

Vysoká škola: **strojní a textilní**

Katedra: **sklářství a keramiky**

Fakulta: **strojní**

Školní rok: **1975/76**

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro **Jaroslava A d a m a**

obor **04-1-04 Zaměření na sklářské stroje a zařízení**

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

Název tématu: **Stanovení podkladů pro konstrukci pil na řezání skla**

Pokyny pro vypracování:

Rozborem všech možností využití opracování skla nástroji s vázanými diamantovými zrny je patrné, že jednou ze tří hlavních oblastí, ve kterých se bude stále více užívat těchto nástrojů, je řezání. V současné době se na mnoha závodech sklářského průmyslu zavádí ruční i strojní řezání skleněných polotovarů. Nástroje se používají na starých strojních zařízeních.

Vaším diplomovým úkolem je stanovit základní parametry pro konstrukci pil na řezání skla pomocí nástrojů s vázanými diamantovými zrny.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ

Ústřední knihovna

LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5

PSČ 461 17

Autorské právo se řídí směrnici MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962 - Věstník MŠK XIV., sešit 24 ze dne 31. 8. 1962 č. 19 autorského zákona č. 115/63 Sb.

V 7 / 1976 S

Rozsah grafických laboratorních prací: **přibližně 40 stran textu doložených příslušnými grafy a tabulkami.**

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

**Opracování skla diamantovými nástroji.
Písemná část odborné zkoušky kandidátského minima Ing. J. Sixty.**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Josef S i x t a

Konsultanti:

Ing. Vladimír Klebsa, VŠST Liberec

Datum zahájení diplomové práce:

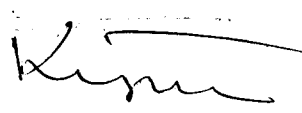
15. 10. 1975

Datum odevzdání diplomové práce:

31. 5. 1976

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
oblast strojího inženýrství
LIBEREC


Ing. Jaroslav Belda, CSc.
Vedoucí katedry


Doc. Ing. Oldřich Krejčíř, CSc.
Děkan

V Š S T Liberec

Fakulta strojní

obor 23 - 34 - 8

Výrobní stroje a zařízení

zaměření

sklářské a keramické stroje

Katedra sklářství a keramiky

STANOVENÍ PODKLADŮ PRO KONSTRUKCI PIL NA ŘEZÁNÍ SKLA

Jaroslav A D A M

Vedoucí práce : ing. Josef Sixta - VŠST Liberec

Konzultant : ing. Vladimír Klebsa - VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh :

Počet stran : 71

Počet příloh a tabulek : 13

Počet obrázků : 32

DT 666 . 1 . 053

31.5.1976

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

V Liberci dne 31.5.1976

Jaroslav Adam

O b s a h

Úvod	5
1. Teorie procesu řezání skla	7
1.1. Diamantový nástroj	9
1.1.1. Tělo nástroje	9
1.1.2. Geometrie pracovní části nástroje	10
1.1.3. Diamantové zrno	10
1.1.4. Pojivo	12
1.2. Obrobek	15
1.3. Okolní prostředí	15
1.4. Strojní zařízení	16
1.5. Silové vztahy při procesu řezání	17
2. Popis strojního a měřicího zařízení	20
2.1. Strojní zařízení	20
2.2. Měřicí zařízení	23
3. Vyhodnocení měření	27
3.1. Použitý materiál a nástroj	27
3.2. Popis měření	27
3.3. Stanovení velikosti vlivu jednot. faktorů	29
3.3.1. Metoda náhodné bilance	29
3.3.2. Výpočet opravných koeficientů	33
3.4. Závislost $F = f/v, p, z, k/$	37
4. Základní parametry pro konstrukci pil	64
4.1. Velikost řezné rychlosti	64
4.2. Velikost rychlosti do řezu	64
4.3. Velikost řezných sil	65
Závěr	67
Seznam použité literatury	70

Ú v o d

Prudký technický rozvoj v podmínkách vědeckotechnické revoluce je charakterizován růstem produktivity práce a zvýšenými požadavky na spolehlivost a trvanlivost výrobních zařízení. S tím souvisí vznik a vývoj nových konstrukčních materiálů, technologií jejich opracování a v předstihu také tvorba nástrojových materiálů.

Tento technický rozvoj zasáhl také sklářský průmysl, který kromě tradičních způsobů ručního a strojního tvarování skla /foukání, lisování, tažení, válcování/ začal také používat technologie třískového obrábění /broušení, frézování, vrtání, řezání/. Vhodným nástrojovým materiálem, který zajistí nejoptimálnější odolnost a trvanlivost nástroje, intenzitu obrábění, přesnost a jakost obráběného povrchu, je diamntové zrno. Toto zrno volně rozptýlené v pojivu tvoří pracovní /aktivní/ část diamantového nástroje. Zavedení obrábění skla diamantovými nástroji naráží na problémy zastaralého strojního parku na závodech. Protože obecná teorie broušení a obrábění skla není ještě dokonale propracována a vyžaduje další výzkumy, bývá často neekonomické.

Tato diplomová práce byla vypracována v rámci řešení státního úkolu "Diamant", který byl v roce 1975

ukončen. Výzkumný úkol byl řešen ve spolupráci se sovětským Ústavem vysoce tvrdých materiálů /Institut svěřčtvěrdých materialov AN/ v Kyjevě. Katedra sklářství a keramiky VŠST Liberec řešila dílčí operace řezání a vrtání skla dianástroji.

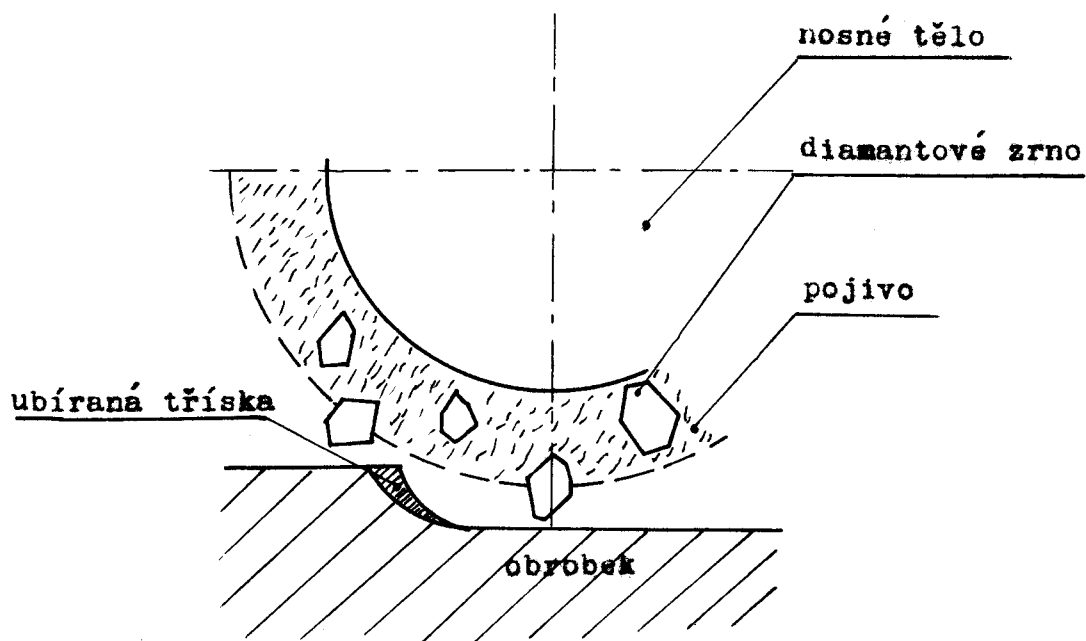
Úkolem diplomové práce je stanovit základní parametry pro konstrukci speciálních pil na řezání skla kotoučovými pilami s vázanými diamantovými zrny.

1. Teorie procesu řezání skla.

Technologie řezání listovými diamantovými pilami zahrnuje hlavně oblasti: řezání trub a tyčí, řezání bloků optického skla, řezání silnostěnného skla, úprava lisovaného zboží a odřezávání kopen.

Řezný pochod se odlišuje od ostatních druhů obrábění řadou zvláštností, které jsou patrné z obr. 1. /1/:

1. Nástroj nemá souvislý břit na povrchové přímce.
2. Tloušťka a šířka vrstvy ubírané brusným zrnem jsou na sobě nezávislé.
3. Tvar zrna je nepravidelný, vrcholy jsou často zaobleny a mívají i záporné řezné úhly.



Obr. 1 - Ubírání třísek jednotlivými zrnny.

4. Zrna jsou na pracovní ploše prostorově nepravidelně rozložena.
5. Pracuje se s velkými řeznými rychlostmi. Tím přichází do záběru velký počet zrn a nástroj odebere za časovou jednotku značné množství jemných třísek.
6. Každé zrno působí na povrchovou vrstvu také dynamicky, čímž se zvyšuje okamžitá řezná rychlost.
7. Na začátku pochodu, než se zrna zaříznou do materiálu, intenzívně kloužou po povrchu.

Proces řezání je ovlivňován velkým počtem faktorů. Je proto nutné vybrat z nich ty nejpodstatnější a stanovit jejich kvalitativní působení na řezný pochod. Základní rozčlenění faktorů lze provést na čtyři hlavní skupiny:

1. Nástroj - tvar nástroje, geometrie pracovní části, diamantové zrno, pojivo.
2. Obrobek - chemické a fyzikální vlastnosti, rozměry obrobku.
3. Okolní prostředí - teplota okolí, vlastnosti, množství, teplota a druh chladicí kapaliny.
4. Strojní zařízení.

V dalších kapitolách je proveden rozbor jednotlivých skupin faktorů.

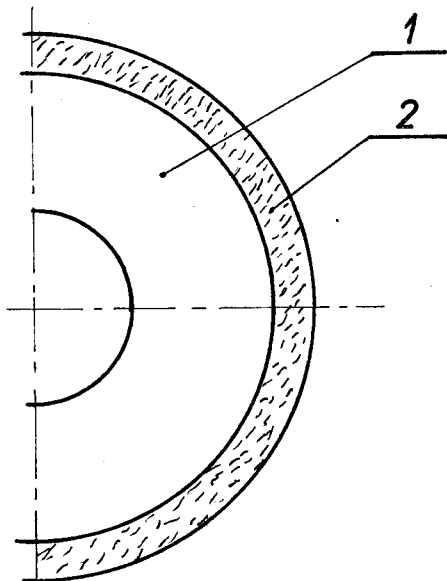
1.1. Diamantový nástroj.

Nástroj zaujímá nejpodstatnější místo při opracování skla. Jeho působení je charakterizováno třemi celky /1/, /10/:

1. Vlastní tělo nástroje včetně upínacího místa.
2. Geometrie pracovní části.
3. Složení pracovní části /zrno, pojivo/.

1.1.1. Tělo nástroje.

Tělo tvoří nosnou část pro aktivní vrstvu kotouče. Diamantový nástroj se skládá ze dvou částí /viz obr. 2/ - těla nástroje - 1 - a pracovní části - 2.



Obr. 2 - Diamantový nástroj

Rozměry a tvar těla vyplývají z použitelnosti nástroje pro různé druhy operací. Tělo musí být dostatečně pevné a tuhé, dynamicky vyvážené, musí zaručovat snadné a přesné upnutí na stroji, aby nedošlo k vyosení nástroje a tím i k rozkmitání.

Materiál těla musí během používání zachovávat svou rozměrovou stálost a vykazovat dostatečnou tepelnou vodivost a odolnost proti korozi.

1.1.2. Geometrie pracovní části nástroje.

Pracovní část tvoří aktivní vrstva obsahující diamantová zrna. Její tvar musí být v souladu s druhem operace. Aktivní vrstva na běžně používaných nástrojích bývá kompaktní nebo segmentová nebo vyrobená z tablet. Segmentové nástroje snesou větší řezné síly, mezery v aktivní části dovolují lepší přívod chladicí kapaliny a odvod od broušeného materiálu. Jsou cenově výhodné, protože diamantových zrn, zvyšujících cenu nástroje, je méně než v kompaktní vrstvě. Mají však kratší životnost.

1.1.3. Diamantové zrno.

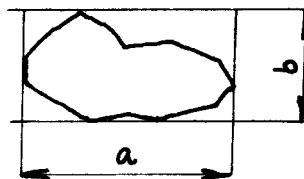
Diamantové zrno dává nástroji jeho řezné schopnosti. Podle původu může být buď přírodní nebo uměle vyrobené. Uměle získaná zrna nabývají stále většího významu, protože lze podle použité technologie měnit v určitém rozsahu jejich fyzikální vlastnosti. Tabulka 1. udává pevnost diamantových zrn v závislosti na velikosti /9/, vyrobených v SSSR pomocí řízení výrobního procesu.

Tabulka 1.

Rozměr základní frakce / μm /	Střední mechanická pevnost /N/				
	ACO	ACP	ACB	ACK	ACC
160 - 200	2,66	4,86	7,25	15,50	22,21
200 - 250	3,24	6,02	8,63	18,56	35,90
250 - 315	4,20	7,15	9,25	24,06	47,12

Pevnější zrna mají lepší řeznou schopnost, což se projeví při zvyšování tloušťky řezu. Jsou proto vhodná pro velké úběry skla, tzv. hrubování. Málo pevná zrna znamenají vyšší rozměrové opotřebení kotouče, ale mají vysokou samoostřicí schopnost.

Na řezný výkon a jakost obrobeného povrchu má vliv tvar a velikost zrna. Velikost zrna je určena zrnitostí, to jest rozsahem velikostí hlavní frakce / μm / /2/. S rostoucí zrnitostí roste úběr, ale klesá jakost povrchu. Při užití jemných zrn je povrch vynikající, provoz však je vlivem malého řezného výkonu neekonomický. Tvar zrna /obr. 3/ má také vliv na řeznou stálost pily. "Kulovitá" zrna /t.j. poměr a/b se blíží 1/ mají stálejší řeznou schopnost.



Obr. 3 - Tvar zrna

Počet zrn aktivní části se vyjadřuje relativním množstvím použitých diamantových zrn - koncentrací. Za stoprocentní koncentraci se považuje 0,88 g diazrn v 1 cm^3 , dříve 4,4 crt/ cm^3 . Běžně užívané koncentrace leží v oblasti 25 - 150%. Obecně platí: nástroje s vysokou koncentrací mají vysokou odolnost vůči opotřebení a vysoký řezný tlak, jsou výhodné pro malé styčné plochy. U nástrojů s nízkou koncentrací a stejné pevnosti vazby jako pro vyšší koncentraci roste možnost tzv. "zalepení" kotouče. Tabulka 2 udává přehled prakticky užívaných koncentrací.

1.1.4. Pojivo

Pojivo spojuje jednotlivá zrna aktivní vrstvy. Zároveň musí opotřebovaná zrna uvolnit a obnažit nová práce schopná. Proto u pojiva hraje roli: druh materiálu, jeho tvrdost, tepelná stálost, roztažnost a pevnost vazby mezi zrnem a pojivem. Pevností vazby se rozumí odpor

kladený pojivem proti vylomování opotřebovaných zrn. Tento proces vylamování se nazývá samoostření, které se stále opakuje až do spotřebování aktivní části nástroje.

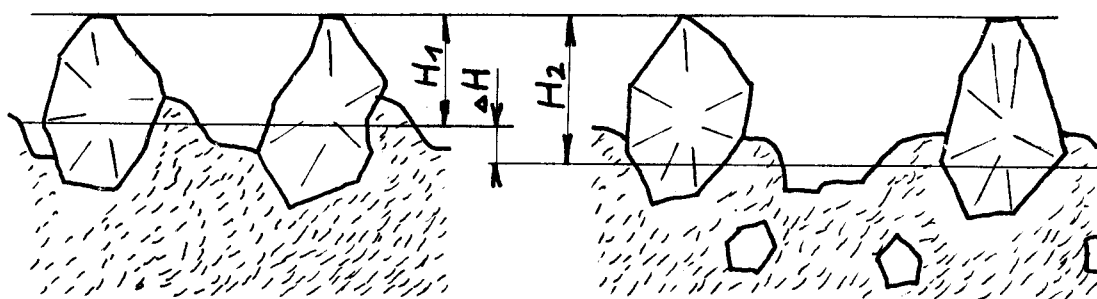
Tabulka 2.

Koncentrace - %	Obsah diazrn v /g/ v aktivní vrstvě o objemu		Objem diamantu ve vrstvě - %
	1 cm ³	1 m ³	
25	0,22	3,6	6,2
50	0,44	7,2	12,4
75	0,66	10,8	18,4
100	0,88	14,4	24,9
125	1,10	18,0	31,1
150	1,32	21,6	37,3
175	1,54	25,2	43,5
200	1,76	28,8	49,7
250	2,20	36,0	62,1

Nejčastěji užívaná pojiva jsou: organická, keramická a metalická. Pro opracování skla se používají převážně metalická pojiva na bázi mědi, hliníku, železa a jejich slitin. Pro dokončovací operace je vhodnější organické pojivo /pryž/.

Důležitou vlastností pojiva je schopnost úbytku. Úbytkem pojiva se obnažují nová zrna a obnovuje se řezná schopnost. Když k úbytku nedochází /t.j. nedocílí

sámoostření/, nástroj přestává pracovat a je nutné jej oživit speciálním nástrojem /SiC kotoučem ap./ Ostření pily je nevýhodné, protože váhové úbytky ostřením jsou podstatně větší než při vlastní práci. Vzájemná soudržnost mezi zrnem a pojivem musí být taková, aby k uvolnění opotřebovaného zrna došlo právě tehdy, když jeho řezací schopnost klesne /přitom roste teplota v místě styku a specifický tlak na zrno/.



Obr. 4 - Závislost velikosti řezného posuvu na pórovitosti pojiva

Pórovitost pojiva poněkud snižuje soudržnost zrna s pojivem, ale zároveň zvyšuje brusný výkon /viz obr. 4/

1.2. Obrobek.

Při procesu řezání je třeba vzít v úvahu chemické a fyzikální vlastnosti skla a rozměry obrobku. K chemickým pochodům při úběru materiálu prakticky nedochází, proto lze vliv složení skla charakterizovat fyzikálními vlastnostmi; hlavně tvrdostí a chováním při broušení. S rostoucí tvrdostí roste opotřebení kotouče a klesá úběr. Tvar a rozměry obrobku se negativně projeví při nedokonalém upnutí nebo při změně průřezu v místě řezu - narůstá řezný odpor.

1.3. Okolní prostředí.

Vliv teploty okolí a původ vedlejších kmitů jsou důležité při dokončovacích operacích. Přitom vedlejší kmity mohou ovlivnit měřicí zařízení při dnes nejběžnějším tenzometrickém měření řezných sil.

