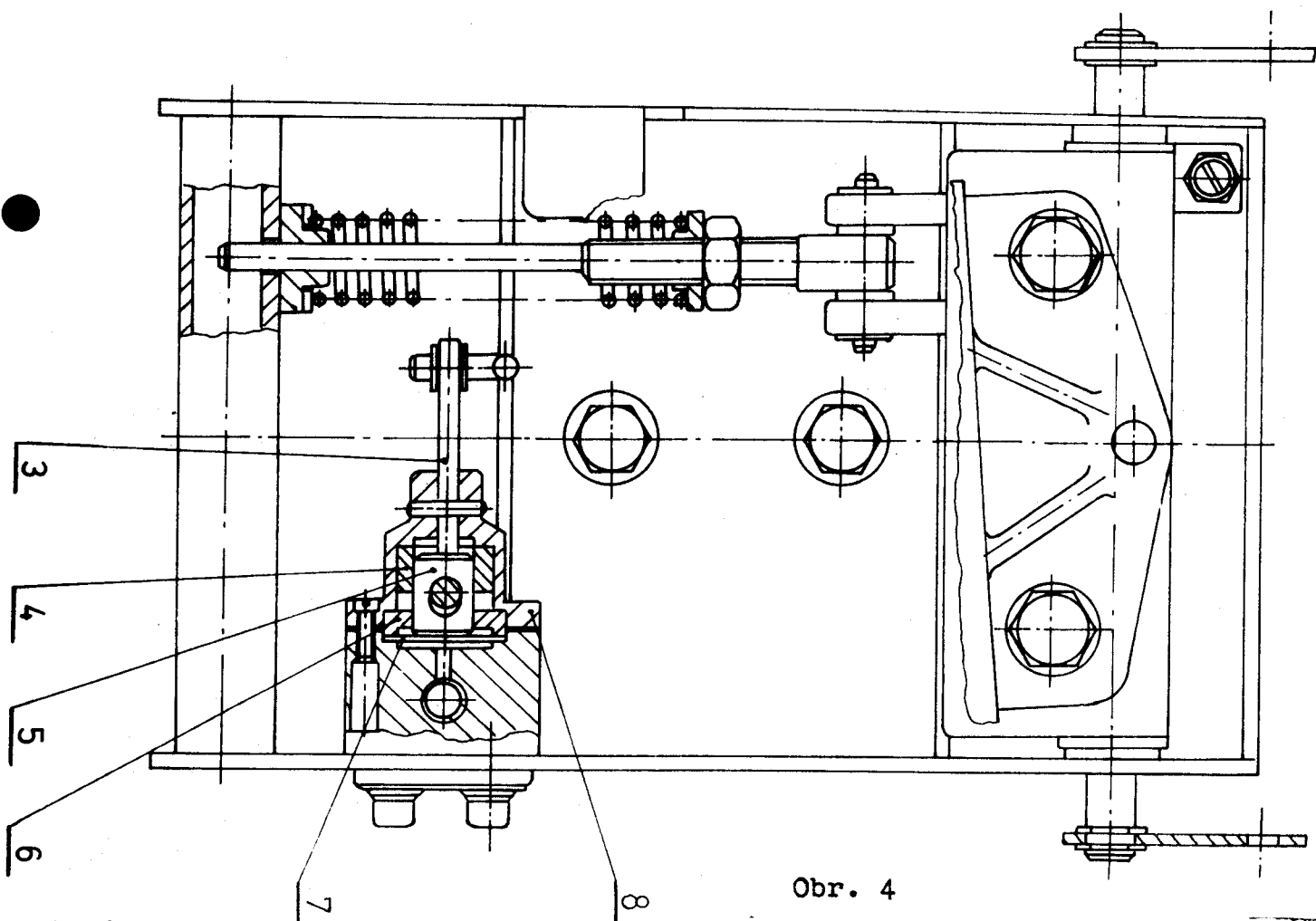
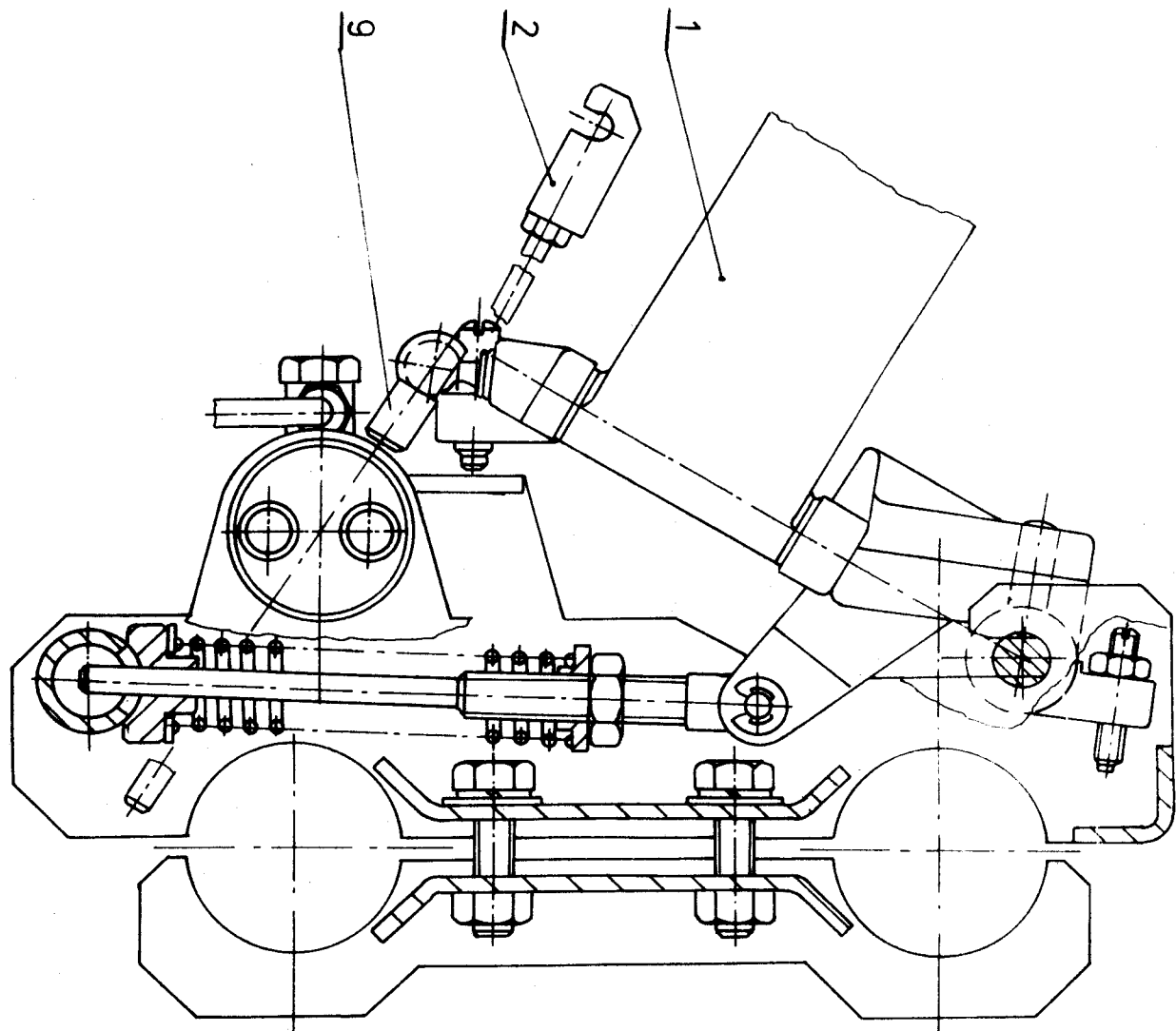
Obr. 2 Navíjecí ramena s bržděním pomocí tlaku vzduchu

2.2 Vhodné výrobky

Výrobky vhodné pro nahrazení kovového materiálu plastem byly vybírány ve spolupráci s pracovníky VVZ Hnátnice podle několika kritérií. Výrobek by měl být tvarově co nejjednodušší, aby se dal vyrobit v jednoduché formě a bez dodatečných dokončovacích operací. Dále bylo vybíráno z funkčních součástí, které jsou dlouhodobě namáhány a perspektivně se počítá s jejich využitím.



Obr. 3 Konstrukce řešení brzdy navíjecích ramen



Obr. 4

Výsledkem výběru se stal funkční celek brzdy navíjecích ramen, jehož konstrukční řešení je na obr. 4. Jedná se o výrobky, které uvádí tab. č. I.

Návrh tvaru výrobků je proveden v kapitole 3.3.

Tab. č. I Vybrané výrobky

Pozice	Název
3	Páka
4	Pouzdro brzdy
5	Kolík brzdy
6	Vložka

2.3 Pracovní podmínky

V návodu k obsluze stroje BDA 10N výrobce uvádí, že stroj musí být umístěn v klimatizovaném prostředí s teplotou 18°C až 28°C a relativní vlhkostí 50 až 65%. Lze předpokládat, že tyto parametry budou shodné i pro typ BDA 20. Tyto podmínky vyhovují danému materiálu, i když PA 6 má vysokou navlhavost, kterou snižuje plnivo a má nižší tvarovou stálost za teploty 65°C až 85°C.

Všechny součásti, vybrané v kapitole 2.2, jsou namáhány na otěr, páka (pozice 3, obr. 4) navíc ještě na vzpěr a kolík brzdy (pozice 5) na tlak. Podle charakteru zatížení jsou v následující kapitole formulovány požadavky na materiál.

2.4 Požadavky na materiál

Vzhledem k charakteru zatížení jednotlivých součástí budou kladeny vysoké nároky zejména na tuhost materiálu a odolnost proti otěru.