Hlavní úlohu v této skupině vlivů hraje chladicí prostředí. Chlazení je důležité, protože diamant při vyšších teplotách snadno oxiduje a klesá jeho pevnost a řezná schopnost. Použití chladicích medií se sleduje zvýšení trvanlivosti břitu, zlepšení jakosti povrchu, usnadnění odvodu třísek a snížení spotřeby energie. Dalším z řady požadavků na řeznou kapalinu jsou mazací

účinky a dobrá tepelná vodivost. Tepelná vodivost je důležitá při zvýšení teplot v místě obrábění, neboť nedostatečný odvod tepla může způsobit nepřesnosti v obrábění i znehodnocení obrobku. Řezné kapaliny zvyšují řezný účinek a přinášejí zlepšení výkonu a prodloužení životnosti nástroje. Kapalina musí být vždy čistá. Každé znečištění snižuje chladicí účinek. Její největší množství se musí dostat na plochu kontaktu nástroj - obrobek.

Voda, i když má jen chladicí účinek, je velmi často užívána, protože je levná a nevyžaduje nákladných zařízení pro oběh /12/.

1.4. Strojní zařízení.

Konstrukce a způsob práce působí také dosti podstatně na řezání. Tento vliv lze rozdělit na dvě skupiny, na skupinu regulovatelných veličin a skupinu neregulovatelných veličin.

Mezi regulovatelné veličiny patří metoda broušení, způsob upínání, řezná rychlost a velikost úběru /rychlost posuvu do řezu/. Řezná rychlost se v současné době pohybuje v rozmezí 1 - 30 m/s. Změna smyslu otáčení umožňuje až dvakrát větší životnost nástroje, protože zrno pracuje s obou stran.

Úběrem se rozumí množství ubroušeného materiálu za jednotku času. Rychlost posuvu do řezu se volí nejčastěji během řezu konstantní, což způsobuje namáhání nástroje a obrobku proměnnou silou.

Neregulovatelné veličiny nelze při procesu obrábění menit nebo je ovlivnit. Patří sem vlastní kmity, které zhoršují jakost povrchu, snižují životnost nástroje a stroje, dále tuhost stroje, jeho deformační vlastnosti ap. Tato oblast vlivů vyžaduje ještě podrobné výzkumy.

1.5. Silové vztahy při procesu řezání.

Působení jednotlivých diamantových zrn při řezání je patrné z obr. 1. Diamantové zrno odděluje z povrchu skla úlomky, které zpětně působí jako brusivo na pojivo a vymílají je. Tím se odkryjí další aktivní zrna. Zrno je zatlačováno do povrchu silou F_r . Tím ve skle vznikne rýha o určité velikosti, která je funkcí této síly. Pro příčný průřez rýhy lze psát /2/

$$S = f/F_r/$$

Pro teoretický odbroušený objem jedním zrnem za jednu otáčku pak platí:

$$V = s \cdot L_0$$

kde L_0 je délka stykové křivky zrna.

Teoretický objem neodpovídá skutečnému, protože profily rýhy a zrna se liší. Tato odchylka je způsobena roztržštěním většího objemu skla, než je objem zasažený zrnem, evt. místní plastickou deformací vlivem vysoké kontaktní teploty a tlaku. Při znalosti koncentrace a velikosti plochy záběru platí pro brusný výkon vztah:

$$P = \frac{V \cdot n_1}{t}$$

kde t je průměrná doba záběru jednoho zrna a n_1 počet zabírajících zrn.

Brusný výkon je značně ovlivněn silovými poměry v místě řezu. Celková síla působící na vrchol jednoho zrna se rozloží na složku radiální F_r , která směřuje do středu kotouče a namáhá zrno na tlak, a na složku tečnou F_t , působící ve směru tečné dráhy zrna a namáhající jej v ohybu. Tangenciální složka slouží pro výpočet brusného výkonu. Platí:

$$F_t = S \cdot n_1 \cdot p_1$$

kde p_1 je měrný řezný odpor.

Radiální složka působí na zrno tlakem. Tento tlak je optimální, když dochází k samoostření. Při nižším tlaku se zrna značně otupují a mají malý výkon, při vyšším se drtí a vylamují z vazby ještě neotupena.

2. Popis strojního a měřicího zařízení.

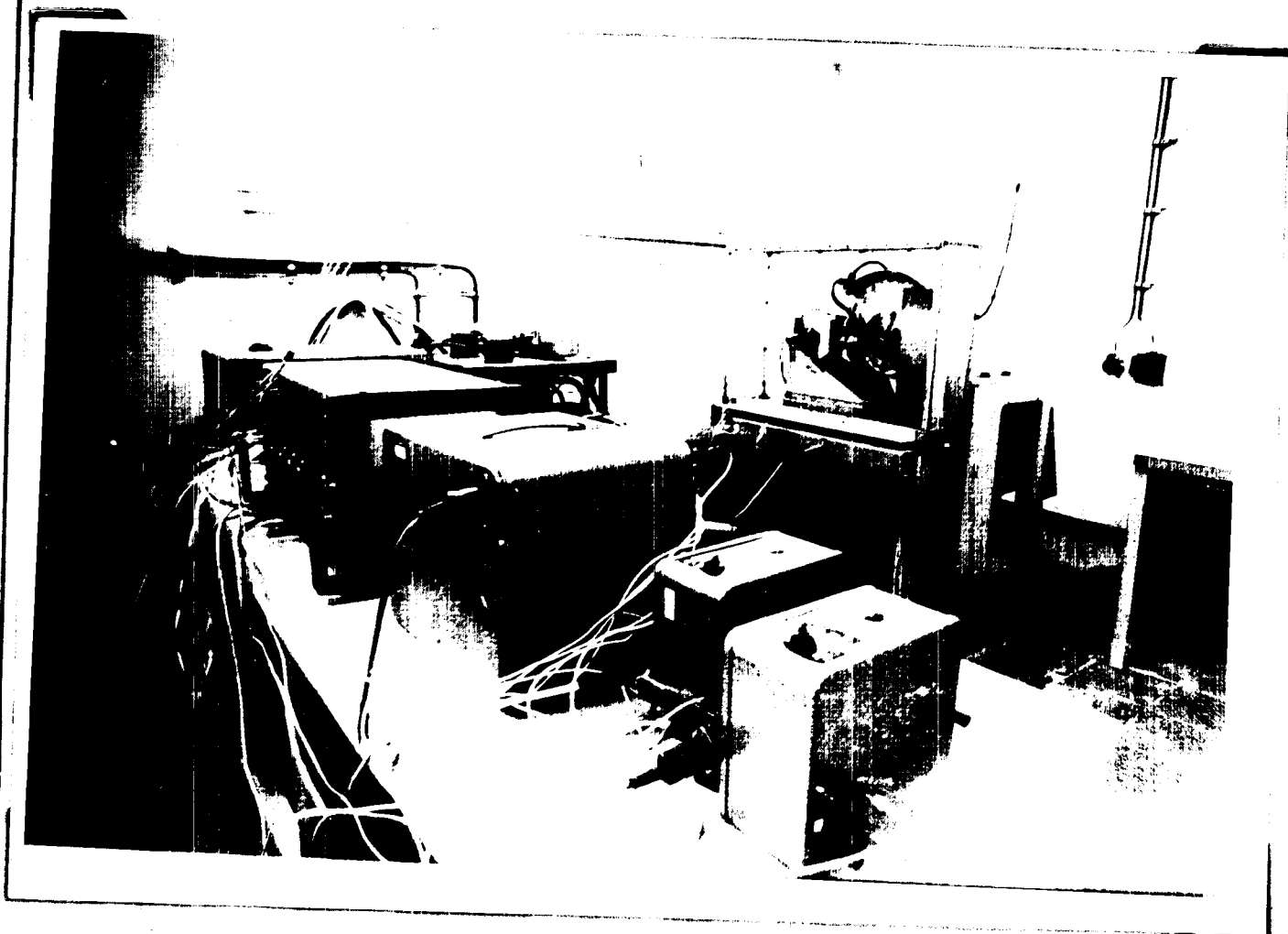
2.1. Strojní zařízení

Měření, které je zpracováno v kapitole 3.4., bylo provedeno na laboratorní pile LPS - 1, která byla vyrobena ve vývojových dílnách VŠST Liberec.

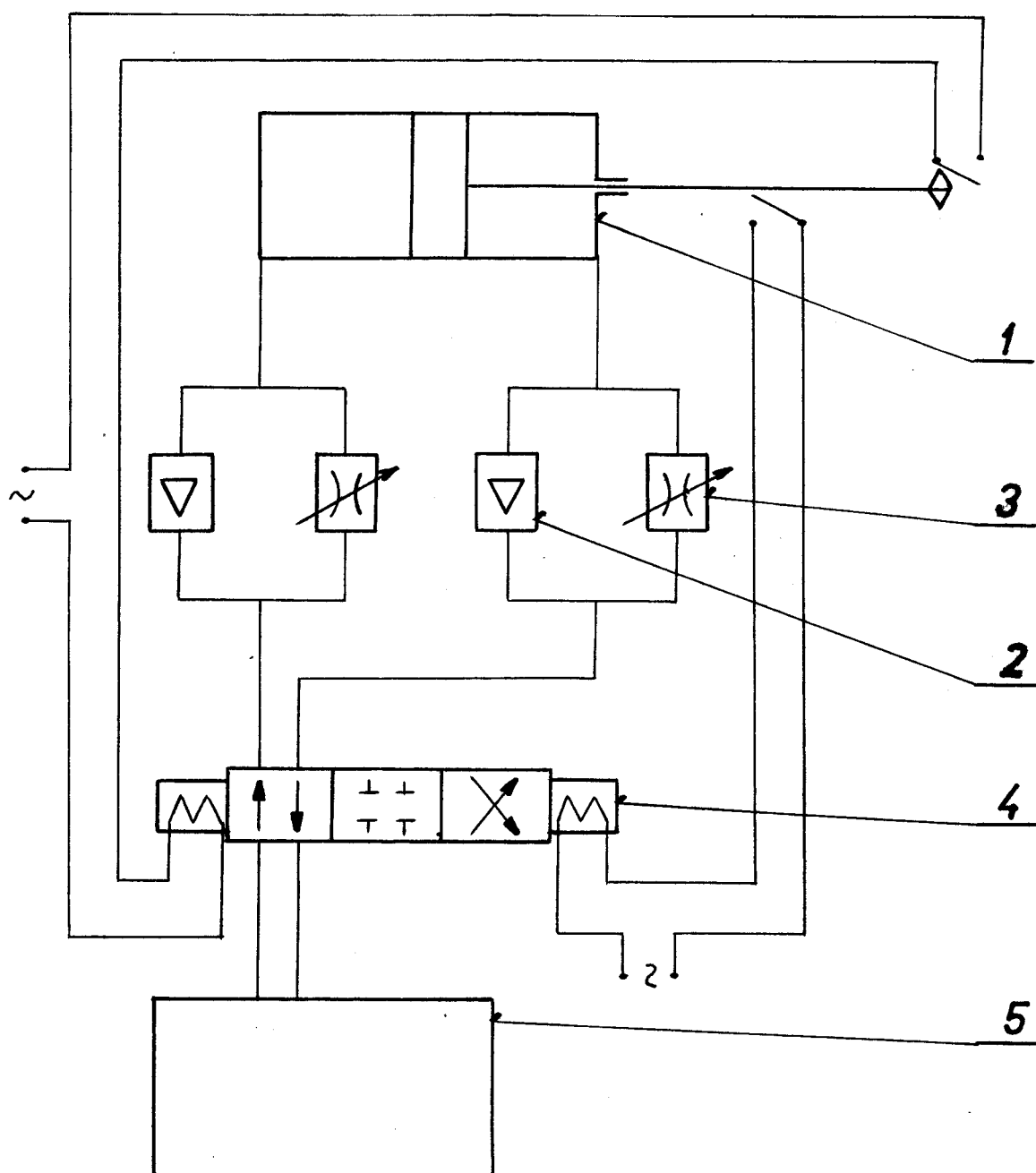
Pilu pohání elektromotr AP 90L-4 /výkon 1,5 kW, $n = 1430$ 1/min/ s variátorem Z 12114-10. Pohon vřetene z variátoru umožňuje řemenový převod 2,5 : 1. Tím je zaručena plynulá změna otáček v rozmezí 735 - 4410 1/min. Kotouč pily se na vřeteno upevní pomocí příruby a matice.

Posuvný stůl je umístěn na odděleném základovém bloku. Tím je vyloučen přenos kmitů z náhonové jednotky na stůl. Na stole je přišroubován dvousložkový dynamometr. Pohon stolu realizuje hydraulický válec JHVJ 50/250. Tento válec je zařazen v uzavřeném hydraulickém obvodu s řízením rychlosti škrcením se stabilizací /viz obr.6/.

Přívod chladicí kapaliny ovládá solenoidový ventil typu 96077 Js 10. Stavitelné mikrospínače jsou upevněny na pevném rámu stolu a ovládány rovinnými vačkami na posuvném stole. Mikrospínače dávají elektrické impulsy



Obr. 5 - Laboratorní pila LPS-1 připravená k měření.



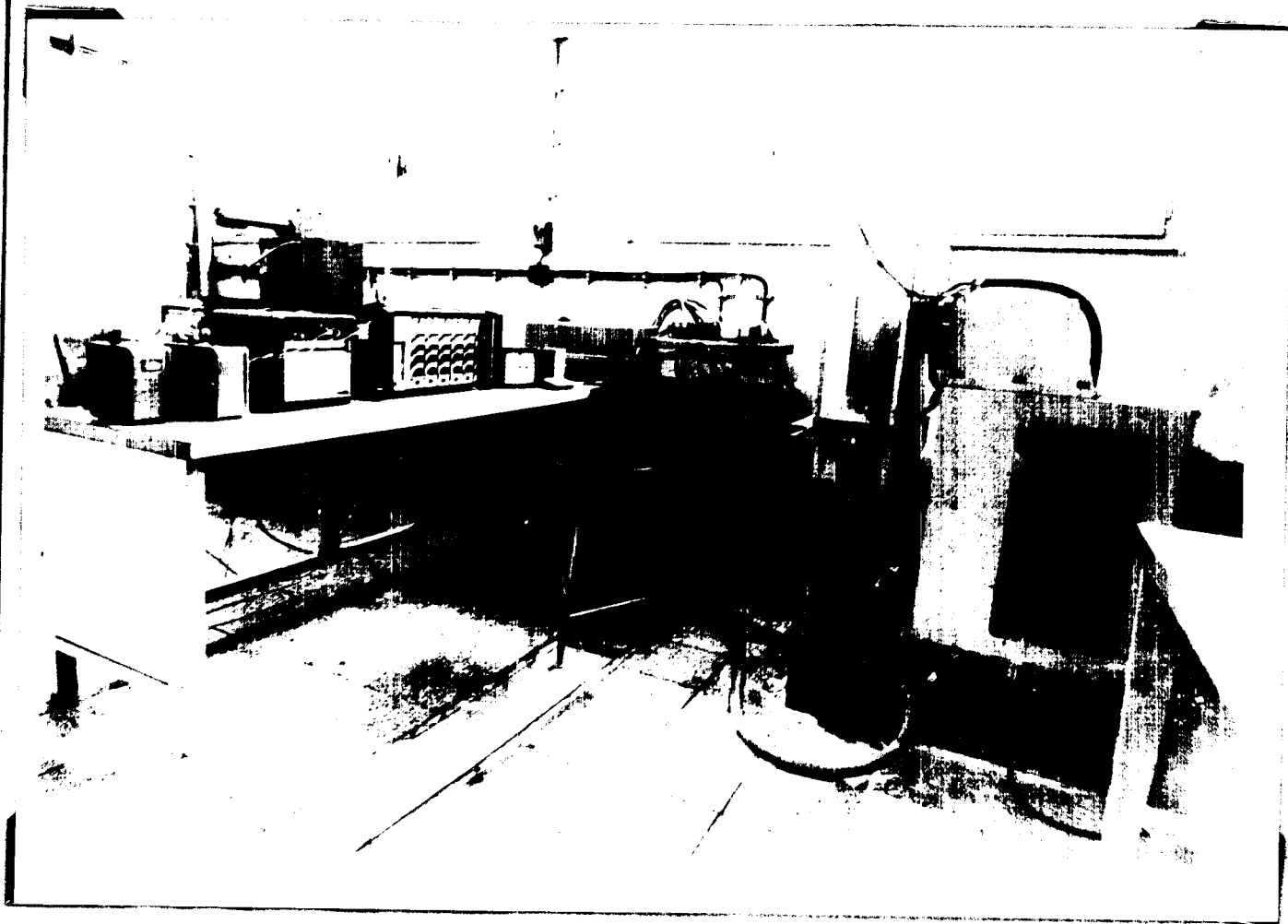
obr. 6. Schema hydraulického ovládání posuvu stolu

- 1 - pracovní válec JHVJ 50/250
- 2 - zpětný ventil JHDZ 10
- 3 - škrticí ventil JHMRs 10
- 4 - rozvaděč RSPe 431C - 310A
- 5 - čerpací stanice IHA2

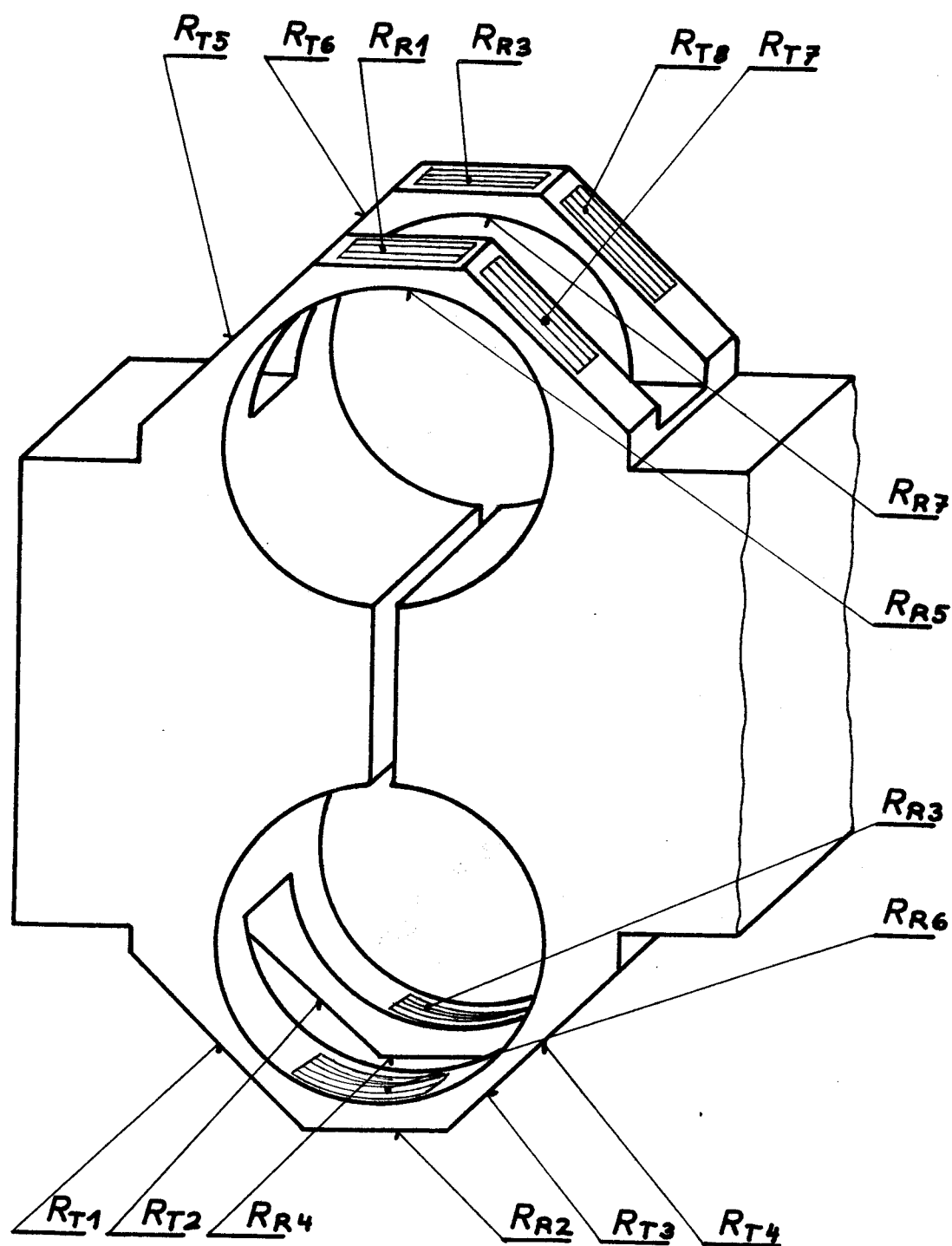
k přestavení rozvaděče hydraulického obvodu, otevření solenoidového ventilu a zapínají elektrické stopky. Stopky měří dobu, za kterou stůl urazí dráhu 2 cm.