Literatura /2/ uvádí, že otěruvzdornost PA 6 je vysoká a obsahem plniva SV se snižuje. Tuhost PA 6 plněného 30% SV je vysoká ($E = 7\,000$ až $9\,000$ MPa), neplněného nižší ($E = 900$ až $1\,400$ MPa). Dále má materiál vysokou pevnost, rázovou a vrtovou houževnatost a poměrně nízký součinitel tření za sucha. PA 6 má vysokou navlhavost spojenou se změnami vlastností a rozměrů se změnou obsahu vody v polymeru. Plnivo SV sorpcí vody snižuje, čímž zlepšuje rozměrovou přesnost výstřiků. Další charakteristika PA je uvedena v kapitole 5.3.

Zhodnocením těchto požadavků na materiál a vlastností PA 6, jsme došli k závěru, že vlastnosti navrhovaného materiálu jsou dostatečné vzhledem k požadavkům. Navrhujeme tedy na součásti páka (pozice 3, obr. 4), pouzdro brzdy (pozice 4) a vložka (pozice 6) PA 6 plněný 30% SV typ Silamid 30 SV, výrobce PCHZ Žilina. Na součást kolík brzdy (pozice 5) navrhujeme neplněný typ PA 6, Spolamid výrobce Spolana Neratovice.

3 NÁVRH VÝROBKŮ

Používání plastů jako náhrady kovů není možné pouhou změnou materiálů. Plasty se liší od kovů velmi výrazně svými vlastnostmi i zpracováním a proto je velmi důležité i odlišné tvarové a konstrukční řešení. Při vhodné kombinaci vlastností materiálu a konstrukce výrobku můžeme dosáhnout velmi dobrého výsledku /2/.

3.1 Zvláštnosti vstřikování termoplastů plněných SV

Plnivo SV způsobuje vyšší tepelnou vodivost taveniny a vyšší tuhost výstřiku, což umožňuje zkrátit vstřikovací cyklus. Naopak nepříznivě se při plnění dutiny formy projevuje rychlejší chladnutí taveniny, vzniká tedy nebezpečí nedokonalého zatékání a vzniku studených spojů. Proto se doporučuje používat při vstřikování termoplastů plněných SV vyšší teploty taveniny i formy, vyšší vstřikovací tlaky a větší rychlost plnění dutiny formy.

Při vstřikování termoplastů plněných SV vzniká diferencovaná orientace SV. Tato anizotropie struktury způsobuje anizotropii smrštění a mechanických vlastností. Dále se plnivo SV nepříznivě projevuje na povrchu výstřiků, drsnost povrchu je vyšší a studené spoje viditelné /5/, /6/.

3.2 Základní konstrukční úpravy výstřiků z termoplastu plněného skleněnými vlákny

Odlišnosti konstrukce výstřiků z termoplastu plněného SV od neplněného spočívají zejména ve velikosti vtokových kanálů a vtokového ústí, tloušťce stěny, zaoblení hran a úkosech /2/, /6/, /7/.

3.2.1 Vtokové kanály a ústí vtoku

Ve vtokových kanálech může dojít k tlakovým ztrátám zvýšeným třením a k nežádoucímu zkrácení délky SV. Z důvodu snížení účinků těchto jevů se doporučuje používat krátké vtokové kanály velkých průřezů.

U termoplastů plněných SV se nedoporučují bodová ústí, používáme ústí o průměru minimálně 2 mm a umísťujeme je v místě největšího objemu a největší tloušťky stěny. Vícenásobné vtoky způsobují studené spoje.

3.2.2 Tloušťka stěny

Tloušťka stěny výstřiku z plněného termoplastu závisí podobně jako u neplněných termoplastů na druhu materiálu, technologických podmínkách vstřikování, délce dráhy toku taveniny a požadované pevnosti, tuhosti a tvaru výstřiku.

3.2.3 Zaoblení hran

Obecně platí, že hrany a rohy výstřiků musí být zaobleny. Zmenšuje se tím odpor proti tečení, nevyskytují se výrazné napěťové špičky, zjednodušuje se výroba nástrojů a snižuje se jejich opotřebení. U termoplastů plněných SV mají být poloměry zaoblení hran větší než u neplněných, v závislosti na viskozitě taveniny volíme poloměry minimálně 1,5 až 2,0 mm.

3.2.4 Úkosy

Všechny výstřiky z termoplastů musí mít ve směru vyjímání z nástroje úkosy. Protože výstřiky z termoplastů plněných SV vykazují menší smrštění a mají větší drsnost povrchu, používáme větší úkosy /2/, /6/, /7/.

3.3 Návrh tvaru výrobků

Řešení tvaru výrobku z plastu musí respektovat hlediska funkčnosti, technologičnosti, výtvarně estetické řešení a ekonomičnost.

Funkčnost tvaru zajišťuje plnění všech hlavních funkcí, které od výrobku požadujeme. Plnění vedlejších funkcí je účelné jenom tehdy, jestliže se tím neúměrně nezvýší výrobní náklady /2/. U mechanicky zatěžovaných výrobků je nutno vyloučit vruby, které způsobují koncentraci napětí, zajistit rovnoměrné rozložení napjatosti ve všech nosných průřezích, omezit možnost

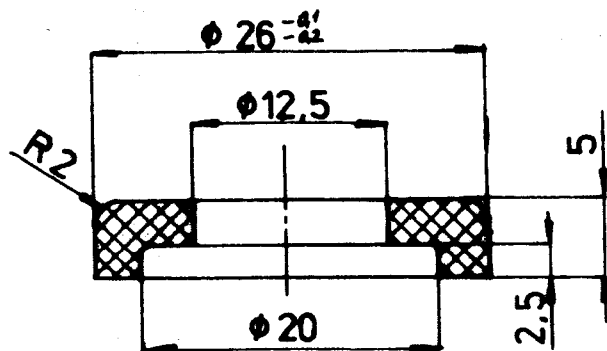
vzniku vnitřních pnutí a vyloučit vlastní deformaci součástí při dynamickém zatěžování /10/.

Technologičnost tvaru znamená dodržování zásady co nejplynulejšího a nejrychlejšího plnění dutiny formy taveninou. Náhlé změny průřezu, ostré rohy a otvory představují překážky proudu taveniny a mají za následek orientaci makromolekul i plniva, vnitřní pnutí, studené spoje, nerovnoměrné smrštění apod. /2/.

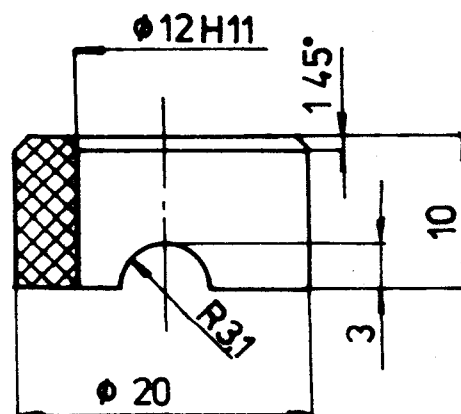
Výtvarně estetické řešení tvaru má být v souladu s funkcí výrobku, s prostředím v němž bude používán, s materiálem a technologií.

Ekonomičnost tvaru vyžaduje především jednoduchý tvar, aby vstřikovací forma byla levná, provozně spolehlivá a umožňovala automatickou výrobu. Jednoduchý tvar též obvykle znamená úsporu materiálu. Z ekonomického hlediska závisí tvarové řešení také na velikosti výrobní série. U malých sérií můžeme připustit i dodatečné opracování, pokud to sníží výrobní náklady /2/.

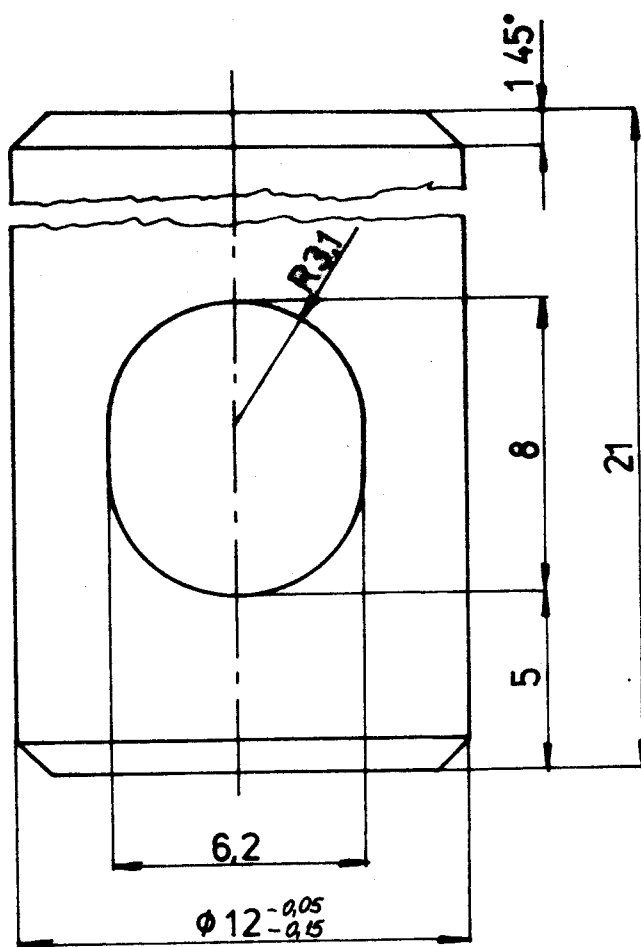
Tvarové řešení výrobků vybraných v kapitole 2.2 (tab. č.I) je uvedeno na obr. 5. Zaformování výrobků je provedeno v kap. 4.