2.2. Měřicí zařízení.

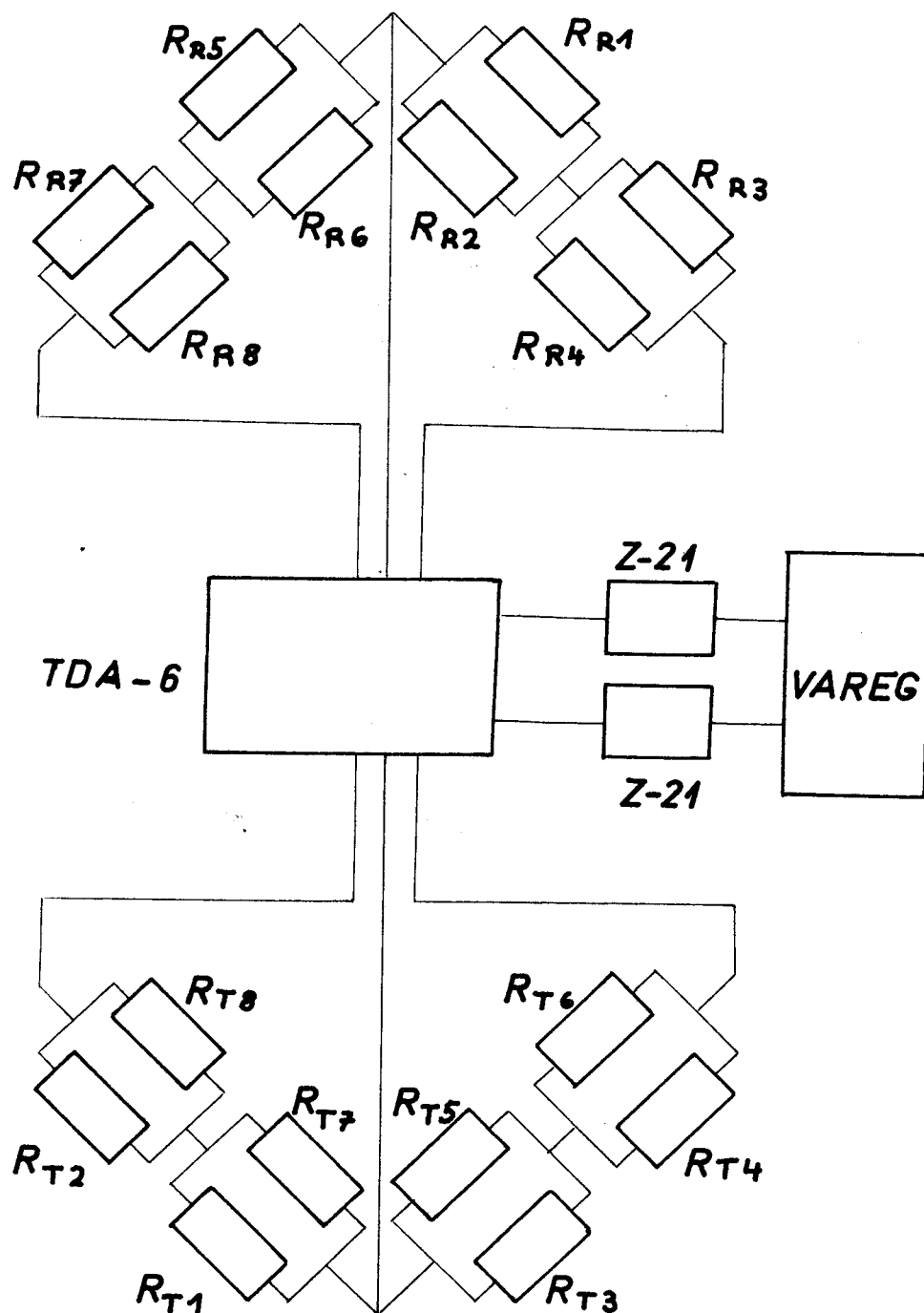
Pro měření řezných sil byl zkonstruován dvousložkový dynamometr, který svým tvarem, umístěním a zapojením snímačů umožňuje současné měření radiální a tečné síly. Byly použity tenzometrické snímače D 250 o rozměrech 22 x 11 mm a odporu 250 Ω /2/. Jejich rozmístění na dynamometru je patrné z obr. 8. Indexy t a r označují, kterou složku síly snímače snímají, čísla určují pořadí zapojení. Tenzometry jsou zapojeny do polovičního Wheatstoneova můstku, jehož druhou polovinu tvoří odpory aparatury TDA - 6, která byla použita k vyhodnocování. Signály z aparatury jsou zesíleny dvěma zesilovači Z - 21 a přivedeny na elektromechanický registrační dvoukřivkový volt-ampérmetr VAREG. Schéma zapojení měřicího obvodu ukazuje obr. 9.



Obr. 7 - Měřicí aparatura a ovládací prvky.



Obr. 8 - Rozmístění tenzometrů na dynamometru.



Obr. 9 - Schéma zapojení měřicího obvodu.

3. Vyhodnocení měření.

3.1. Použitý materiál a nástroj.

K měření bylo použito skloviny C 1, které má chemické složení: 71% SiO_2 , 6% Na_2O , 12% K_2O , 6% PbO , 2% CaO , 1% MgO , měrná hmotnost $\rho = 2\,510\text{ kg/m}^3$. Vzorek měl tvar hranolu o rozměrech 63 x 63 x 20 mm a každého bylo použito k provedení 10 řezů.

Nástrojem byly kotoučové pily s vázaným diamantovým zrnem ze SSSR typu AOK 200 x 1,2 x 5 x 32 - M 1 se zvolenými koncentracemi a zrnitostmi podle tabulky 3. Diamantové zrno je typu ACK.

Tabulka 3.

Koncentrace %	Zrnitost
100	160/125
	125/100
25	160/125
	125/100

3.2. Popis měření.

Měřicí obvod se nechá před měřením zhruba 30 min.

zapojen "naprázdno". Tím se vyrovná teplotní rozdíl mezi tenzometry a odpory aparatury. Po vyvážení měřících můstků se na pile nastaví požadované otáčky vřetene a škrcením se upraví žádaná rychlost posuvu do řezu.

Kotoučové pily se před každým použitím oživily hranokem ze siliciumkarbidu a po upnutí jednotlivých vzorků se provedlo v každém pokusu 50 řezů bez meziostření. Přitom se sledovaly obě síly na zapisovacím přístroji. Pro stanovení váhových úbytků se dokonale očištěná a odmaštěná pila vážila před pokusem a po něm na laboratorních vahách. Zjišťování úbytku bylo jen orientační, má význam pro ekonomické hodnocení pily. Za konečnou hodnotu sil byl vzat aritmetický průměr z posledních deseti řezů. V několika případech nebylo možné dosáhnout počtu 50 řezů, protože podmínky byly pro danou pilu příliš drastické, takže docházelo k vývinu vysokých teplot v místě řezu a jiskření pily. Při těchto pokusech bylo měření ukončeno dříve. Výsledná síla, která byla uvažována v dalších výpočtech byla přepočtena opravným koeficientem na 50 řezů. Výpočet koeficientu je uveden v kapitole 3.3.2. Podobně také váhový úbytek zjištěný při těchto neúplných pokusech byl opraven. Váhový úbytek nezávisí na počtu řezů lineárně, ale při prvních řezech pokusu je úbytek velký a v dalších částech se snižuje.

3.3. Stanovení velikosti vlivu jednotlivých faktorů.

3.3.1. Metoda náhodné bilance.

Z velkého množství faktorů ovlivňujících proces řezání /viz kapitola 2/ byly pro toto měření vybrány čtyři, t.j. řezná rychlost, úběr, zrnitost, koncentrace, které umožňovaly postupné změny jejich úrovní. Pro stanovení stupně jejich vlivu jsme použili metodu náhodné bilance, která umožňuje z malého počtu pokusů velikost vlivu stanovit. Tabulka 4 udává zvolené úrovně jednotlivých faktorů.

Tabulka 4.

	+ x	- x
x_1 - řezná rychlost m/s	35	20
x_2 - úběr $\text{cm}^2/\text{min.}$	15	5
x_3 - zrnitost μm	160/125	125/100
x_4 - koncentrace %	100	25

Potřebný počet zkoušek musí být mocninou čísla 2 a převyšovat počet $k + 1$, kde k je počet faktorů. Matice plánování byla sestavena náhodným slučováním neúplných faktorových pokusů /3/. Naše matice plánování je vhodná, protože splňuje dva požadavky na ni kladené:

1. Skalární součin dvou sloupců nedává sloupec stejných znamének.

2. Ani jeden sloupec není znaménkově shodný s ostatními.

V tabulce 5 je uvedena matice plánování a dosažené výsledky. K tomu bylo využito pokusů č. 2, 3, 6, 7, 9, 12, 13, 16 z úplného faktorového pokusu /kap. 3,4/.

Tabulka 5.

čís. pok.	x_1	x_2	x_3	x_4	$F_r/N/$	$F_t/N/$	$\Delta G/mg/$	F_r/F_t
1	+	+	+	-	58,17	6,35	72,8	9,16
2	+	+	-	-	66,30	7,78	81,3	8,52
3	+	-	+	+	53,65	6,23	37,6	8,60
4	+	-	-	+	29,71	3,20	81,2	9,27
5	-	+	+	+	91,87	6,39	67,8	14,39
6	-	+	-	+	115,20	17,30	223,2	6,66
7	-	-	+	-	53,30	5,40	95,1	9,87
8	-	-	-	-	32,02	2,85	92,5	11,23

V další části byly výpočty zpřesněny jednotlivé stupně vlivu. Z experimentálně zjištěných údajů byl sestaven rozptylový diagram /obr. 12A/. Pro jednotlivé efekty se v diagramu zaznamenávají body rozdělené do sku-

pin podle úrovní, na nichž se nacházel daný faktor při té které zkoušce. Stupeň vlivu se hodnotí vizuálně jako rozdíl mediánů pro obě úrovně jednotlivých faktorů. Z obr. 12A byly vybrány vizuálně faktory x_2 a x_4 jako rozhodující pro obě síly F_r a F_t . Kvantitativně se tyto faktory vyhodnocují pomocí tabulky se dvěma vstupy /tab. 6/.

Tabulka 6.

	+ x_2	- x_2
+ x_4	$\begin{array}{r} 91,87 \\ 115,20 \\ \hline \Sigma y_1 = 207,07 \\ \bar{y}_1 = \frac{1}{2} \Sigma y_1 = 103,54 \end{array}$	$\begin{array}{r} 53,65 \\ 29,71 \\ \hline \Sigma y_2 = 83,36 \\ \bar{y}_2 = \frac{1}{2} \Sigma y_2 = 41,68 \end{array}$
- x_4	$\begin{array}{r} 58,17 \\ 66,30 \\ \hline \Sigma y_3 = 124,47 \\ \bar{y}_3 = \frac{1}{2} \Sigma y_3 = 62,24 \end{array}$	$\begin{array}{r} 53,30 \\ 32,02 \\ \hline \Sigma y_4 = 85,32 \\ \bar{y}_4 = \frac{1}{2} \Sigma y_4 = 42,66 \end{array}$

Výpočty vybraných efektů x_2 a x_4 :

$$x_2 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_3}{2} - \frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_4}{2} = + 40,72$$

$$x_4 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2}{2} - \frac{\bar{y}_3 + \bar{y}_4}{2} = + 19,16$$

Za účelem sejmutí dalších lineárních efektů byly opraveny hodnoty v tabulce 5 na úrovni $+x_3$ o hodnotu $-40,72$ a na úrovni $+x_4$ o hodnotu $-19,00$. Tím se potlačí vliv těchto dvou faktorů. Z opravené tabulky byl sestaven nový rozptylový diagram /obr. 12B/, sejmuty efekty x_1 a x_3 a vypočteny jejich hodnoty. V další části byly uvažovány vzájemné interakce dvou faktorů. Interakce tří faktorů je málo pravděpodobná /6/. Tabulka 5 byla po druhé opravena a z dalšího rozptylového diagramu /obr. 12C/ byly určeny jako významné interakce faktorů x_2x_3 a x_1x_3 . Stejným postupem byly vyhodnoceny ještě zbývající interakce /obr. 12D/. Rozpětí výsledků se pak snížilo natolik, že ho lze vysvětlit chybami pokusu. V histogramu /obr. 10/ jsou zachyceny velikosti vlivu efektů a jejich vzájemných interakcí.

Pro sílu F_r lze působení faktorů a jejich interakcí vyjádřit v tomto pořadí:

$$x_2, x_4, x_1, x_2x_3, x_1x_3, x_2x_4, x_3x_4, x_3, x_1x_2, x_1x_4.$$

Významnost působících faktorů na sílu F_t lze uvažovat ve stejném pořadí, protože poměr F_r/F_t se pohybuje v rozmezí 8 - 12, takže lze předpokládat, že i číselné hodnoty efektů síly F_t se změní v tomto poměru.

Stejným postupem byla stanovena významnost jednotlivých efektů i pro váhový úbytek pily /viz rozptylové diagramy obr. 13A, B, C, D a diagram efektů obr. 11/. Pořadí vlivu jednotlivých efektů je takovéto:

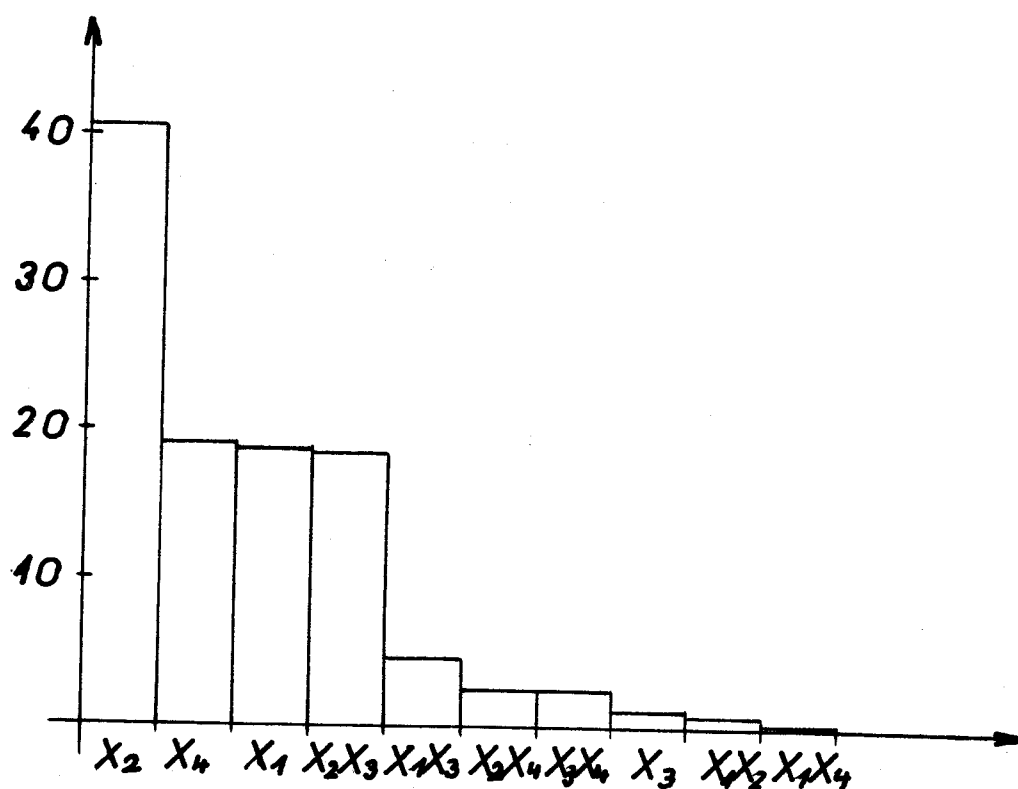
x_3x_4 , x_3 , x_1 , x_1x_3 , x_2x_3 , x_2 , x_1x_2 , x_4 , x_2x_4 , x_1x_4 .