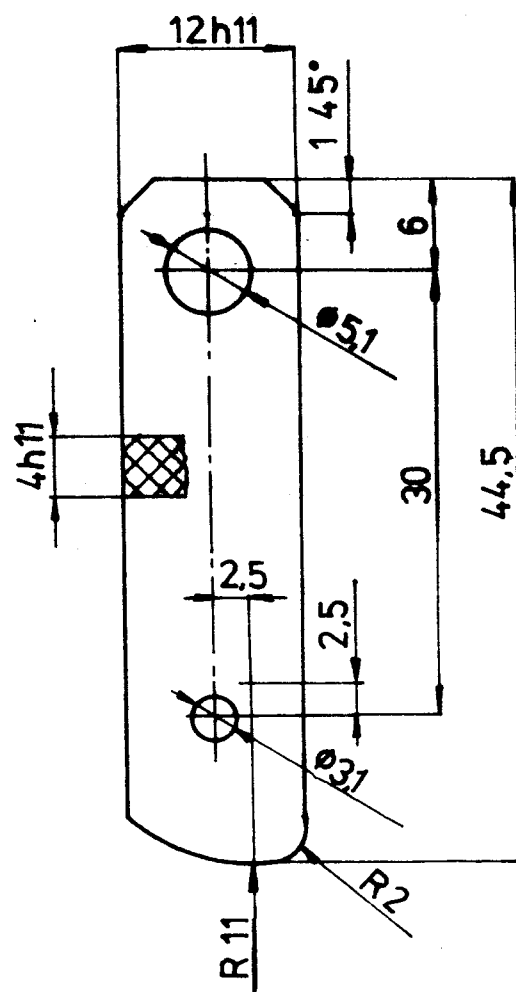
a)



b)



c)



d)

Obr. 5 Tvarové řešení vybraných výrobků
(technologické úkosy $0^\circ 30'$)

4 NÁVRH TYPU NÁSTROJE

Při volbě nástroje je nutno vycházet z geometrického tvaru, materiálu a hmotnosti výstřiku, brát k úvahu požadované roční série a předpokládanou celkovou dobu výroby /9/. V našem případě se jedná o roční sérii minimálně 60 000 kusů, doba výroby není známa.

Podle zvolené násobnosti formy je nutno provést kontrolu uzavírací síly a maximálního objemového zdvihu žneku vstřikovacího stroje.

Celková plocha průmětů dutin a rozváděcích kanálů do dělící roviny formy S se vypočítá ze vzorce:

$$S = n \cdot S_1 + S_2, \quad (1)$$

kde n je násobnost formy, S_1 je plocha průmětu výstřiku do dělící roviny formy v mm^2 a S_2 je plocha průmětů rozváděcích kanálů do dělící roviny formy v mm . Určení plochy rozváděcích kanálů S_2 se provádí podle nomogramu v literatuře /9/ na obr.169, ze kterého se určí šířka rozváděcího kanálu s podle popsaného postupu. Plocha rozváděcích kanálů S_2 se určí ze vzorce:

$$S_2 = s \cdot L, \quad (2)$$

kde s je šířka rozváděcích kanálů v mm a L je délka rozváděcích kanálů v mm určená z nákresu rozmístění tvářecích dutin.

Potřebná uzavírací síla F se vypočítá:

$$F = S \cdot \sigma_{r2}, \quad (3)$$

kde S je celková plocha dutin a rozváděcích kanálů podle vztahu (1) a σ_{r2} je tlak taveniny ve formě, který je úměrný vstřikova-

címu tlaku stroje, druhu vstřikovaného plastu, typu vstřikovací soustavy a tvaru a členitosti výstřiku. Vypočítaná uzavírací síla F se porovná s maximální uzavírací silou zvoleného stroje F_{max} podle vztahu:

$$F = 0,9 \cdot F_{max} \quad (4)$$

Objem výstřiků a rozváděcích kanálů se vypočítá:

$$V = n \cdot V_1 + V_2, \quad (5)$$

kde n je násobnost, V_1 je objem výstřiku v cm^3 a V_2 je objem rozváděcích kanálů v cm^3 . Objem výstřiků a rozváděcích kanálů V nesmí být větší než maximální zdvihový objem šneku zvoleného vstřikovacího stroje V_{max} . Doporučuje se, aby objem V byl o 10% až 30% menší:

$$V = 0,7 \text{ až } 0,9 \cdot V_{max}. \quad (6)$$

Nesplňují-li vypočtené hodnoty F a V podmínky rovnic (4) a (6) je nutno zvolit jiný typ vstřikovacího stroje nebo změnit násobnost formy a výpočet F a V opakovat /9/.

Na základě uvedených podkladů byly provedeny výpočty pro jednotlivé výrobky. Údaje potřebné pro volbu nástroje jsou uvedeny v tab. č. II.

4.1 Zaformování výrobku - páka

Zaformování výrobku páky (obr. 5d) je provedeno na obr. 6 v měřítku 1:2. Navrhujeme desetinásobný dvoudeskový nástroj s mechanickým vyhazováním. Je použito rozvětveného vtokového systému s bočním ústím. Proti hlavnímu vtokovému kanálu je umí-

Tab. č. II Údaje potřebné pro volbu nástroje

Název výrobku	Násobnost n	Šířka rozdávčích kanálů s /mm/	Typ stroje
Páka	10	6,5	CS 88/63
Pouzdro brzdy	10	6,5	CS 88/63
Kolík brzdy	4	6,5	CS 88/63
Vložka	10	6,5	CS 88/63

stěn nálitek, který při otevření nástroje umožňuje vytržení vtokového zbytku z vtokové vložky. Výstřiky i vtokový zbytek jsou vyhazovány současně, výstřiky každý dvěma a vtokový zbytek jedním středovým a dvěma bočními válcovými vyhazovači. Dva tvarové kolíky vytvářejí v každém výstřiku dva otvory. Obdobné řešení je v literatuře /8/ na obr. 2.29 na straně 41 a v literatuře /9/ na obr. 88 na straně 133. Dále doporučujeme použití normalizovaného rámu a stavebnicových součástí systému RAFO podle literatury /9/.

4.2 Zaformování výrobku - pouzdro brzdy

Zaformování výrobku pouzdra brzdy (obr. 5b) je provedeno na obr. 7 v měřítku 1:1. Navrhujeme, podobně jako u předchozího výrobku, desetinásobný dvoudeskový nástroj s mechanickým vyhazováním. Je rovněž použito rozvětveného geometricky vyváženého vtokového systému s bočním ústím. Výstřiky jsou válcového tvaru s vybráním, které vytvoří tvarová vložka tvárnice. Výstři-

ky jsou vyhazovány třemi válcovými vyhazovači, které mají zároveň funkci vracecích kolíků. Vtokový zbytek je vyhazován dvěma bočními vyhazovači a jedním středovým, který působí na přídržovací nálitek. Obdobné řešení je v literatuře /8/ na obr. 2.29 na straně 41. V tomto případě také doporučujeme použít normalizovaný rám a stavebnicové součásti systému RAFO podle literatury /9/.

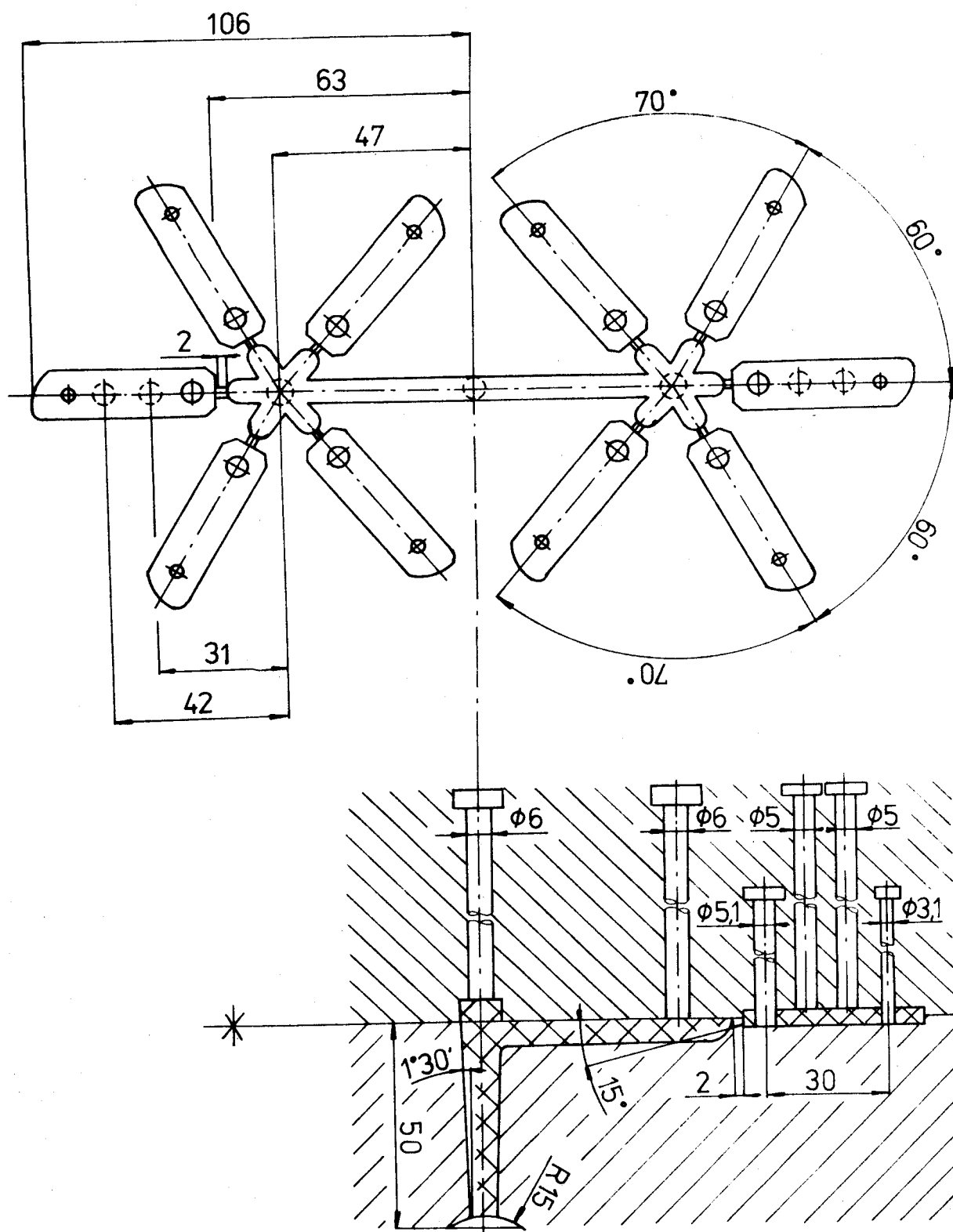
4.3 Zaformování výrobku - kolík brzdy

Zaformování výrobku kolíku brzdy (obr. 5c) je provedeno na obr. 8 v měřítku 1:1. Navrhujeme čtyřnásobný dvoučelistový nástroj s ovládáním čelistí dvěma programovými kolíky, pro každou čelist jeden. Kolíky jsou ukotveny v pevné části nástroje a při otvírání formy rozevírají čelisti v pomocné dělicí rovině kolmé na rovinu základní. Čelisti jsou opatřeny tvarovými kolíky, které vytvářejí ve výstřicích otvory. Programové kolíky mají dvojí program. Šikmá část umožňuje rozevření čelistí a najetím čelistí do druhého ohnutí programových kolíků se vymezuje a fixuje poloha čelistí při rozevření. Výstřiky jsou vyhazovány každý dvěma válcovými vyhazovači, vtokový zbytek je vyhazován jedním středovým vyhazovačem. Obdobné řešení nástroje je v literatuře /8/ na obr. 2.54 na straně 71.

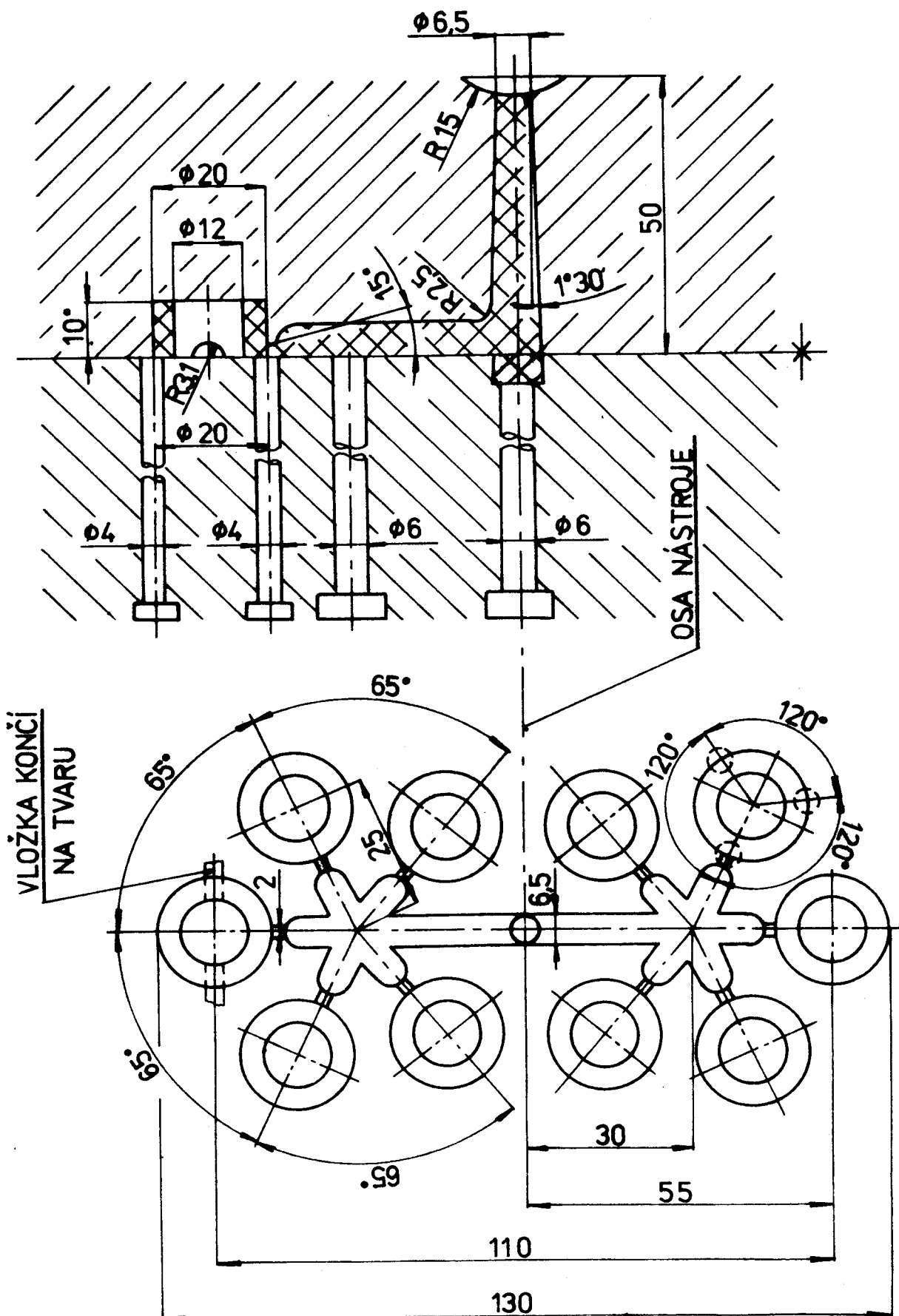
4.4 Zaformování výrobku - vložka

Zaformování výrobku vožky (obr. 5a) je provedeno na obr. 9 v měřítku 1:1. Jedná se o desetinásobný nástroj se stírací deskou a stíracími kroužky. Při otvírání nástroje dojde nej-

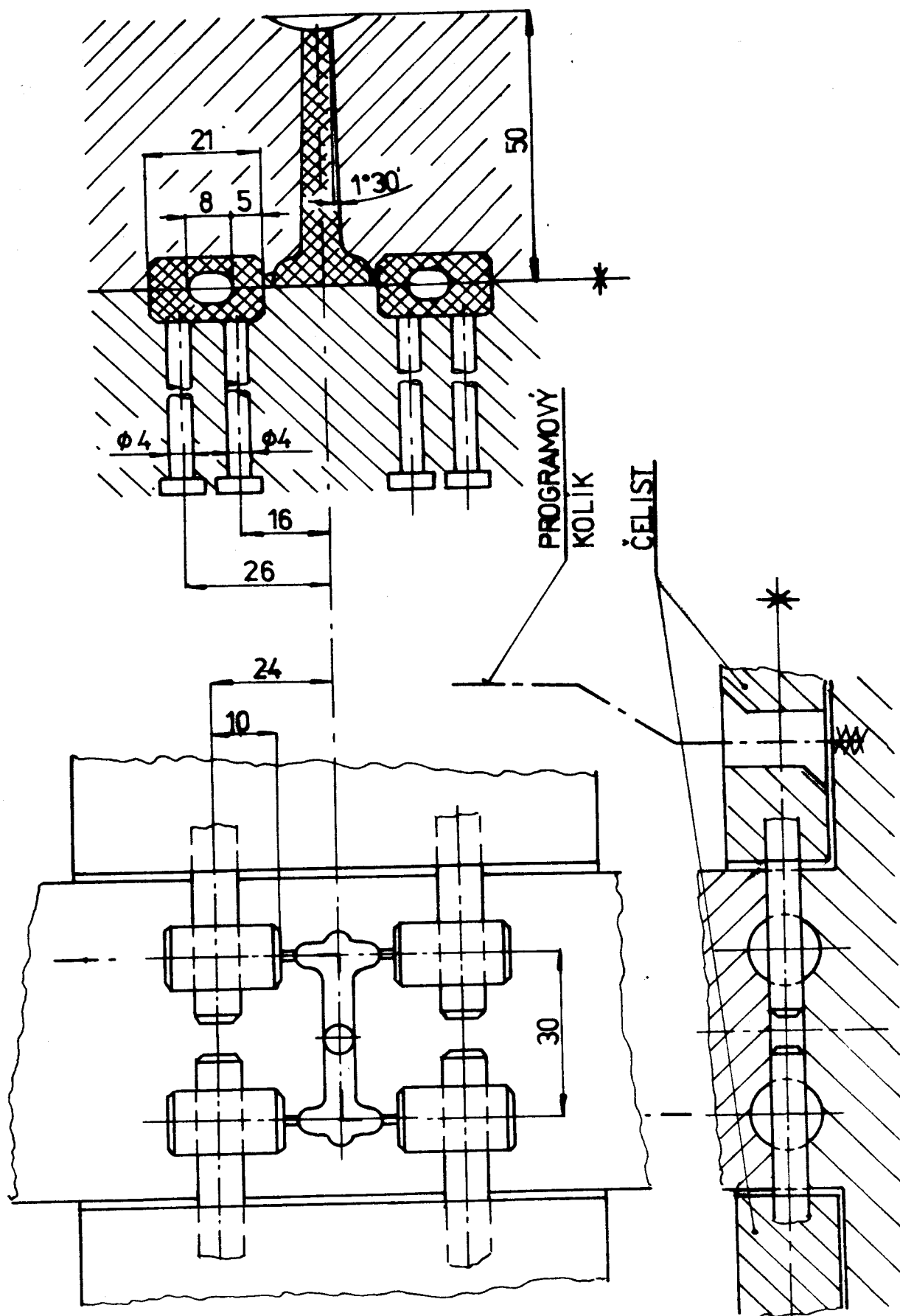
prve k vytržení vtokového zbytku z vtokové vložky pomocí při-
držovače vtokového zbytku a po nárazu vyhazovací desky na pev-
ný doraz stroje dojde k setření výstřiků a rozvětveného vtoko-
vého zbytku současně. Tvar a otvor výrobku vytváří tvarový ko-
lík ukotvený v levé kotevní desce nástroje. Obdobné řešení je
v literatuře /9/ na obr. 108 na straně 148.