3.3.2. Výpočet opravných koeficientů.

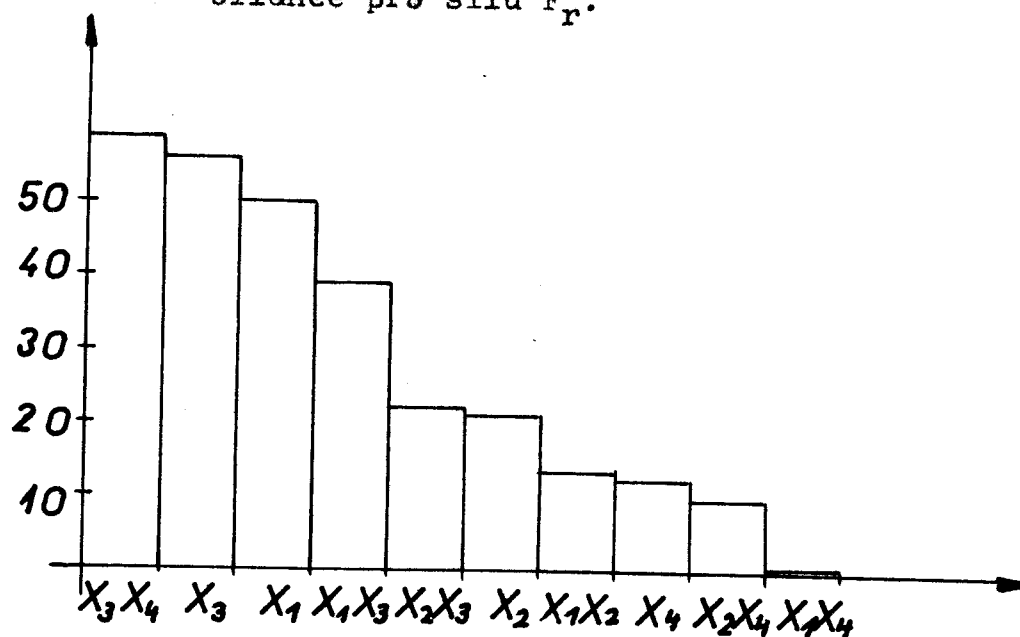
Výpočet opravných koeficientů je ukázán na konkrétním případě. Při pokusu č. 6 úplného faktorového pokusu bylo provedeno jen 5 řezů. Proto byl průměr z pěti provedených řezů násoben opravným koeficientem K 1. Pro jeho výpočet pro radiální sílu je využito dokončených pokusů, jak ukazuje tabulka 7.

Tabulka 7.

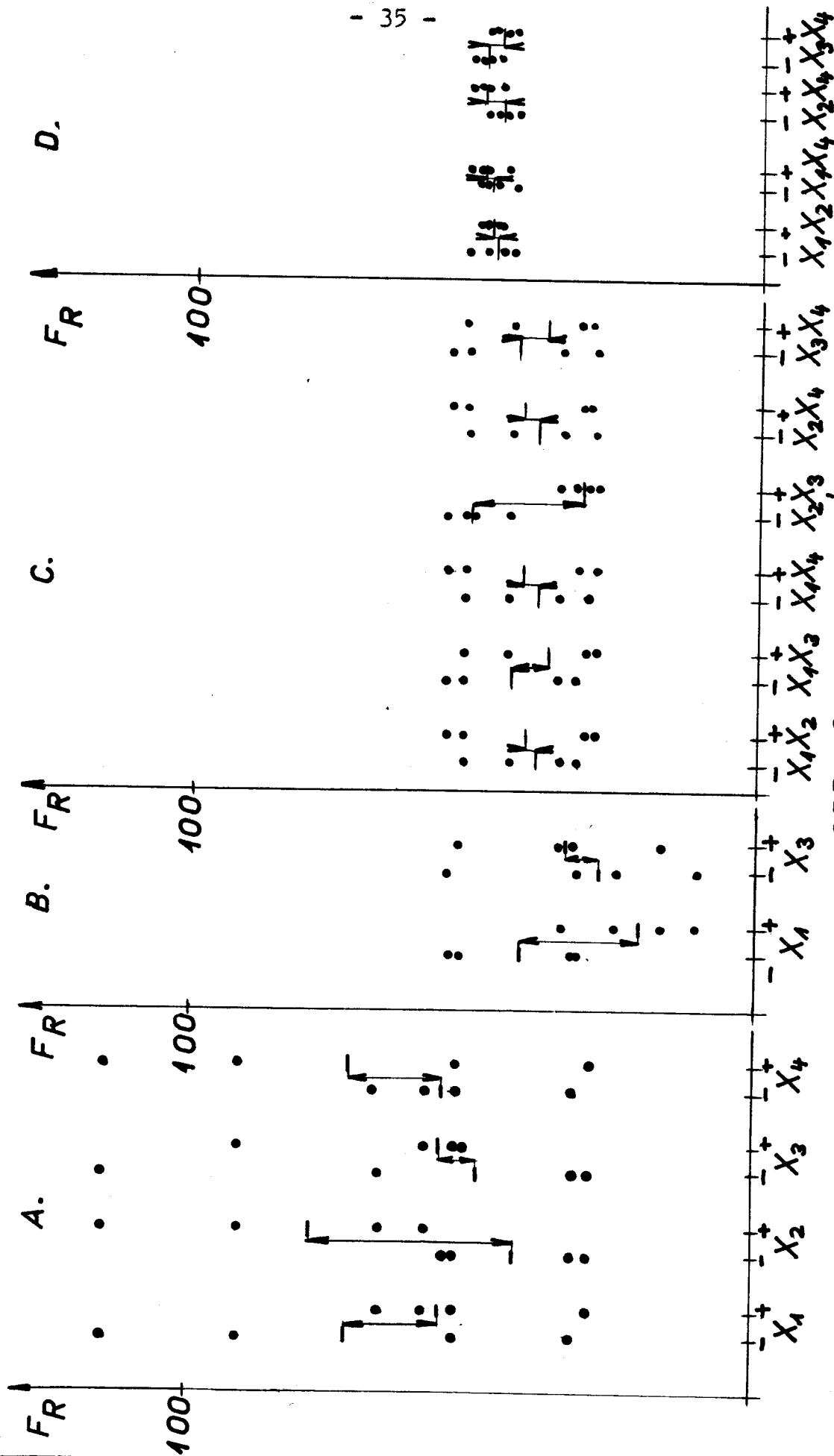
Pokus	P 5	P 50	P 50/P 5
1	27,70	58,17	2,10
2	29,72	66,30	2,23
3	18,38	53,65	2,92
5	39,48	91,87	2,33
8	19,96	32,02	1,60



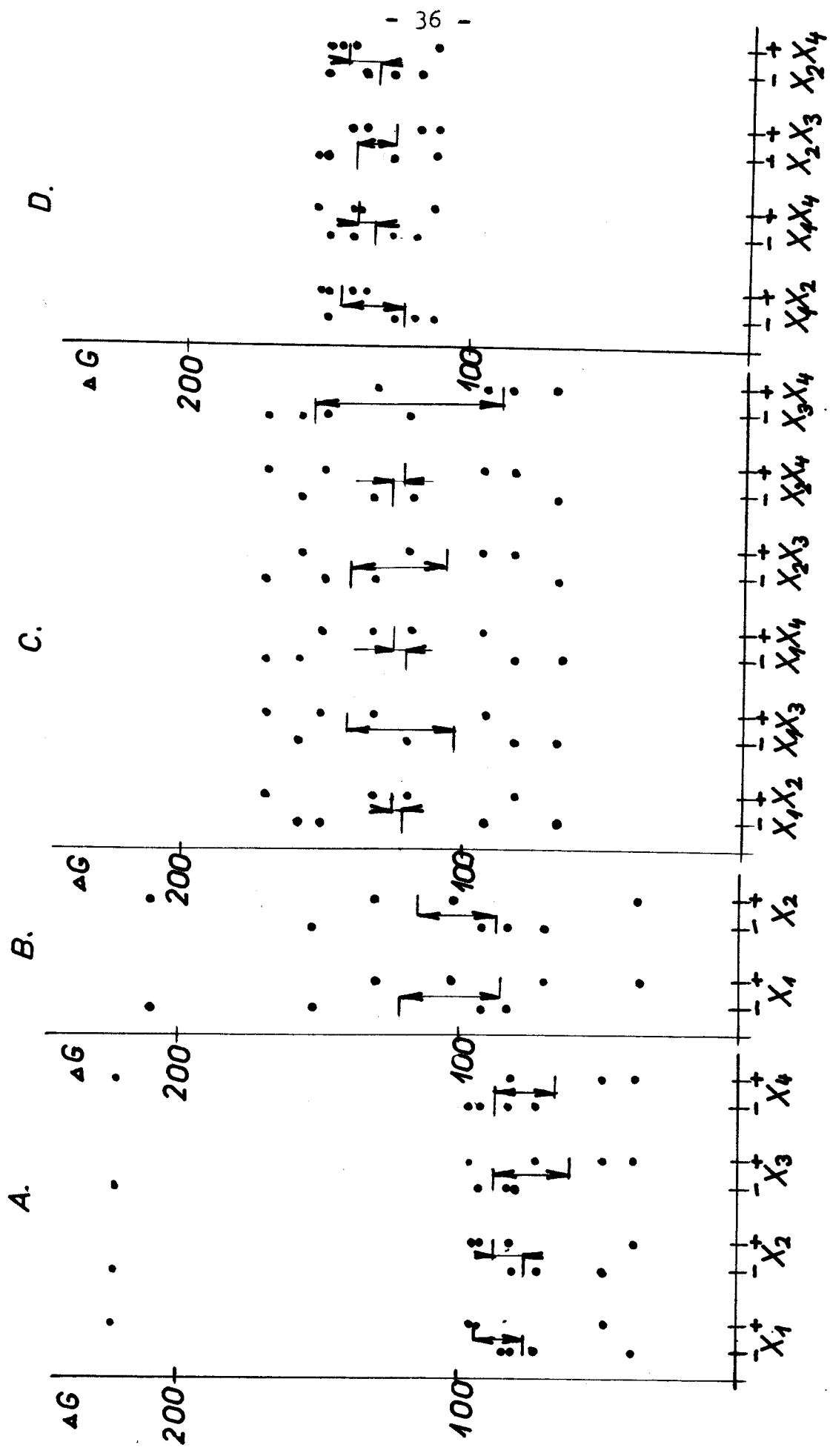
Obr. 10 - Diagram efektů, eliminovaných metodou náhodné bilance pro sílu F_r .



Obr. 11 - Diagram efektů, eliminovaných metodou náhodné bilance pro váhové úbytky.



OBR. 12. ROZPTYLOVÝ DIAGRAM.



OBR. 13. ROZPTYLOVÝ DIAGRAM.

P 5 je aritmetický průměr řezů 1 - 5.

P 50 je aritmetický průměr řezů 41 - 50.

Opravný koeficient K 1 byl vzat jako medián poměrů
P 50/P 5. K 1 = 2,2.

Podobně se vypočítal koeficient K_i ve všech případech, kde počet řezů se lišil od 50, jak pro sílu radiální F_r , tak i tečnou F_t .

3.4. Závislost $F = f/v, p, z, k/$

Pro výpočet funkční závislosti bylo použito metod regresní analýzy a plánování pokusů /5/, /6/, /3/. Předpokládali jsme, že rovnice bude mít tvar:

$$F = A v^{a_1} p^{a_2} z^{a_3} k^{a_4} \quad (1)$$

Stejná rovnice v logaritmickém tvaru:

$$\log F = \log A + a_1 \log v + a_2 \log p + a_3 \log z + a_4 \log k \quad (2)$$

$$\log F = a_0 + a_1 \log v + a_2 \log p + a_3 \log z + a_4 \log k \quad (2')$$

Logaritmování byla odstraněna nelinearita závislosti.

Výpočet koeficientů a_i se provede pomocí vztahů pro li-

neární regresi. Protože jednotlivé faktory se vyskytují na dvou úrovních, bylo využito nejjednodušší metody plánování - úplného faktorového pokusu 2^k , vyžadující v našem případě provedení 16 zkoušek. Úrovně jednotlivých faktorů je nutné transformovat na jednotkovou úroveň označovanou + 1 a - 1 pomocí vztahu:

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{h_i} \quad (3)$$

kde x_i je transformovaná úroveň i -tého faktoru,
 X_i je úroveň i -tého faktoru před transformací,
 $\bar{X}_i$ je základní úroveň i -tého faktoru - aritmetický průměr obou úrovní,
 h_i je krok úrovně i -tého faktoru.

Pro transformaci a další výpočty byly jednotlivé veličiny označeny takto:

$$\begin{array}{lll} \log F = Y & \log v = X_1 & \log p = X_2 \\ \log z = X_3 & \log k = X_4 & \end{array}$$

Tabulka 8 udává jednotlivé úrovně, základní úrovně a kroky pro všechny 4 faktory. Úrovně hodnot zrnitosti byly stanoveny jako délka strany ekvivalentní krychle

/7/. Matice plánování pokusu zahrnuje všechny možné kombinace úrovní faktorů a udává návod pro provedení jednotlivých pokusů. V tabulce 9 je tato matice a dosažené výsledky.

Tabulka 8.

	MAX	MIN	+X=log MAX	-X=log MIN	$\bar{X}$	h
v m/s	35	20	1,54407	1,30103	1,42255	0,12152
p cm ² /min	15	5	1,17609	0,69897	0,93753	0,23856
z m	141	112	2,14922	2,04922	2,09768	0,04846
k %	100	25	2,00000	1,39794	1,69897	0,30103

Tabulka 9.

čís. pok.	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	F _r /N/	F _t /N/	ΔG/mg/	F _r /F _t
1	+	+	+	+	81,47	6,38	67,75	12,75
2	-	+	+	+	91,87	9,86	48,50	9,32
3	+	-	+	+	53,65	6,23	37,60	8,61
4	-	-	+	+	84,18	4,77	19,00	17,10
5	+	+	-	+	255,96	8,44	30,40	30,25
6	-	+	-	+	115,20	17,30	223,20	6,68
7	+	-	-	+	29,71	5,20	81,20	5,93

8	-	-	-	+	89,99	5,95	20,70	16,60
9	+	+	+	-	58,17	6,35	72,80	9,15
10	-	+	+	-	26,20	3,28	41,40	8,05
11	+	-	+	-	21,45	2,53	64,80	8,50
12	-	-	+	-	53,30	5,40	95,10	9,88
13	+	+	-	-	66,30	7,78	81,30	8,52
14	-	+	-	-	91,87	8,70	461,20	10,55
15	+	-	-	-	29,27	2,85	53,70	10,28
16	-	-	-	-	32,02	2,85	92,40	11,23

Rovnice (2') v transformovaném tvaru:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 \quad (4)$$

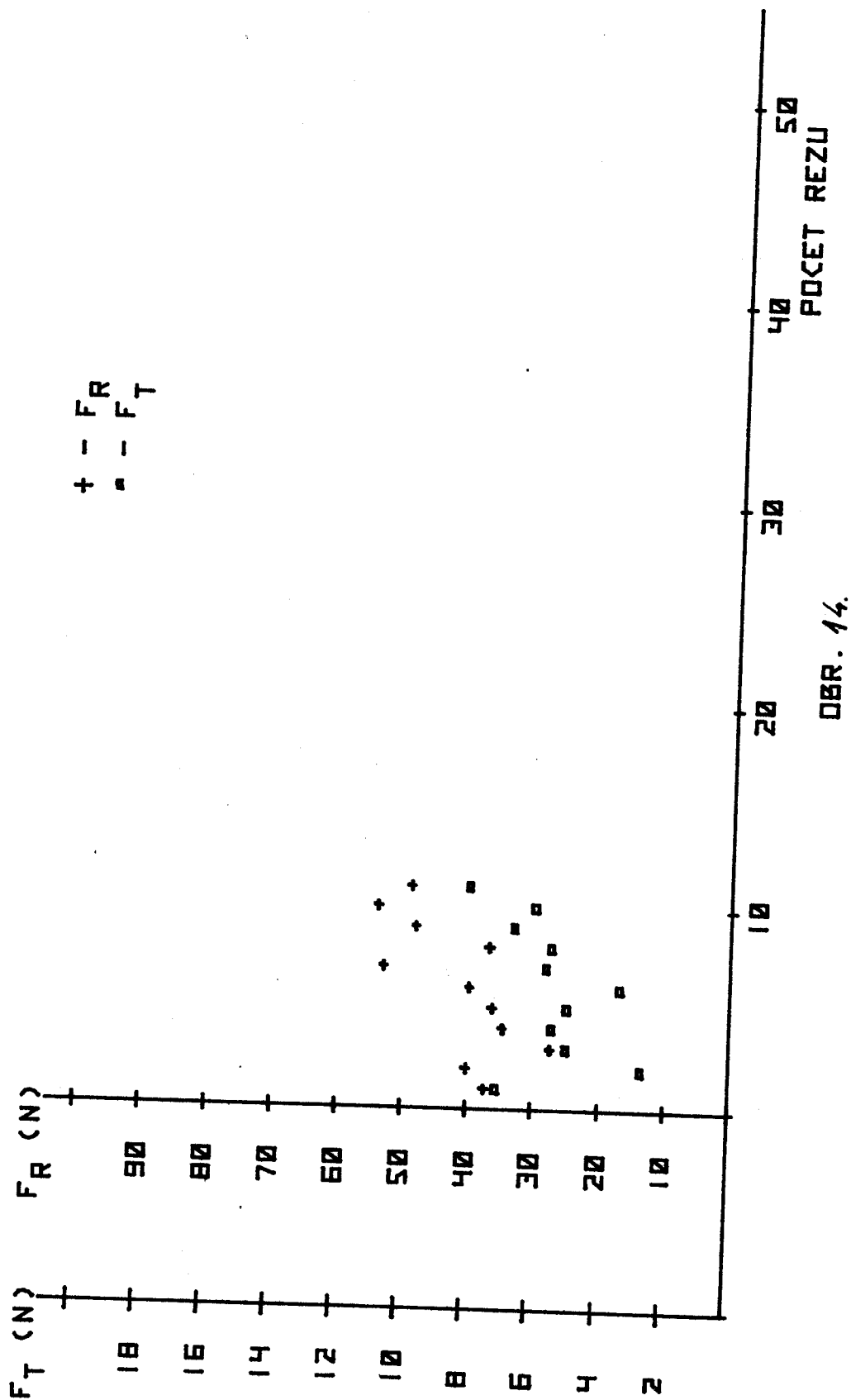
Další výpočet spočívá v určení regresních koeficientů b_i podle vztahů:

$$b_0 = \frac{\sum Y_i}{2^k} \quad b_i = \frac{\sum Y_i x_i}{2^k} \quad i > 0 \quad (5)$$