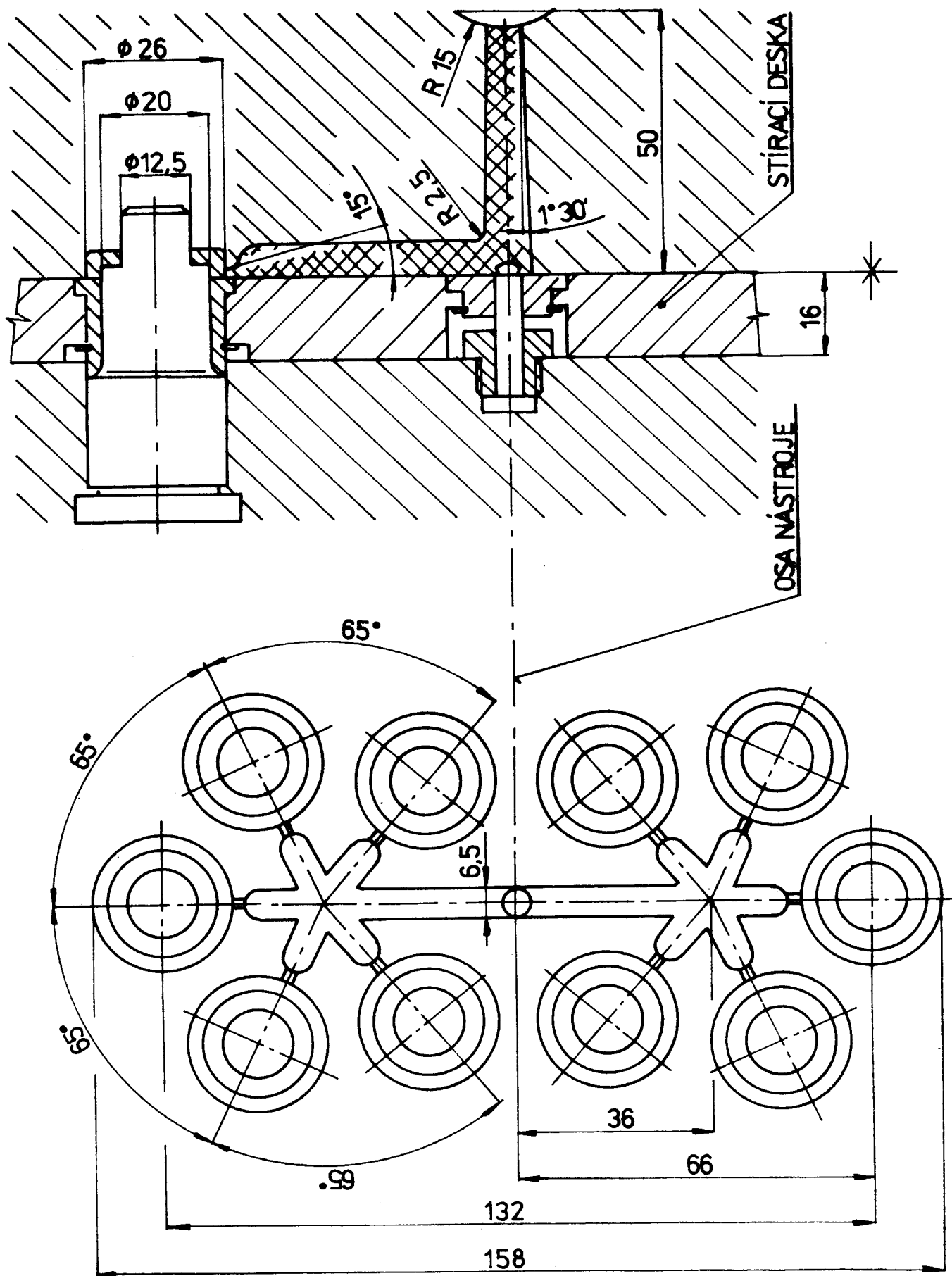
Obr. 6 Zaformování výrobku - páka



Obr. 7 Zaformování výrobku - pozdro brzdy



Obr. 8 Zaformování výrobku - kolík brzdy



Obr. 9 Zaformování výrobku - vložka

Úkolem této části je porovnat mechanické vlastnosti plastů plněných SV s neplněnými v podmínkách dlouhodobého zatížení. Porovnání bylo provedeno pomocí modulu tečení v tahu $E_c(t)$ zjištěného z dlouhodobé zkoušky tečení při namáhání v tahu dle ČSN 64 0621.

5.1 Podstata dlouhodobé zkoušky v tahu

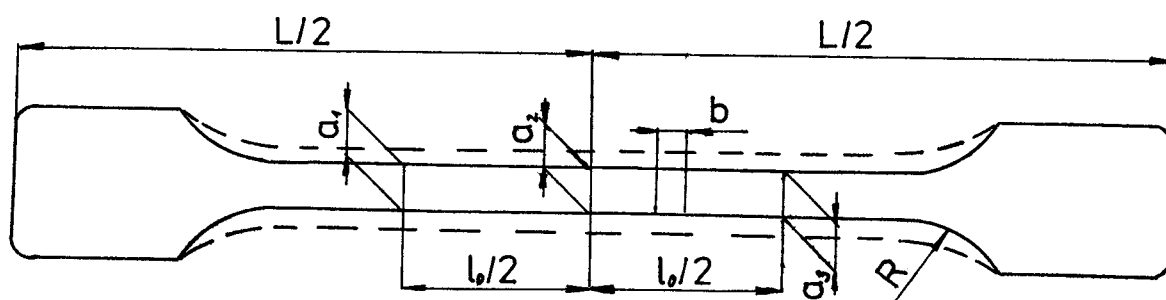
Zkouška spočívá v namáhání zkušebního tělesa konstantním jednoosým tahovým zatížením při konstantní teplotě a vlhkosti /3/. Sleduje se vzrůst deformace zkušebního tělesa a naměřené hodnoty se obvykle převádějí do pracovních diagramů. Získané údaje představují podklady pro konstrukci a pevnostní kontrolu součástí dlouhodobě namáhaných.

Dlouhodobé zkoušky poskytují mnohem více informací o materiálu než tzv. krátkodobé zkoušky a poskytují tedy úplnější podklad pro konstrukci a použití plastu na namáhanou součást. Ani tyto údaje však nelze považovat za úplné podklady pro konstrukci. Zkušební těleso představuje ve značné míře idealizaci posuzovaného materiálu. Proto nejmodernější směry výzkumu materiálu používají zkušební metody na modelových zkušebních tělesech nebo na hotových výrobcích.

5.2 Postup zhotovení zkušebních těles

Pro dlouhodobou zkoušku v tahu byla použita tělesa podle

ČSN 64 0605 typu 2 vstříkovaná na lisu CS 88/63 umístěném v dílnách KPT-VŠST. Frézováním jsou upravena tak, že se šířka pracovní části zmenšila na polovinu (obr. 10). Původní rozměr průřezu nedovoloval při zatížení, které je možno na zkušebním zařízení vyvodit, dosáhnout zaznamenanatelného prodloužení zkušebního tělesa /4/. Proto bylo nutno zmenšit průřez zkušebního tělesa i když tím došlo k porušení struktury výstřiku, které obráběním nastalo.



Obr. 10 Zkušební těleso

5.3 Charakteristika zkoušeného materiálu

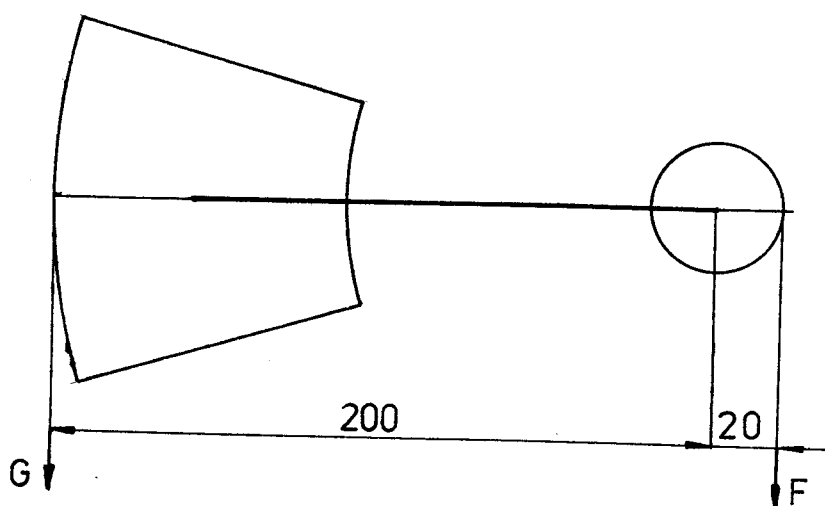
Polyamidy jsou semikrystalické termoplasty s krystalickým podílem 20 až 40%. Jsou tuhé, pevné, tažné, s výraznou mezí kluzu a vysokou rázovou a vrutovou houževnatostí, mají sklon ke křípu a relaxaci napětí. PA mají vysokou odolnost proti otěru a poměrně nízký součinitel tření za sucha. Zpracovatelnost PA je velmi dobrá, tavenina má vysokou tekutost, ale rychle tuhne. Jednotlivé typy PA se označují číslicemi, které udávají počet uhlíkových atomů ve výchozích monomerech /2/.

Pro dlouhodobou zkoušku v tahu byl použit materiál Spolamid výrobce Spolana Neratovice a PA 6 plněný 30% SV - Silamid 30 SV výrobce PCHZ Žilina.

SV jsou vystužujícím plnivem, zvyšují tuhost a pevnost v tahu a snižují tažnost a houževnatost. Smrštění při vstřikování se zmenšuje, avšak vlákna způsobují anizotropii smrštění. Snižuje se sklon ke krípu. Roste rozměrová přesnost a tvarová a rozměrová stabilita výrobků. Tekutost taveniny se snižuje. Uvedené změny jsou tím výraznější, čím větší je podíl plniva v polymeru /2/.

5.4 Popis zkušebního zařízení

Zkušební zařízení vyrobené v dílnách KPT-VŠST určené pro dlouhodobou zkoušku v tahu je šestimístné. Tvoří je rám, který nese zatěžovací systém a vodící tyč optického systému. Zařízení je izolováno od okolí deskami z pěnového polystyrenu a vytápěno plošným odporovým článkem. Přední stěna je z polymetylmetakrylátu. Rám zkušebního zařízení je svařen z tenkostěnných čtvercových a U profilů. Zatěžování je nepřímé, přes pákový převod v poměru 10:1 (obr. 11). V ose zkušebního tělesa působí síla



Obr. 11 Princip nepřímého zatěžování

10 krát větší, než jakou vyvozuje závaží. Současné zatížení

všech těles umožňuje tyč pohyblivě uložená pomocí čepu vedeného v pouzdře, které je součástí rámu. Zkušební tělesa jsou upnuta do naklápěcích čelistí. Spodní čelisti jsou upevněny na spodním nosníku rámu maticemi, kterými je možno měnit polohu čelistí. Horní čelisti přenáší zatížení na zkušební tělesa přes lanko, které zajistí totožnost směru působící síly a osy zkušební tělesa.

Deformace zkušební tělesa se měří pomocí optického zařízení s nitkovým křížem. Ve vertikálním směru se okulár posouvá pomocí šroubu. Tento pohyb sleduje setinový úchylkoměr. Vložením měrky o délce 50 mm do ryby pod úchylkoměr lze měřit polohu dolních rysek zkušebních těles, horní rysky se měří přímo. Mezi jednotlivými vzorky se optické zařízení pohybuje po vodící tyči s drážkou.

Plošný odporový článek tvoří dřevěná deska, na které je připevněna topná spirála z konstantanu o měrném odporu $0,5 \Omega/\text{m}$. Výkon topné spirály lze nastavit regulačním autotransformatorem RA 10. Regulace teploty je zajištěna teploměrem Vertex se rtuťovým relé MRK 15 /4/.

5.5 Postup zkoušky a způsob zpracování výsledků

Před zkouškou byl odstraněn vtokový zbytek výstřiků a pomocí vrtacího přípravku se vyvrtaly otvory na obou stranách zkušebních těles. Otvory slouží k upnutí těles pomocí šroubů do čelistí zkušebního zařízení. Šířka a tloušťka zkušebních těles byla proměřena na třech místech po měřené délce l_0 (obr.10).

Rozměry jednotlivých těles jsou uvedeny v tab. č. III. Měřená délka 50 mm se vyznačila lepicí páskou. Po upnutí do zkušební-
ho zařízení je nutno znovu změřit referenční vzdálenost a tuto
hodnotu zaznamenat jako počáteční délku l_0 . Čas uvolnění záva-
ží se zapíše jako čas $t = 0$. Potom se v určitých časových in-
tervalech provádí měření. Změna měřené délky se sleduje pomocí
optického zaměřovače se setinovým úchylkoměrem. Výsledkem zkou-
šky jsou hodnoty prodloužení zkušebních těles, které spolu s ho-
dnou zatížení slouží k určení modulu tečení v tahu:

$$E_c(t) = \frac{\sigma}{\varepsilon(t)}, \quad (7)$$

kde σ je napětí v MPa, $\varepsilon(t)$ je poměrné prodloužení, které
se vypočítá ze vztahu:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l}{l}, \quad (8)$$

kde $\Delta l = l - l_0$ je prodloužení v mm, l je měřená délka zku-
šebního tělesa v daném časovém okamžiku zkoušky v mm a l_0 je
počáteční délka zkušebního tělesa v mm.

Jmenovité napětí σ v MPa se vypočítá:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (9)$$

kde S je průřez zkušebního tělesa v mm^2 a F je síla v N, která
se vypočítá:

$$F = m \cdot g \cdot k, \quad (10)$$

kde g je tíhové zrychlení v $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, $k = 10$ je převodová
konstanta vyplývající z nepřímého zatěžování zkušebních těles
a $m = m_1 + m_2$ je hmotnost v kg, kde m_1 je hmotnost závaží
a $m_2 = 0,448$ kg je hmotnost závěsu.

Vyjádřením výsledků dlouhodobých zkoušek v tahu jsou křivky závislosti modulu tečení v tahu na čase /4/.

5.6 Vyhodnocení zkoušky a diskuse výsledků

Celkem byly provedeny dvě zkoušky při různém zatížení. Zkouška č. 1 byla provedena na šesti vzorcích při zatížení závažím 8,280 kg, což dle vztahu (10) odpovídá zatěžující síle $F = 856,22 \text{ N}$. Pro zkoušku č. 2 bylo použito závaží hmotnosti 11,205 kg, což odpovídá síle 1 143,16 N, a protože nebylo k dispozici potřebné množství závaží, byla zkouška provedena pouze na pěti vzorcích. V průběhu zkoušky došlo nejprve k přetržení lanka, které přenášelo zatížení na vzorek VI/3, potom přetržení vzorku VIII/3 mimo pracovní část. V souladu s normou /3/ byly oba vzorky z měření vyloučeny.

Měření proběhlo na vzorcích dvojího druhu: vzorky z PA plněného 30% SV (skupiny X, XII a XIII) a z PA neplněného (skupiny V, VI a VIII), vstříkovaných za různých technologických podmínek.

Cílem zkoušek bylo navodit stav dlouhodobého zatížení, které by odpovídalo dlouhodobému zatížení za provozu, a ověřit dlouhodobé mechanické vlastnosti PA, které by potvrdily vhodnost jeho použití na dlouhodobě namáhané funkční součásti.

Výsledky zkoušek jsou vyjádřeny formou křivek závislosti modulu tečení v tahu na čase v logaritmických souřadnicích. Na obr. 12 křivka závislosti $E_c(t) - t$ pro neplněný PA a na

obr. 13 pro PA plněný 30% SV pro zkoušku č. 1. Obě skupiny vzorků vykazují prudký pokles $E_c(t)$ během prvních několika hodin zatížení (není zaneseno v grafické závislosti, protože není předmětem zkoumání), a výrazné snižování během prvního týdne. Linearizace mohla být provedena až od okamžiku, kdy se rychlost deformace vzorků snížila. V tomto časovém úseku se $E_c(t)$ pohybuje v rozmezí hodnot 2 600 až 9 000 MPa pro plněný PA a 2 400 až 4 000 MPa pro neplněný. Rozptyl hodnot je způsoben tím, že každý vzorek je zástupcem jiné skupiny technologických podmínek.

Při zkoušce č. 2 bylo použito o třetinu větší zatížení než při zkoušce č. 1. Ve sledovaném časovém období jednoho měsíce byla rychlost deformace příliš velká, jak je patrné z grafické závislosti $E_c(t) - t$ na obr. 14, takže nebylo možné závislost linearizovat. Pro porovnání jsou uvedeny závislosti $E_c(t) - t$ u obou zkoušek ve shodném měřítku. Zatížení pro dané časové období při zkoušce č. 2 bylo příliš velké a z časových důvodů nebylo možno zkoušku prodloužit.

Je pravděpodobné, že výsledky zkoušek byly zkresleny, protože nebylo možno zajistit v průběhu zkoušek stálou relativní vlhkost vzduchu (50 ± 5 %), jak předepisuje norma /3/. K ovlivnění výsledků došlo také tím, že vzorky byly ofrézovány na menší rozměr, čímž byla porušena struktura výstřiku. Důkazem toho je přetržení vzorku VIII/3 mimo pracovní část v oblasti poloměru R (obr. 10). Upínací čelisti zkušebního zařízení mají zajistit namáhání vzorku prostým tahem, avšak lanko zajišťující přenos síly se roztáčelo a tím způsobilo natočení upína-

cích čelistí. Zkušební tělesa byla tedy namáhána i na krut. Další chyby nastaly při měření délky vzorků. Okulár optického zaměřovače nelze zaostřit, proto bylo mnohdy velmi problematické ztotožnit osu nitkového kříže s rozhraním označujícím měřenou délku. Nejmodernější zkušební zařízení jsou opatřena automatickým zapisovačem deformace, který převádí mechanické prodloužení na elektrický signál. Pro stávající zařízení v dílnách KPT-VŠST by bylo výhodné zajistit posuv okuláru i v horizontálním směru, což by zajistilo zaostření na rozhraní měřené délky. Tato úprava by zjednodušila a zpřesnila měření.