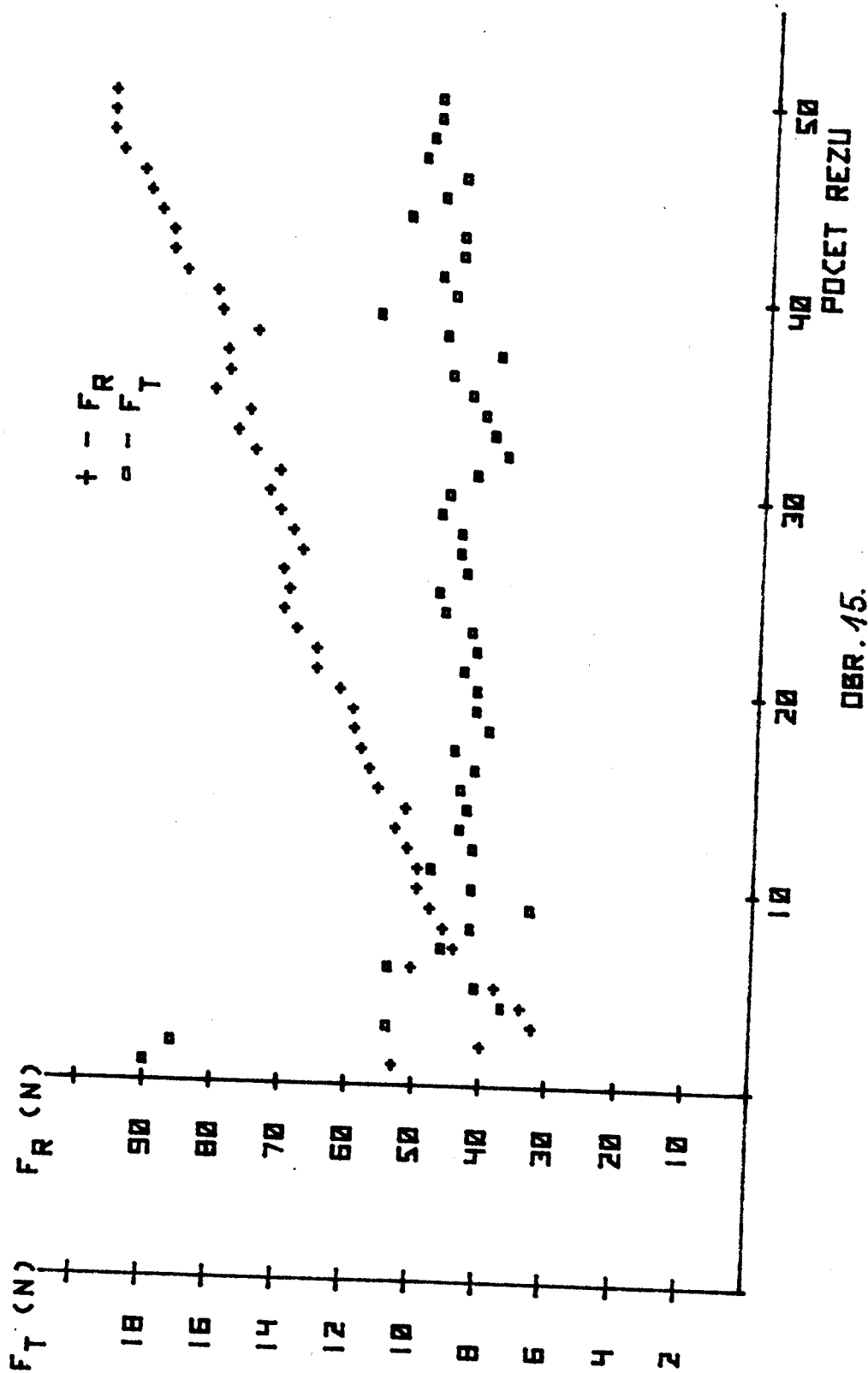
Zpětná transformace do rovnice (2') se provede pomocí vztahů:

$$a_0 = b_0 - \sum_{i=1}^k \frac{b_i \bar{X}_i}{h_i} \quad a_i = \frac{b_i}{h_i} \quad (6)$$

ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. I

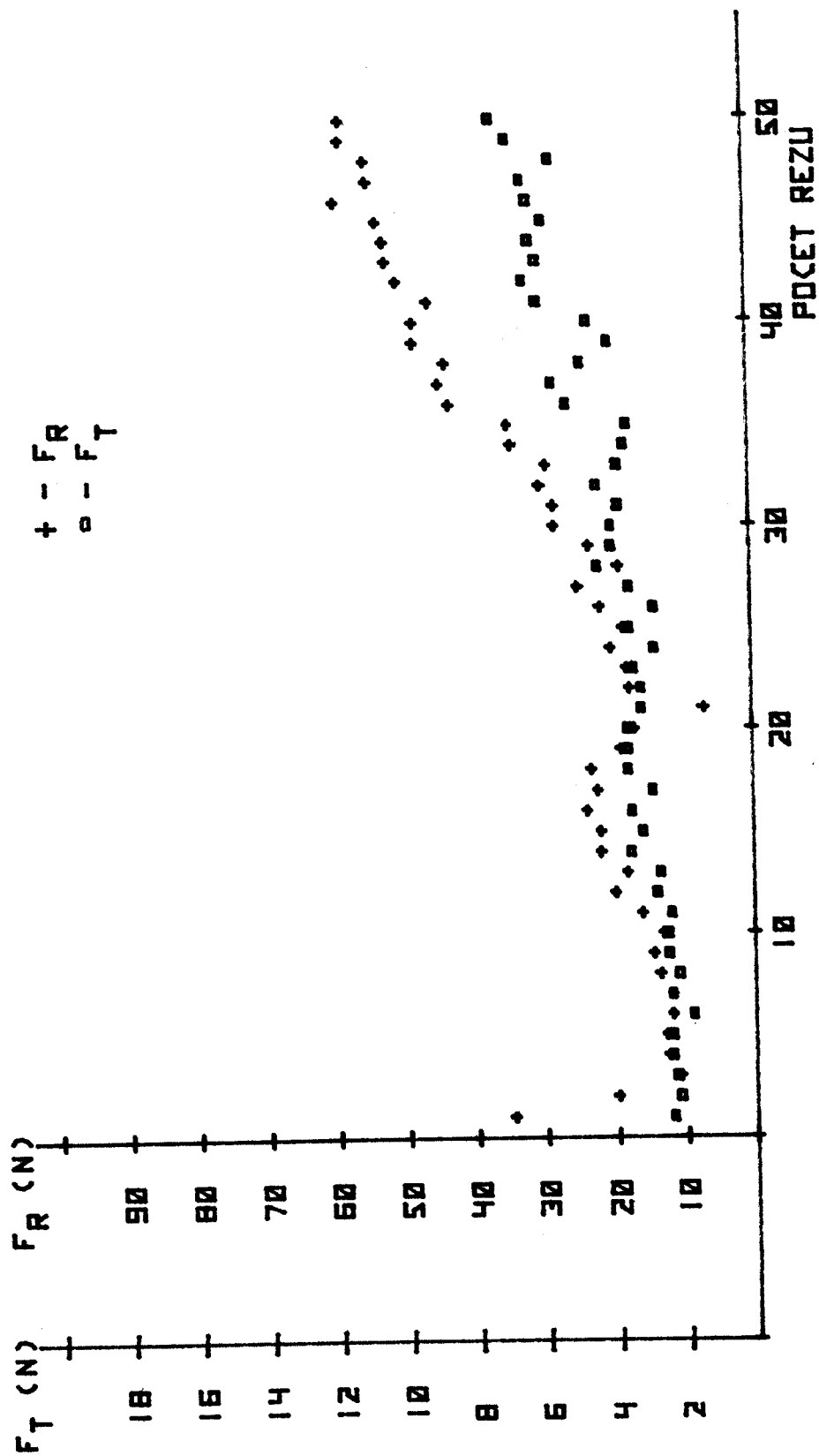


ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
 POKUS: C. 2



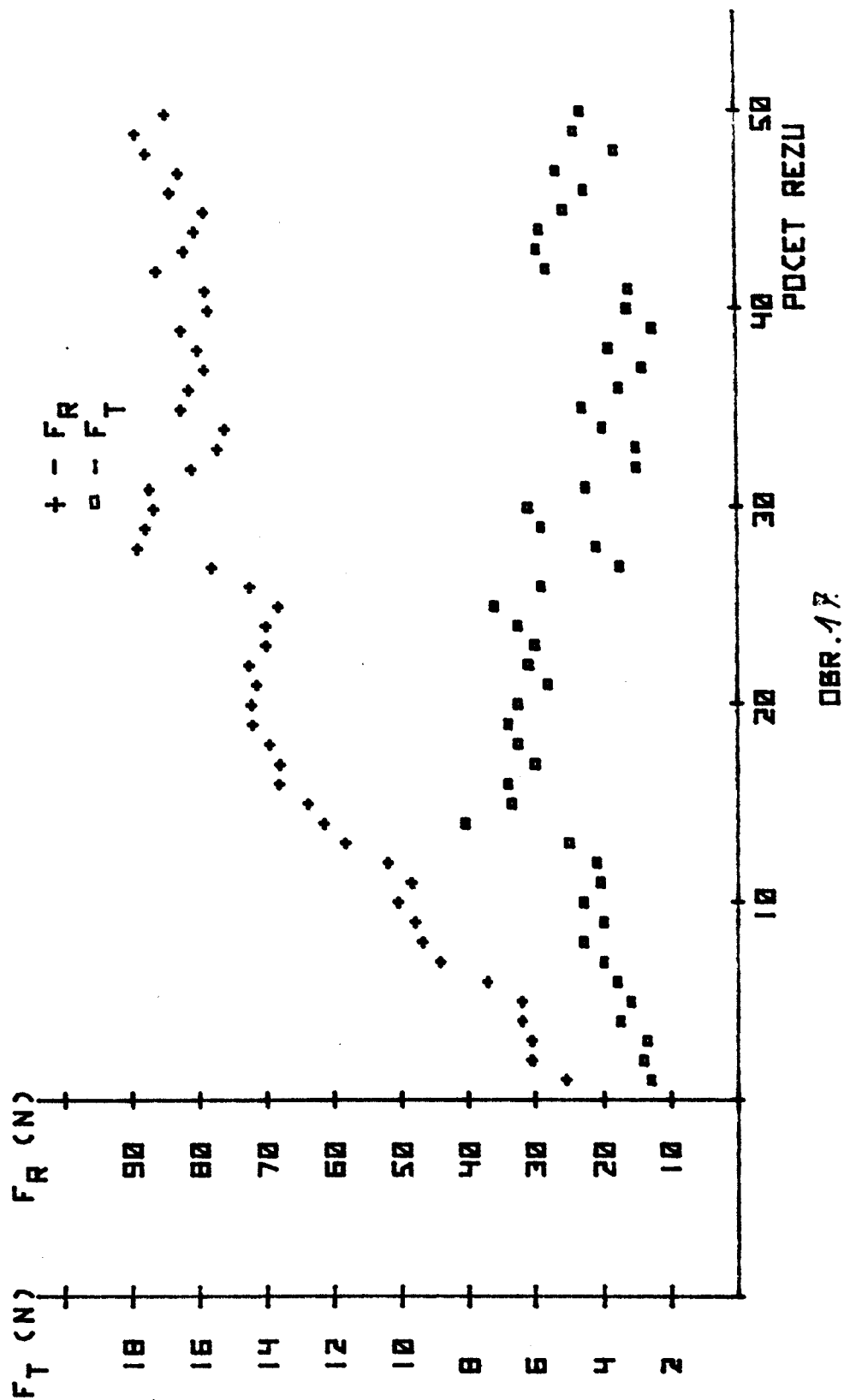
DBR. 15.

ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. 3

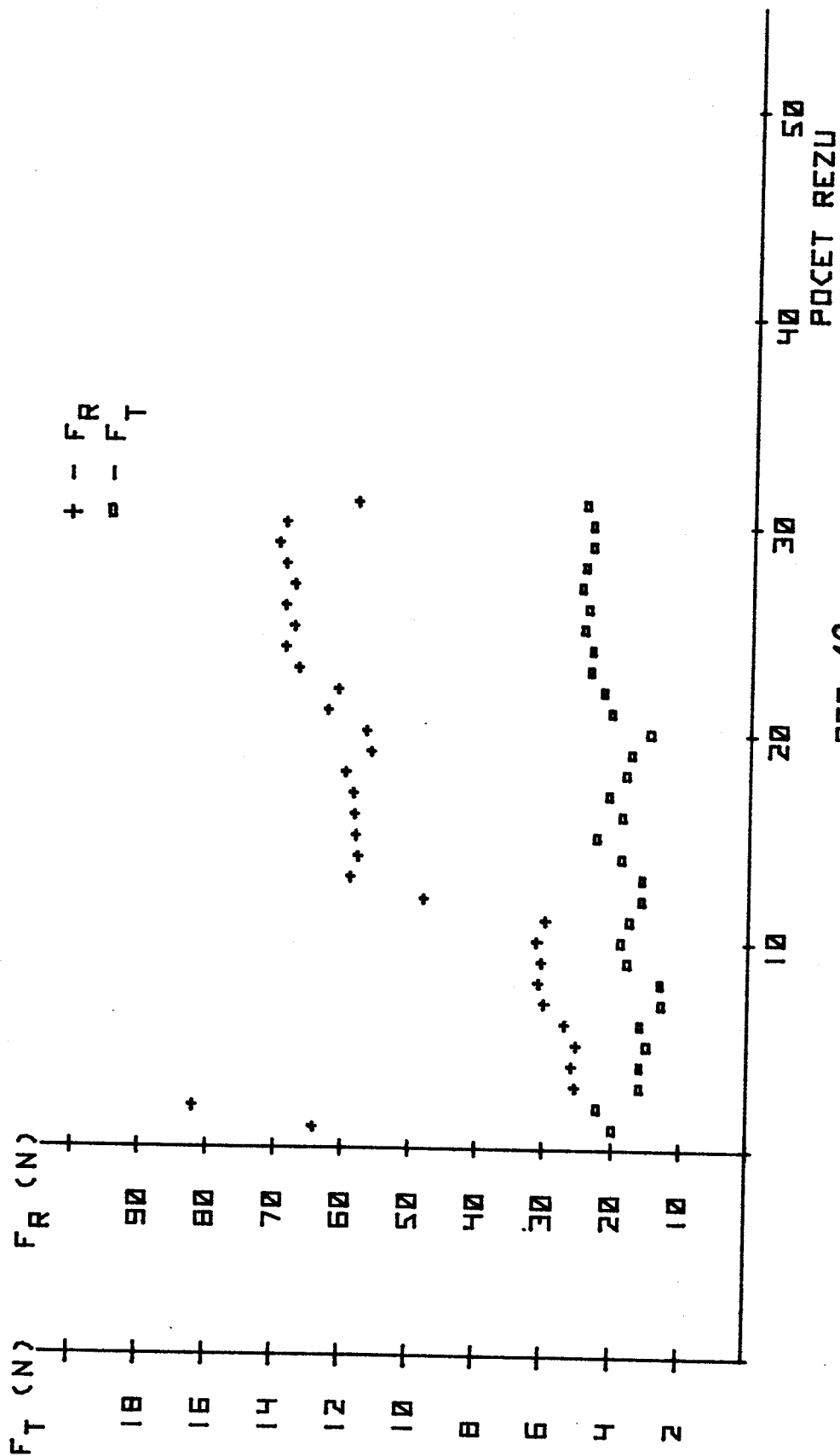


DBR.16.