Tab. č. III Rozměry zkušebních těles

	V/1	V/2	VI/1	VI/3	VIII/1	VIII/3	X/1	X/2	XII/1	XII/2	XIII/1
a ₁	5,22	5,36	5,33	5,10	5,05	5,12	4,78	5,05	5,10	5,18	4,88
a ₂	5,20	5,33	5,27	5,02	5,08	5,07	4,92	5,02	5,12	5,22	4,88
a ₃	5,14	5,36	5,21	4,99	5,09	4,91	4,99	4,93	5,03	5,10	4,87
$\bar{a}$	5,19	5,35	5,27	5,04	5,07	5,03	4,90	5,00	5,08	5,17	4,88
b ₁	3,96	4,09	4,17	3,96	3,98	3,94	3,91	3,91	3,90	3,90	3,94
b ₂	3,97	4,00	4,07	3,97	4,01	3,94	3,95	3,92	3,92	3,95	3,97
b ₃	3,98	3,97	3,97	3,99	4,01	3,92	3,92	3,92	3,88	3,97	3,94
$\bar{b}$	3,97	4,02	4,07	3,97	4,00	3,93	3,93	3,92	3,90	3,94	3,95

Tab. č. IV Hodnoty l_0 , S , σ - zkouška č. 1

číslo vzorku	l_0 /mm/	S /mm ² /	σ /MPa/
XII/1	49,73	19,82	43,19
XIII/1	49,70	19,26	44,45
X/1	49,48	19,23	42,19
VIII/1	49,59	20,29	42,19
VI/1	49,70	21,45	39,92
V/1	50,11	20,59	41,58

Tab. č. V Hodnoty l_0 , S , σ - zkouška č. 2

číslo vzorku	l_0 /mm/	S /mm ² /	σ /MPa/
XII/2	49,84	20,37	56,12
X/2	49,87	19,16	58,32
VIII/3	50,16	19,77	57,83
VI/3	50,31	20,01	57,13
V/2	50,38	21,51	53,15

Tab. č. VI Naměřené hodnoty l a vypočtené hodnoty $\varepsilon(t)$ a $E_c(t)$ - zkouška č. 1

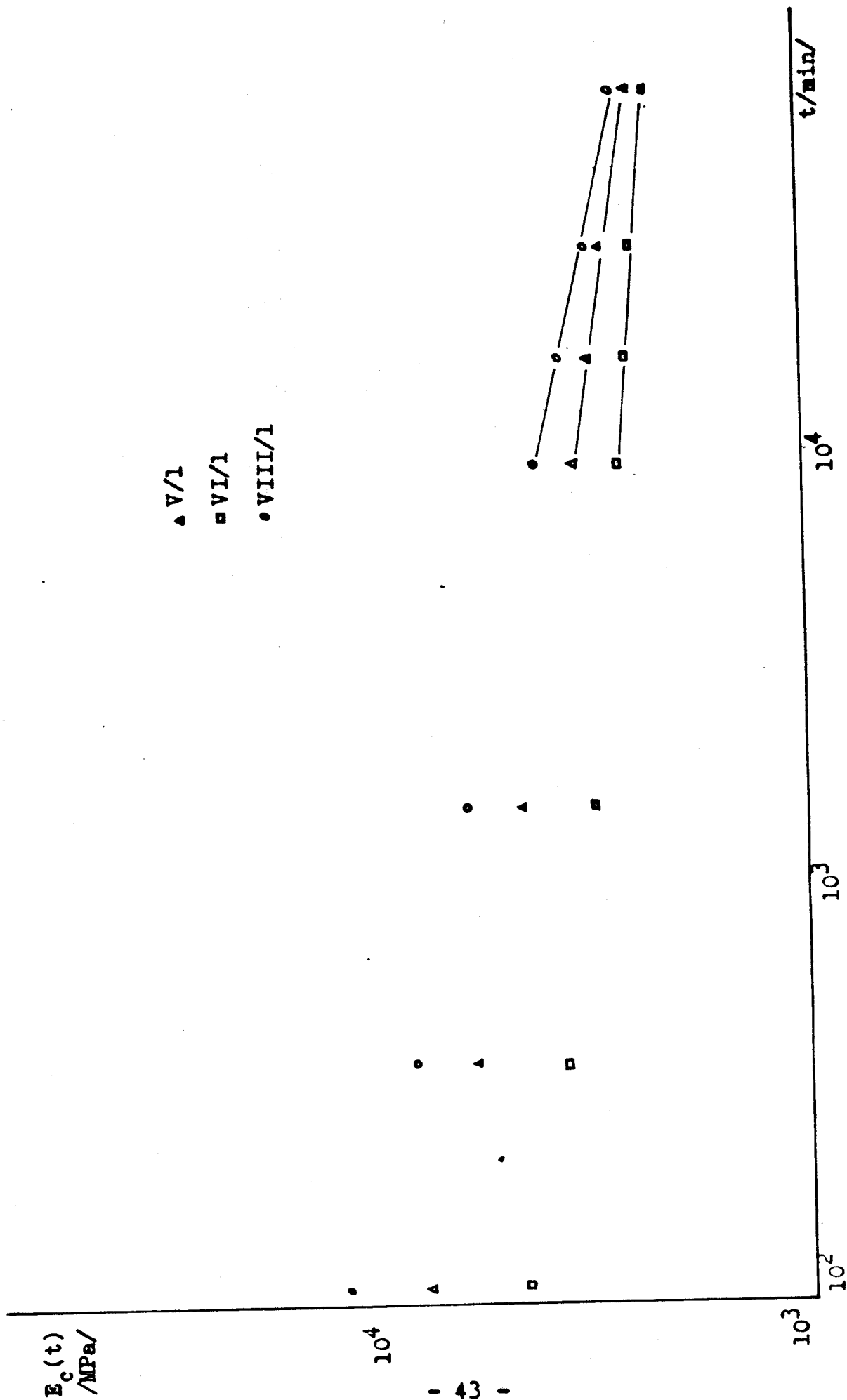
t /min/	XII/1			XIII/1			X/1		
	l /mm/	$\varepsilon(t)$ $\cdot 10^{-3}$	$E_c(t)$ /MPa/	l /mm/	$\varepsilon(t)$ $\cdot 10^{-3}$	$E_c(t)$ /MPa/	l /mm/	$\varepsilon(t)$ $\cdot 10^{-3}$	$E_c(t)$ /MPa/
110	49,86	2,614	16 522,6	49,73	0,603	73 714,8	49,64	3,234	13 769,3
365	49,90	3,418	12 636,0	49,79	1,810	24 558,0	49,66	5,255	8 473,8
1 475	49,98	5,027	8 591,6	49,85	3,018	14 728,3	49,88	8,084	5 508,4
9 005	50,17	8,848	4 881,3	49,96	4,625	9 610,8	50,05	11,519	3 865,8
16 010	50,24	10,255	4 211,6	50,00	5,429	8 187,5	50,10	12,530	3 553,9
29 150	50,34	12,266	3 521,1	50,04	6,234	7 130,3	50,15	13,540	3 288,8
66 260	50,47	14,880	2 902,6	50,09	7,847	5 664,6	50,26	15,763	2 285,0

Tab. č. VII Naměřené hodnoty I a vypočtené hodnoty $\varepsilon(t)$ a $E_c(t)$ - zkouška č. I

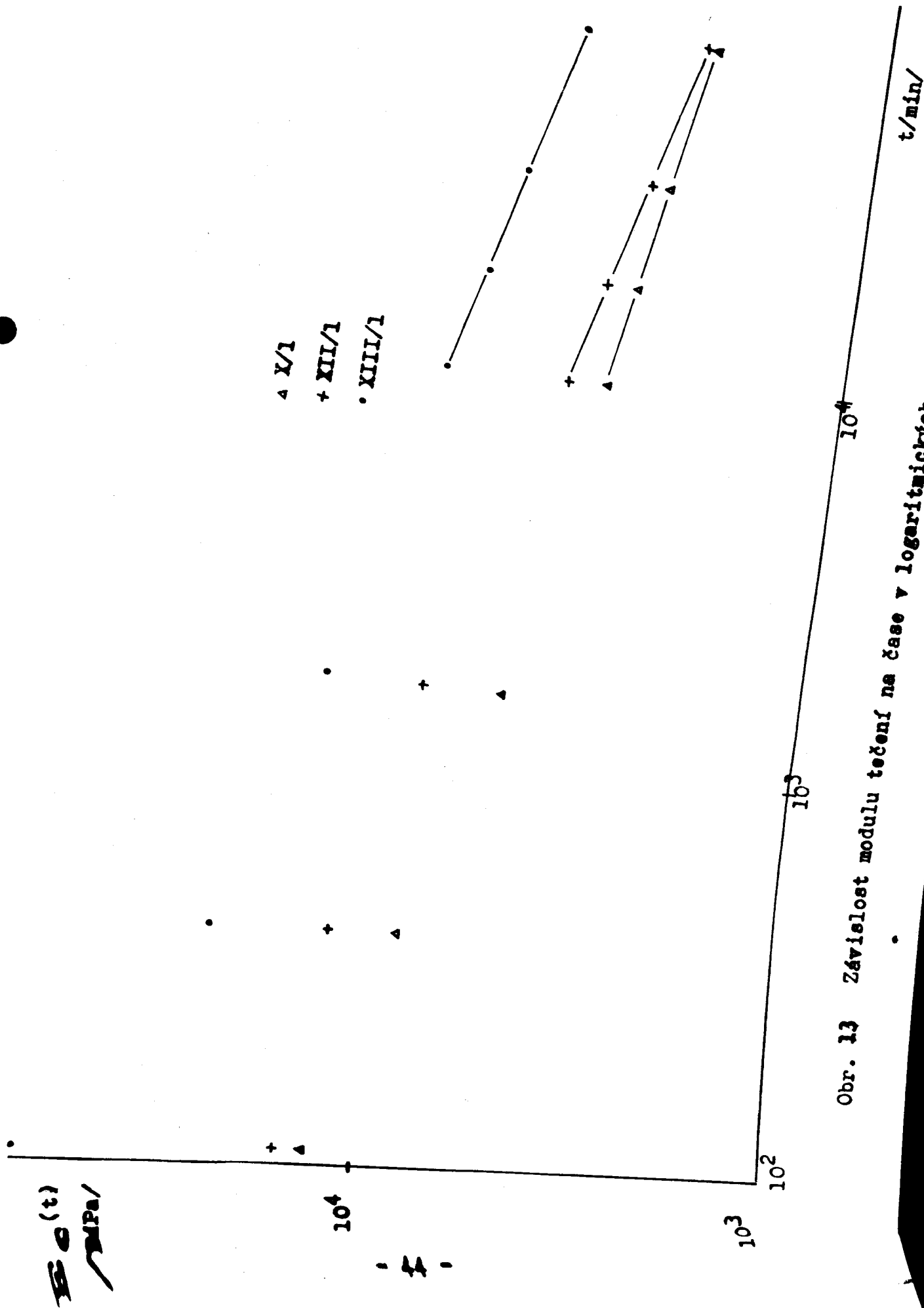
t /min/	VIII/1			VI/1			V/1		
	l /mm/	$\varepsilon(t)$ $\cdot 10^{-3}$	$E_c(t)$ /MPa/	l /mm/	$\varepsilon(t)$ $\cdot 10^{-3}$	$E_c(t)$ /MPa/	l /mm/	$\varepsilon(t)$ $\cdot 10^{-3}$	$E_c(t)$ /MPa/
110	49,76	3,428	12 307,5	50,12	8, 451	4 723,7	50,37	5,189	8 013,1
365	49,84	5,041	8 369,4	50,22	10,462	3 815,7	50,45	6,785	6 128,2
1 475	49,92	6,655	6 339,6	50,33	12,676	3 149,3	50,55	8,781	4 735,2
9 005	50,07	9,679	4 358,9	50,43	14,688	2 717,9	50,71	11,973	3 472,8
16 010	50,16	11,494	3 670,6	50,45	15,090	2 645,5	50,75	12,771	3 255,8
29 150	50,26	13,510	3 122,9	50,48	15,694	2 543,6	50,80	13,769	3 019,8
66 260	50,36	15,527	2 717,2	50,57	17,505	2 280,5	50,92	16,164	2 572,4

Tab. č. VIII Naměřené hodnoty I a vypočtené hodnoty $\varepsilon(t)$ a $E_c(t)$ - zkouška č. 2

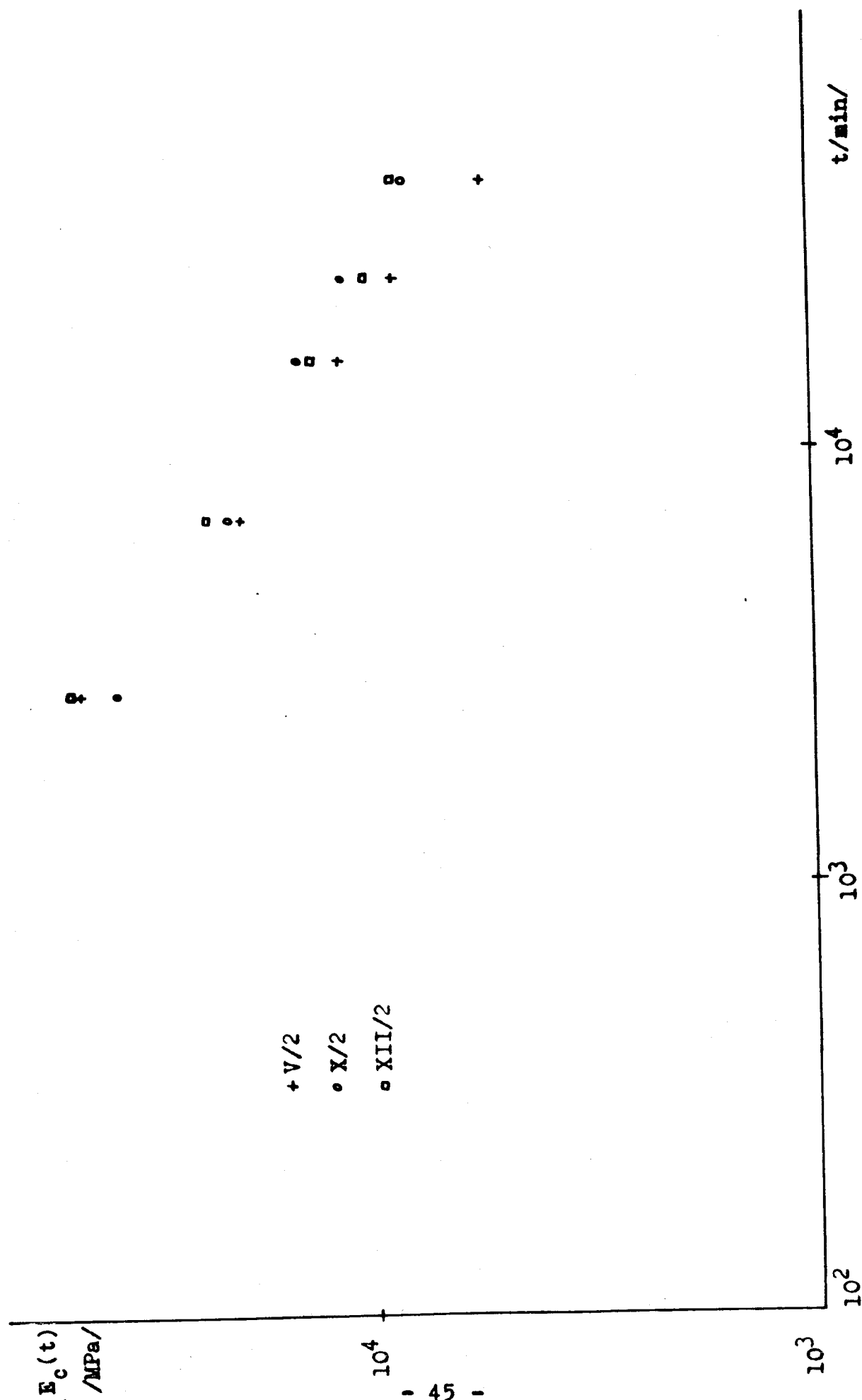
t /min/	V/2			X/2			XII/2		
	l /mm/	$\varepsilon(t)$ $\cdot 10^{-3}$	$E_c(t)$ /MPa/	l /mm/	$\varepsilon(t)$ $\cdot 10^{-3}$	$E_c(t)$ /MPa/	l /mm/	$\varepsilon(t)$ $\cdot 10^{-3}$	$E_c(t)$ /MPa/
2 810	50,44	1,191	44 628	49,98	2,206	36 355	49,90	1,204	46 617
7 215	50,52	2,779	19 126	50,01	2,807	20 774	49,96	2,408	23 309
15 890	50,61	4,565	11 642	50,07	4,010	14 542	50,07	4,414	12 714
24 430	50,70	6,352	8 368	50,13	5,214	11 185	50,12	5,618	9 989
40 645	50,89	10,123	5 250	50,22	7,018	8 310	50,16	6,429	8 741



Obr. 12 Závislost modulu tečení na čase v logaritmických souřadnicích



Obr. 13 Závislost modulu tečení na čase v logaritmických souřadnicích



Obr. 14 Závislost modulu tečení na čase v logaritmických souřadnicích

Diplomová práce byla zpracovávána v souvislosti s vývojem bezvřetenového doprřádacího stroje BDA 20 v k.p. Ústí nad Orlicí. Podnik má dlouholetou tradici a v současné době vyváží textilní stroje do 40 zemí světa.

Diplomová práce měla za úkol vybrat výrobky vhodné pro náhradu kovového materiálu plastem, řešit úpravu jejich tvaru, navrhnout typ vstřikovacích nástrojů pro jejich výrobu a ověřit dlouhodobé mechanické vlastnosti navrženého materiálu. Formou projektu je zde naznačeno řešení komplexního problému náhrady kovových materiálů plasty. Vybrané výrobky jsou funkčními částmi brzdy navíjecích ramen, je proto nutné, aby navrhovaný materiál splňoval požadavky dlouhodobé pevnosti. K ověření dlouhodobých mechanických vlastností bylo provedeno orientační měření.

Dlouhodobá zkouška v tahu byla provedena na zkušebních tělesech, která představují idealizaci materiálu a při zatížení, které neodpovídá zatížení provoznímu. Přesto její výsledky naznačují, že Silamid 30 SV je vhodným konstrukčním materiálem pro dlouhodobě namáhané součásti. Pokud se v provozních podmínkách ověří správnost tohoto řešení, znamenalo by to při předpokládané roční sérii 60 000 kusů značné úspory pracnosti a zvýšení produktivity práce při přiměřených nákladech. Navrhované nástroje lze sestavit se součástí systému RAFO, což sníží náklady na jejich výrobu. Navrhovaný materiál Silamid 30 SV je dostupný, protože je domácí výroby. Pokud by v budoucnu došlo k celoplastovému řešení brzdy navíjecích ramen, lze předpokládat, že funkční části zůstanou beze změny, řešení je tedy perspektivní.

PODĚKOVÁNÍ

Závěrem děkuji vedoucímu diplomové práce ing. Miloslavu Šafaříkovi a konzultantovi Karlu Křivonoskovi za odborné vedení a rady při vypracovávání diplomové práce. Pracovníkům dílen KPT - VŠST děkuji za pomoc při přípravě zkušebních těles.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. VOČADLO, M. : Technický rozvoj nových nekovových materiálů, Praha, 1980
2. KOLOUCH, J. : Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním, Praha, 1986
3. ČSN 64 0621
4. ILLICHMANOVÁ, A. : Vliv plniva a technologických podmínek vstřikovaného Silamidu na jeho dlouhodobou pevnost v tahu / Diplomová práce /, Liberec, 1987, VŠST
5. KALISKE, G. - SEIFERT, H. : Plaste und Kautschuk, 21, 1974, str. 524
6. KUPSA, P. : Návrh zkušební vstřikovací formy pro tažená tělesa z plněného PA a ověření její funkce / Diplomová práce /, Liberec, 1987
7. ČSN 64 0008
8. ŠAFAŘÍK, M. : Nástroje pro tváření kovů a plastů I. , Liberec, 1987
9. HENDRICH, J. - WEBER, A. - DOLEŽAL, J. : Standardizace rámů a součástí forem pro vstřikování termoplastů, Praha, 1986
10. JANČÍK, L. : Konstrukční řešení součástí z plastů. Sborník přednášek " Efektivní využívání plastických hmot v čs. strojírenství ", Plzeň, 1980
11. KREBS, J. : Teorie a technologie zpracování plastů, Liberec, 1981