ZAVISLOST REZNE SILE F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. 4

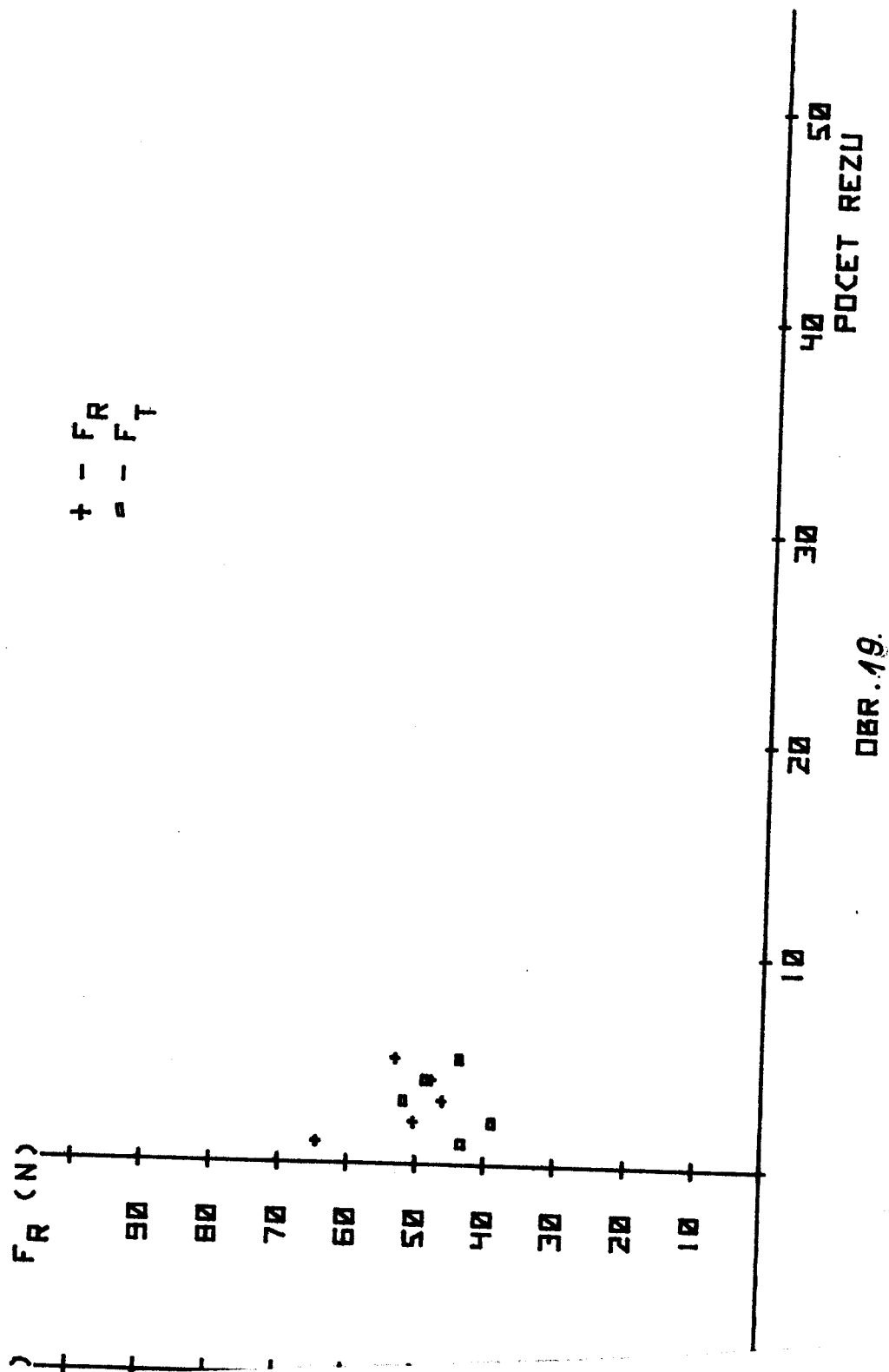


ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. 5

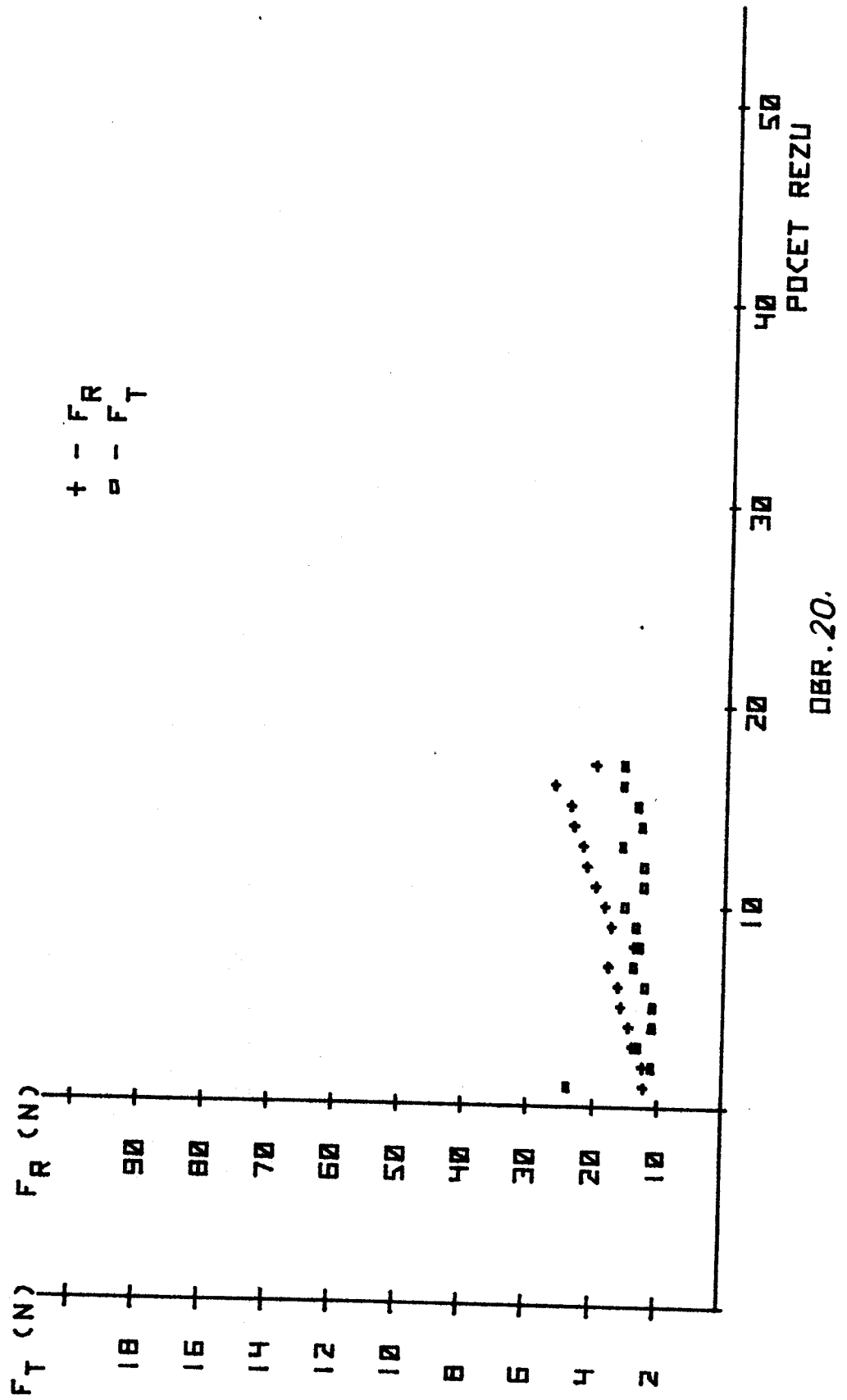


Obr. 18.

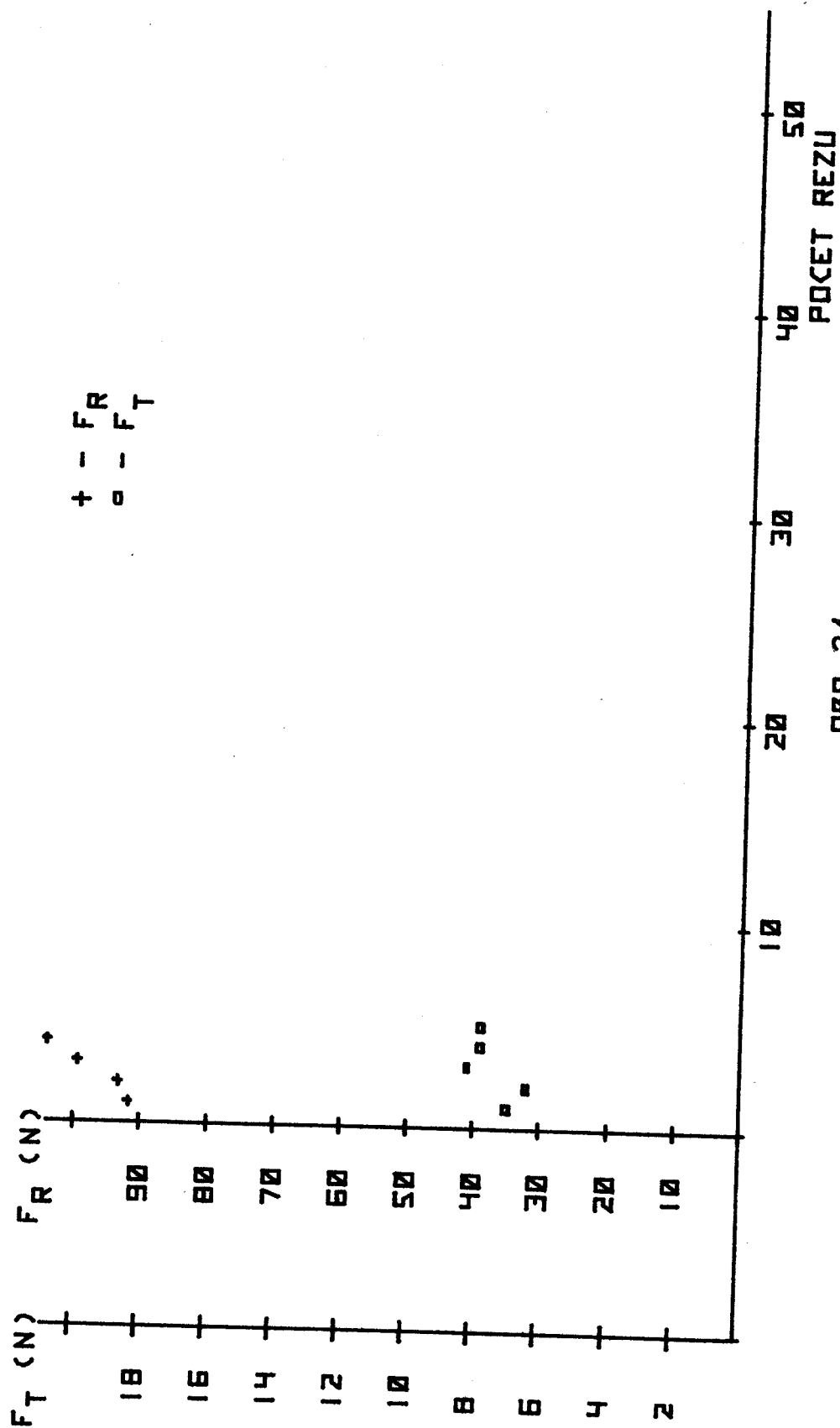
ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCETU REZU
POKUS: C. 6



ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCETU REZU
POKUS: C. 7

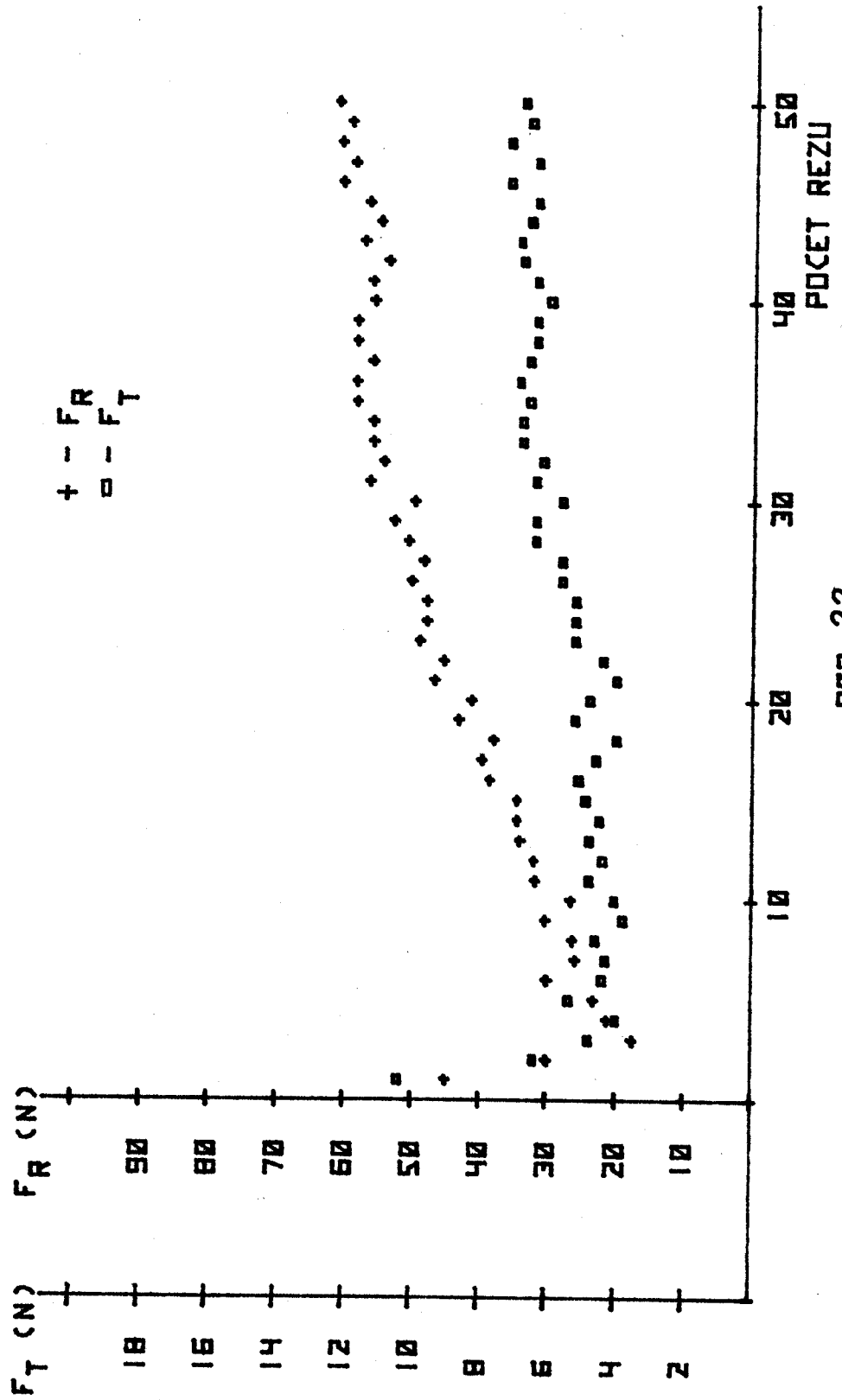


ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. B



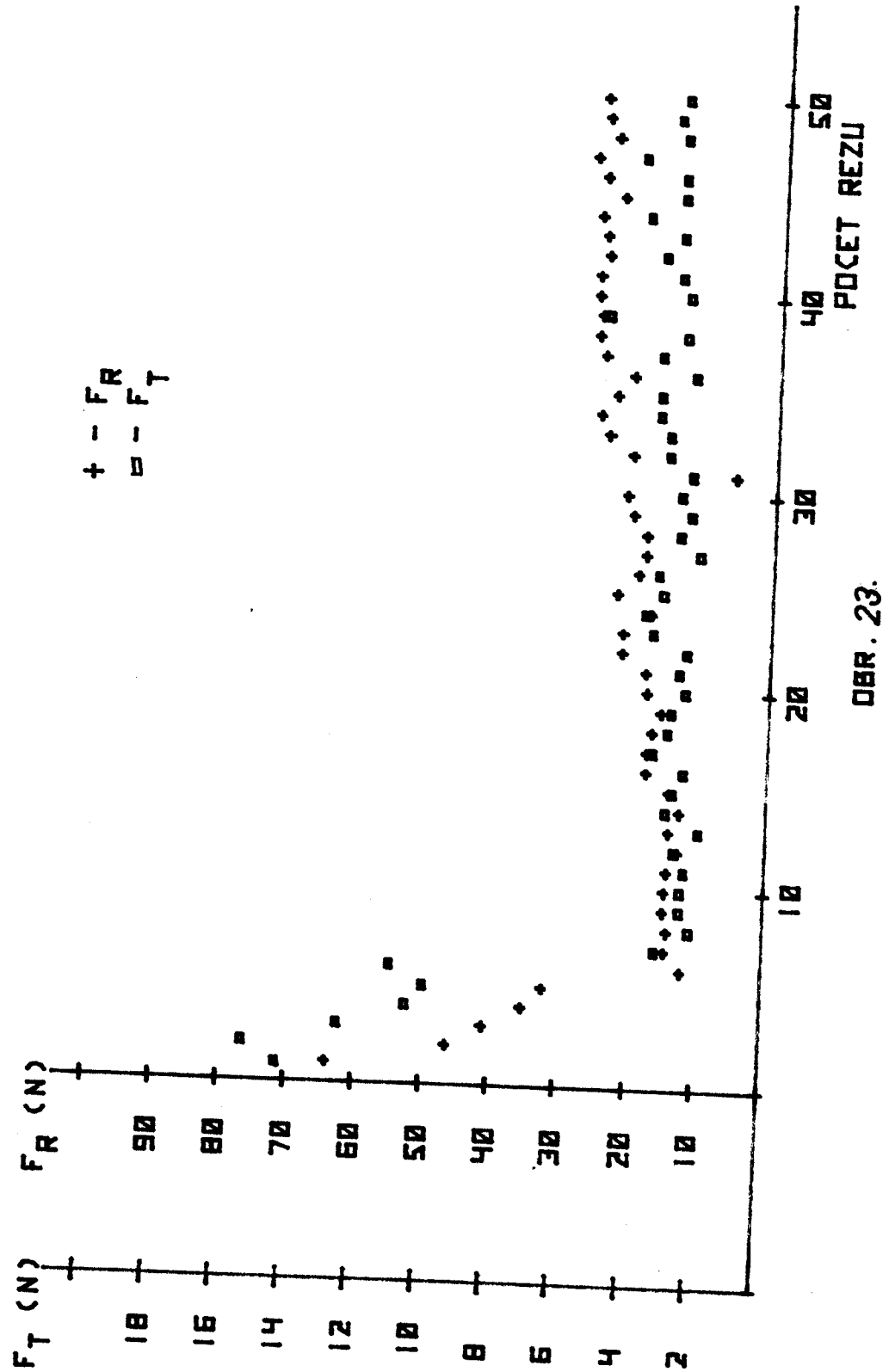
DBR. 21.

ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. 9

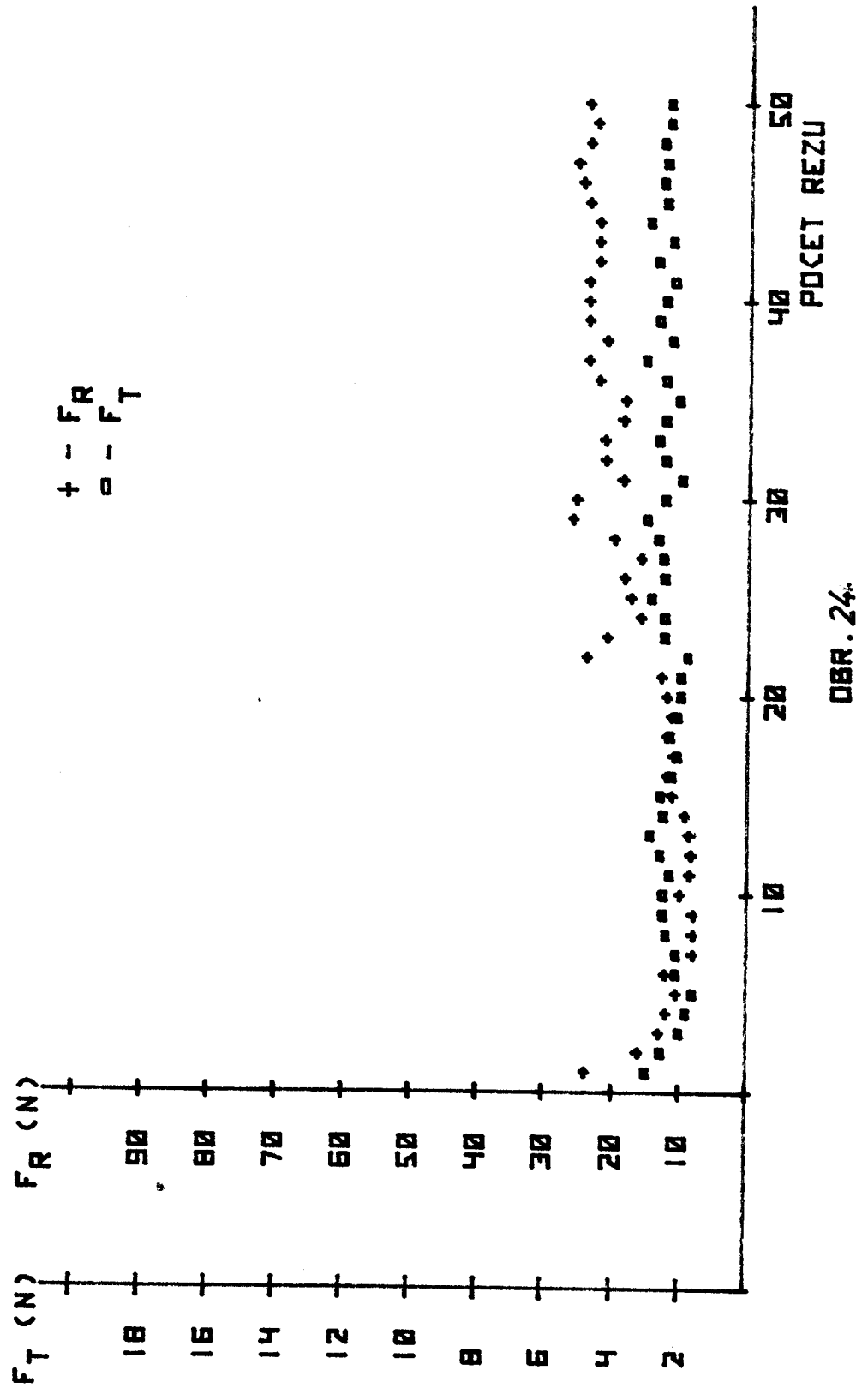


DBR. 22.

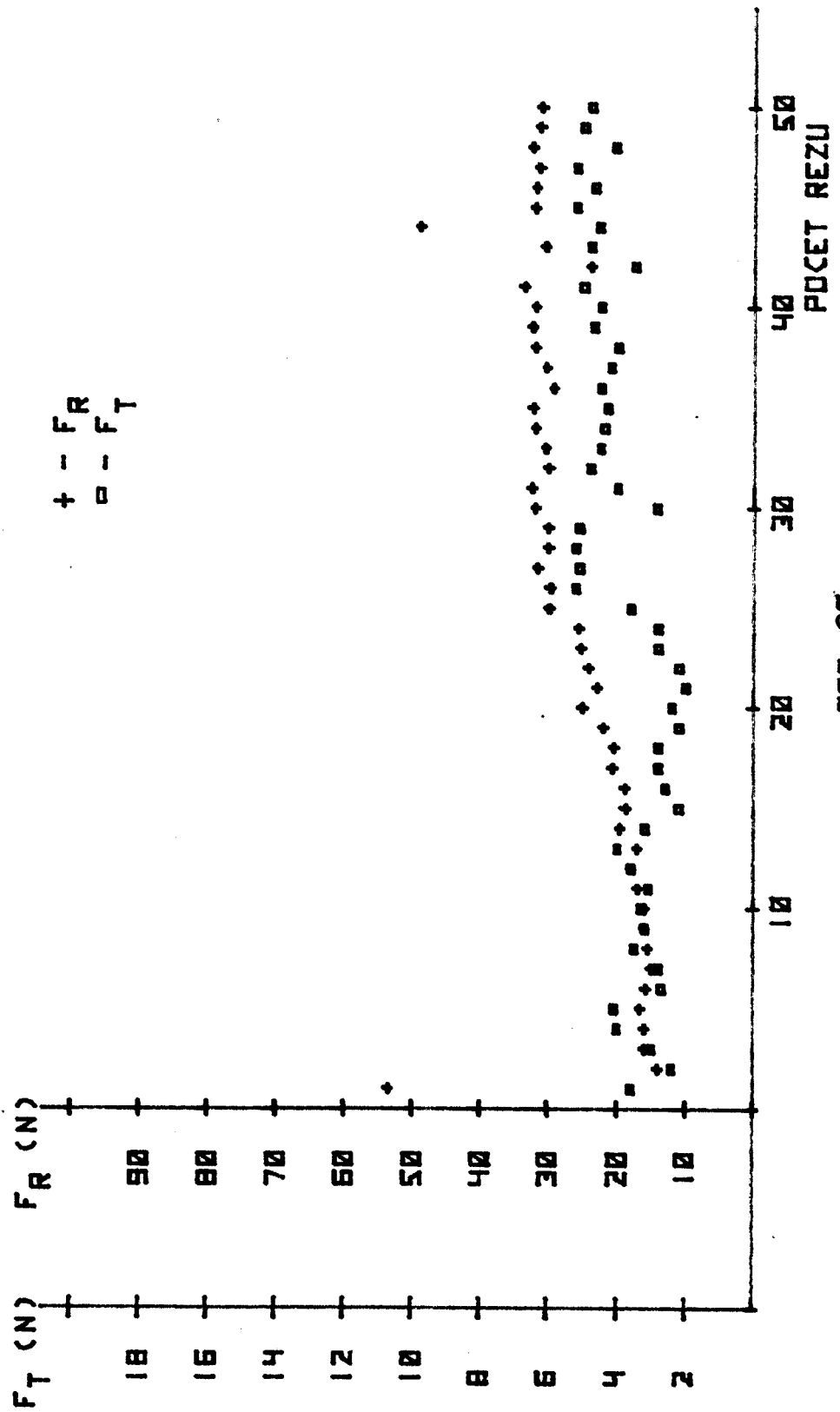
ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. 10



ZAVISLOST REZNE SILEY F_R A F_T (N) NA POCETU REZU
POKUS: C. 11

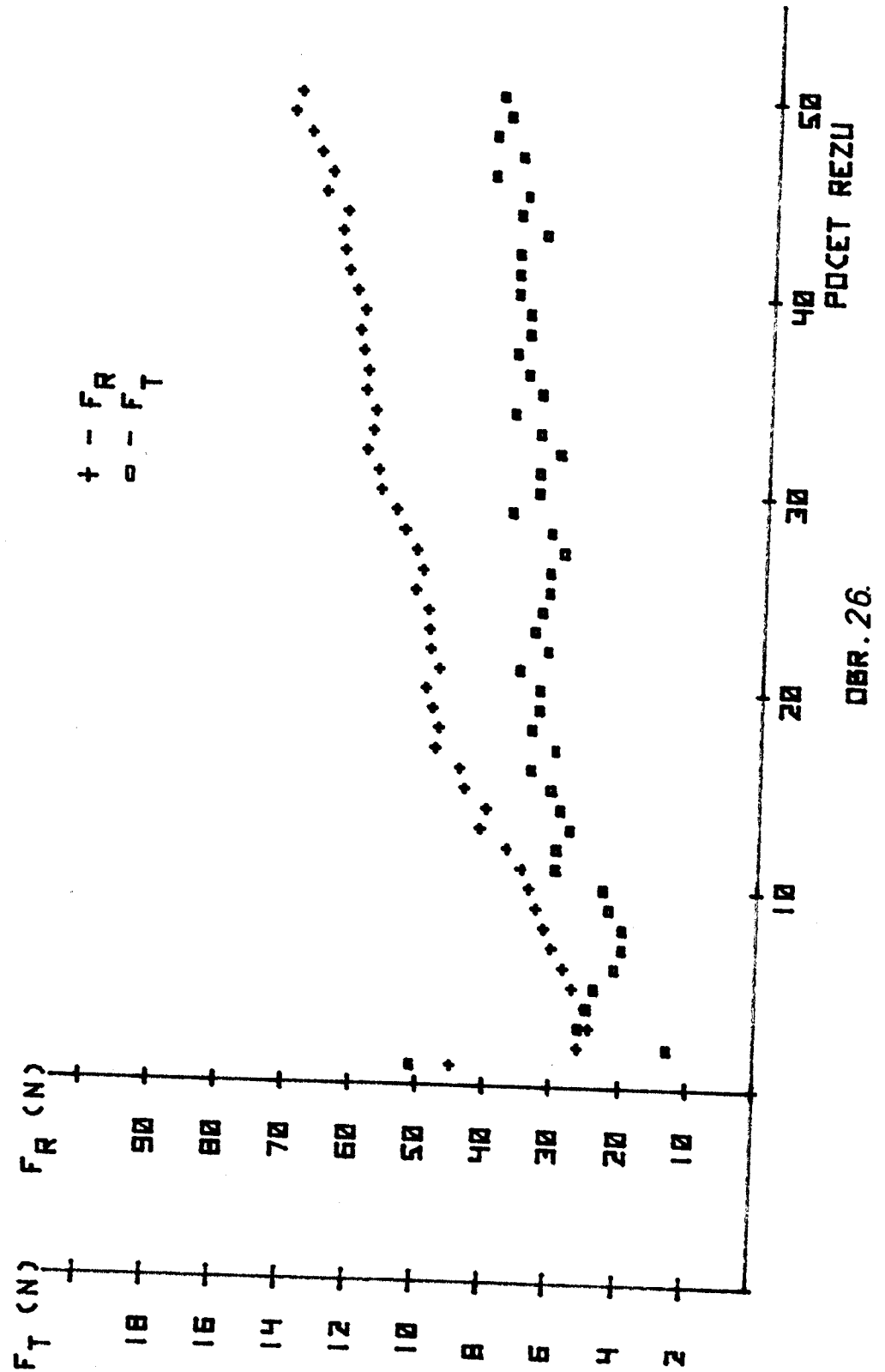


ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. 12



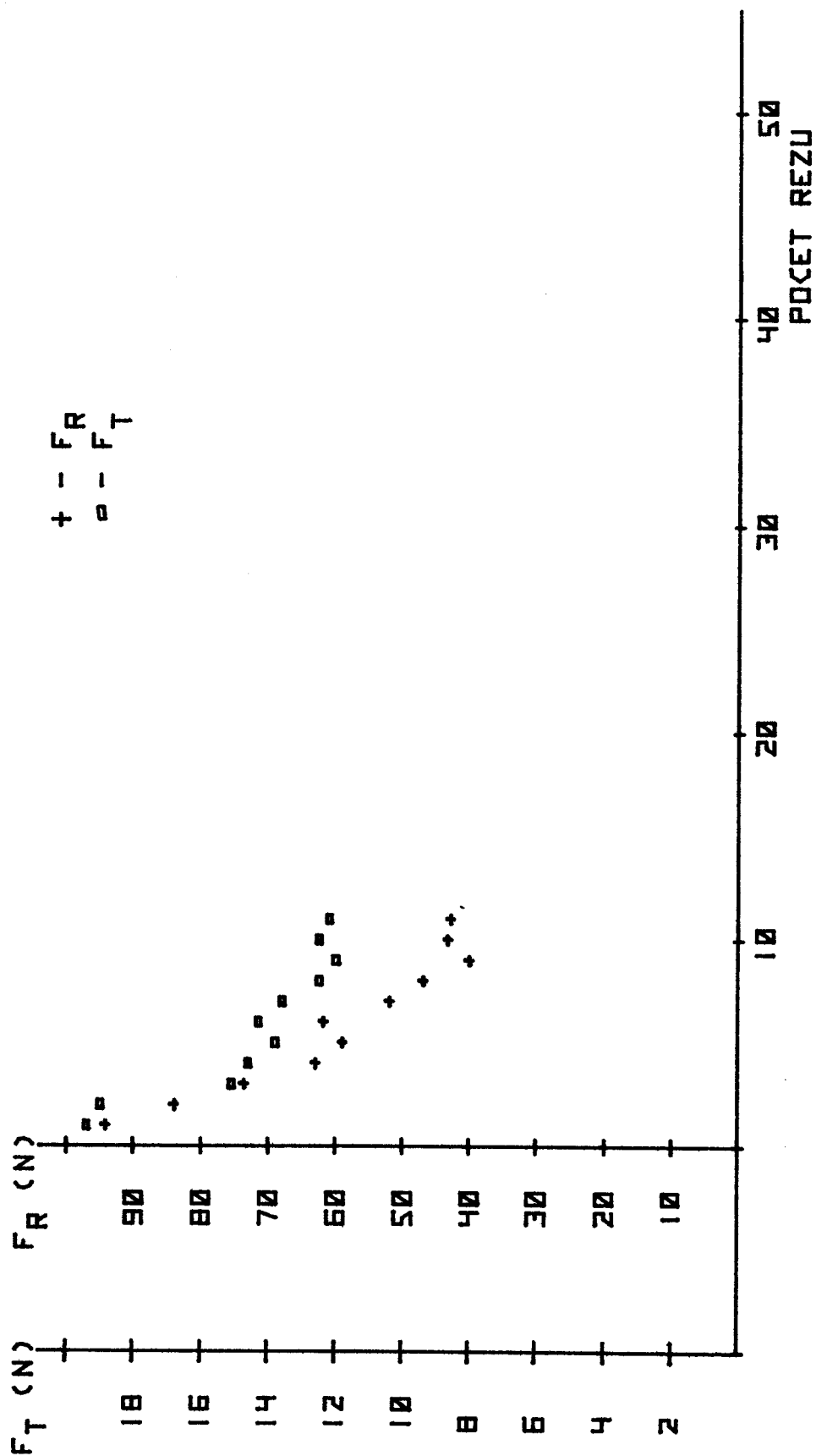
DBR. 25.

ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. 13



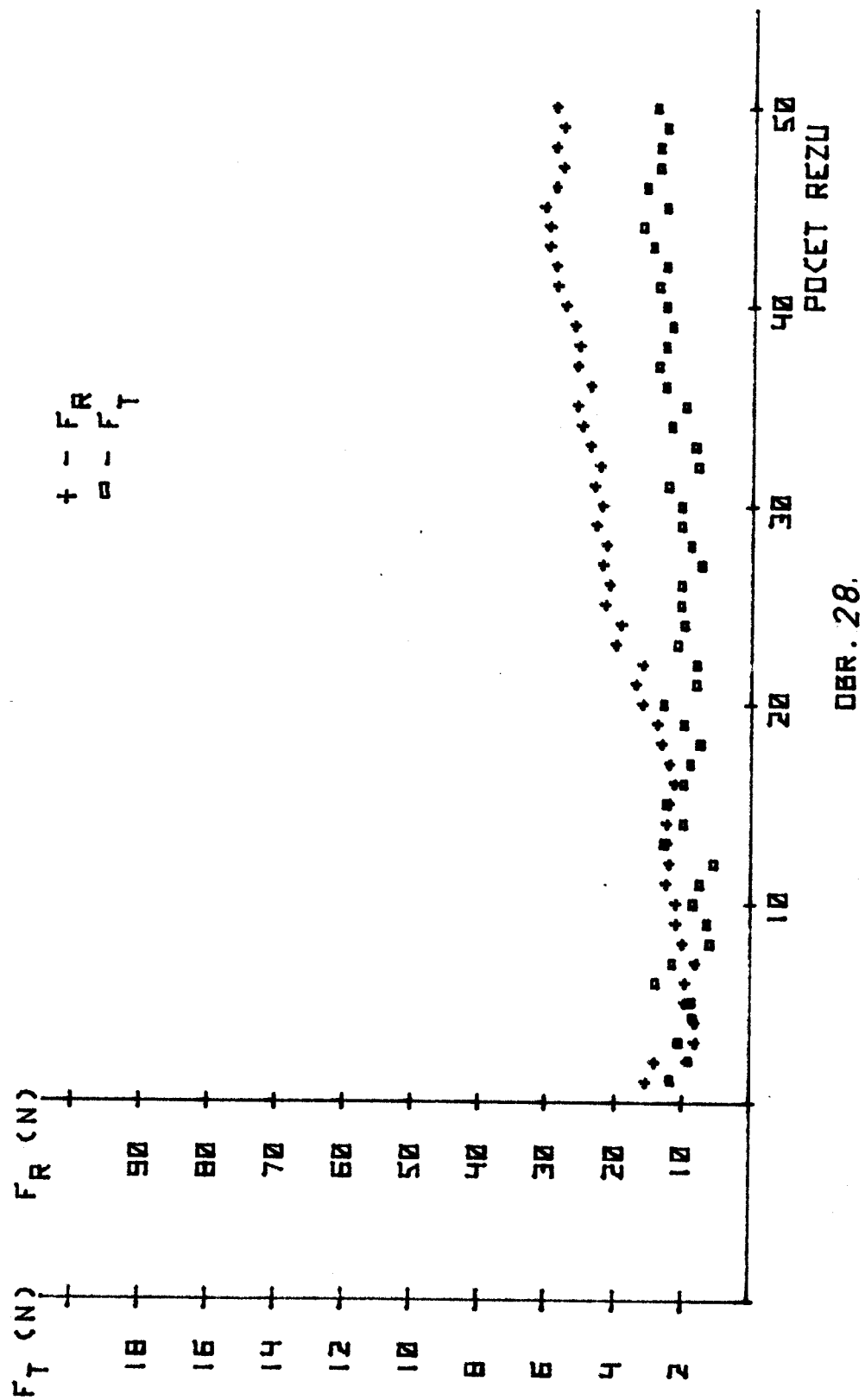
DBR. 26.

ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. 14

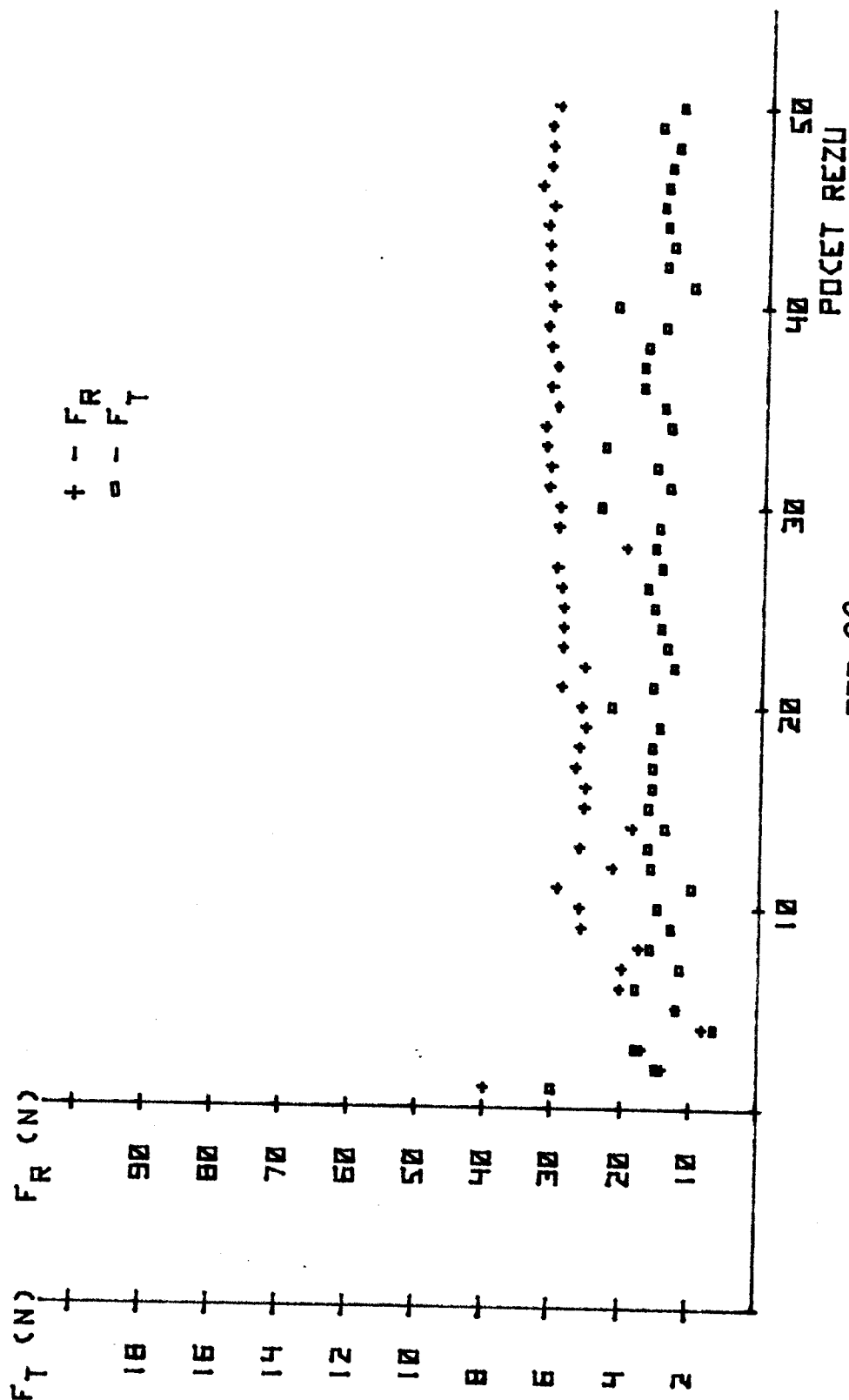


DBR. 27.

ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POČTU REZU
POKUS: Č. 15



ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
POKUS: C. 16



OBR. 29.

Na příkladu ukážeme výpočet koeficientů b_2 a a_2 pro sílu F_r .

$$b_2 = \frac{1}{16} / + 1,91100 + 1,96317 - 1,72957 - 1,92521 + \\ + 2,40807 + 2,06145 - 1,47290 - 1,95420 + 1,76470 + \\ + 1,41830 - 1,33143 - 1,72673 + 1,82158 + 1,96317 - \\ - 1,46642 - 1,50542 / = 0,13756$$

$$a_2 = \frac{0,13756}{0,23856} = 0,577$$

Stejným způsobem byly vypočteny pomocí vztahů (5) a (6) i ostatní koeficienty. Rovnice pro sílu F_r má potom tvar

$$F_r = 1645 \frac{p^{0,577} k^{0,504}}{v^{0,315} z^{1,139}} \quad (7)$$

V tabulce 10 je provedeno srovnání sil změřených a vypočtených podle rovnice (7). Největší odchylky jsou právě v případech, kdy nebylo možno dořezat 50 řezů. Je vidět, že námi původně použitá oprava /viz kapitola 3.3.2./ nebyla nejvhodnější. K úpravě rovnice jsme nevyhovující hodnoty v tabulce 9 opravili metodou prvního přiblížení. Námi vypočtené hodnoty z rovnice (7) jsme uvažovali pro další výpočet. Tabulka 11 udává velikost

sil pro výpočet opravené rovnice (8) , který se provede stejně jako u rovnice (7) , vypočtené hodnoty z opravené rovnice a odchylky. Další opravy už nepřinášejí žádoucí pokles odchylek, a proto rovnici (8) lze pokládat za konečnou. Opravená rovnice má tvar:

$$F_r = 1252 \frac{p^{0,437} k^{0,545}}{v^{0,394} z^{1,000}} \quad (8)$$

Tabulka 10.

Pokus číslo	F_{rz} /N/	F_{rv} /N/	$\Delta = F_{rv} - F_{rz}$
1	81,47	92,99	+ 11,52
2	91,87	110,90	+ 19,03
3	53,65	49,33	- 4,32
4	84,18	58,84	- 25,34
5	255,96	120,90	-135,06
6	115,20	144,10	+ 28,90
7	29,71	64,13	+ 34,42
8	89,99	76,49	- 23,50
9	58,17	46,24	- 11,93
10	26,20	55,17	+ 28,97
11	21,45	24,52	+ 3,07
12	53,30	29,26	- 24,04
13	63,30	60,09	- 3,21

14	91,87	71,86	- 20,01
15	29,27	31,89	+ 2,62
16	32,02	38,02	+ 6,00

Tabulka 11.

Pokus číslo	F_{rz} /N/	F_{rv} /N/	$\Delta = F_{rv} - F_{rz}$
1	90,00	87,88	- 2,12
2	91,87	109,55	+ 17,68
3	53,65	54,36	+ 0,71
4	84,18	67,86	- 16,32
5	130,00	110,65	- 19,35
6	140,00	137,93	- 2,07
7	60,00	68,45	+ 8,45
8	80,00	85,33	+ 8,33
9	58,17	41,28	- 16,89
10	26,20	51,42	+ 25,22
11	21,45	25,54	+ 4,09
12	53,30	31,88	- 21,42
13	66,30	51,97	- 14,33
14	70,00	64,71	- 5,29
15	29,27	31,15	+ 1,88
16	32,02	40,09	+ 8,08

Rovnice (8) byla ověřena na 3 pokusech /viz obr. 30, 31, 32/, jejichž podmínky a výsledky jsou v tabulce 12.

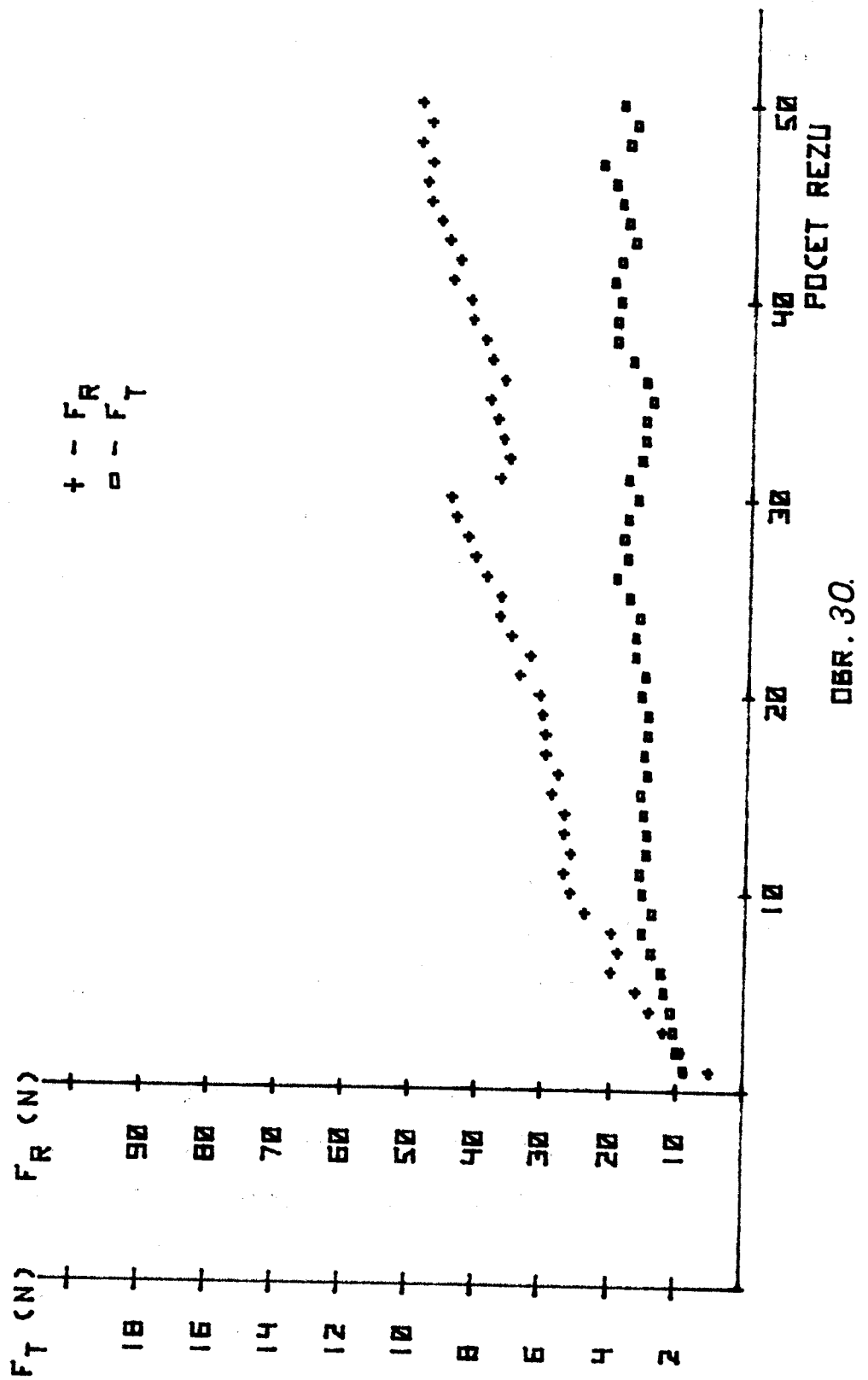
Tabulka 12.

Pokus číslo	1	2	3
v /m/s/	27,5	27,5	35,-
p /cm ² /min/	10	10	5
z / m/	160/125	125/100	260/200
k /%/	50	50	25
F_{rv} /N/	55,5	69,9	16,2
F_{rz} /N/	48,0	77,8	13,8
Δ /N/	+ 7,5	- 7,9	+ 2,4
Δ /%/	13,6	11,3	14,6

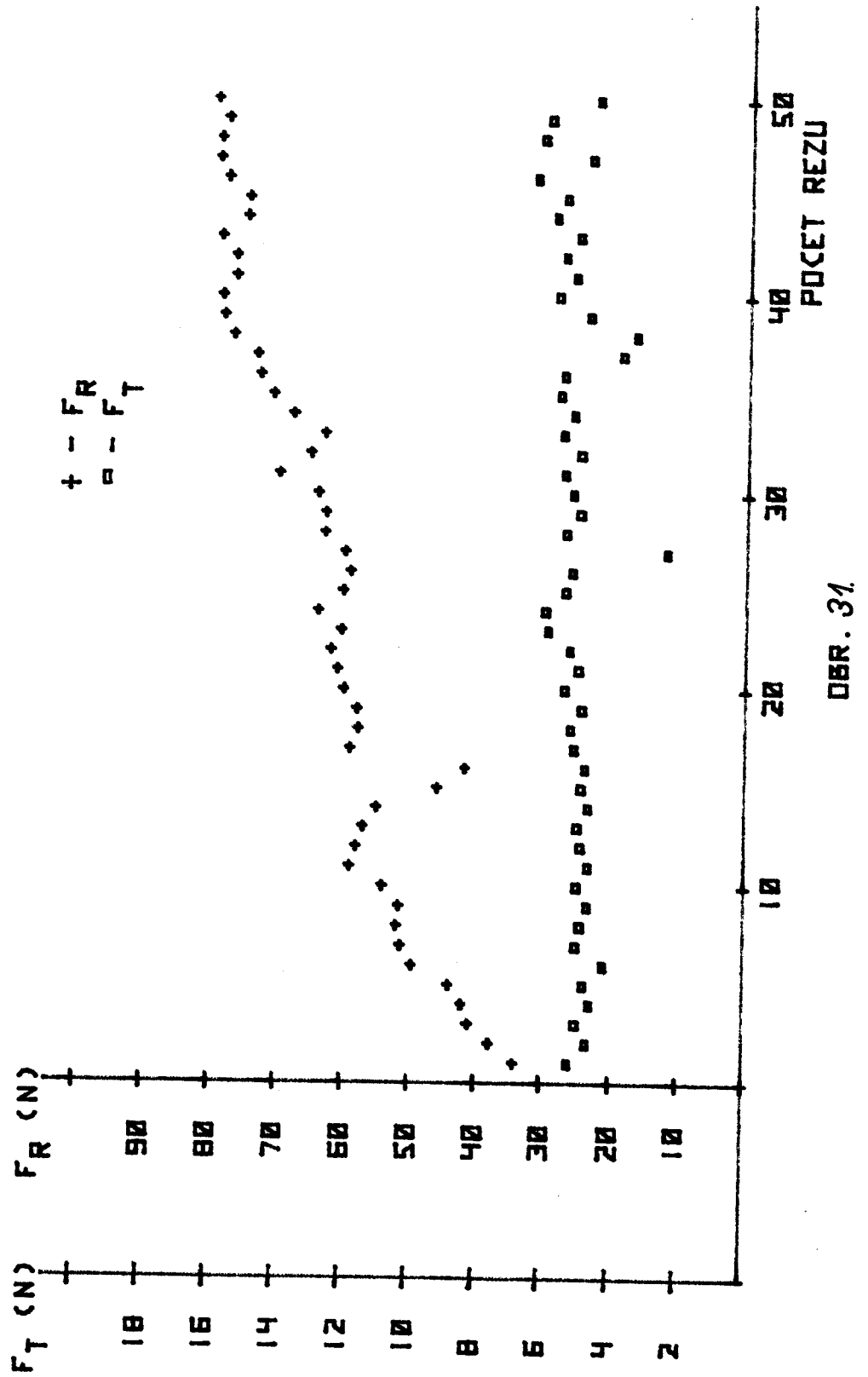
Protože výpočty rovnice (8) byly provedeny pouze jednou, k potvrzení její platnosti a zpřesnění jejích exponentů je potřeba celý pokus několikrát opakovat.

Lze předpokládat, že podobná rovnice platí i pro sílu tečnou F_t . Přestože hodnoty F_r/F_t jsou v poměru 8 - 12, nelze konstatovat, že exponenty v rovnici pro F_t se změni ve stejném poměru, protože závislost promenných je nelineární.

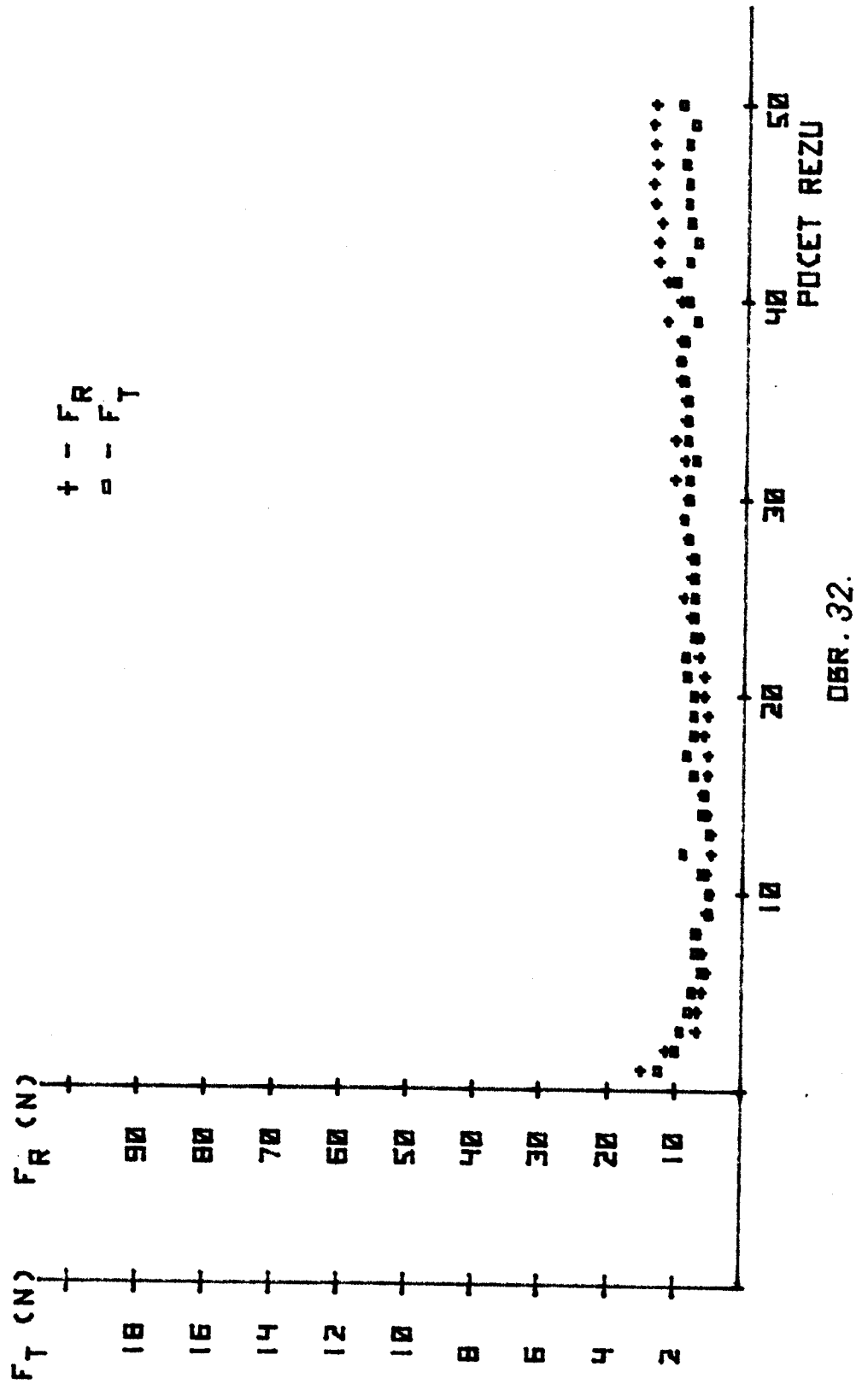
ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
OVEROVACI POKUS: C. I



ZAVISLOST REZNE SILE F_R A F_T (N) NA POCTU REZU
 ODEROVACI POKUS: C. 2



ZAVISLOST REZNE SILY F_R A F_T (N) NA POCETU REZU
OVEROVACI POKUS: C. 3



4. Základní parametry pro konstrukci speciálních pil na řezání skla.

Na základě změřených řezných sil a z literárních podkladů vyplývá, že pro konstrukci speciální pily je nutno vzít v úvahu: velikost řezné rychlosti, velikost rychlosti do řezu /úběru/ a velikost řezných sil.

4.1. Velikost řezné rychlosti.

Literární prameny /8/ doporučují pro diamantový nástroj interval řezných rychlostí v rozmezí 20 - 35 m/sec. Měření prokázalo, že tento interval je vhodné zvýšit na dolní hranici minimálně na 25 m/sec. V případě vhodného chladicího prostředí by bylo možné v budoucnu zvýšení řezné rychlosti na 40m/sec. a více.

4.2. Velikost rychlosti do řezu.

Vlastní měření proběhlo v rozmezí hodnot úběru 5 - 15 cm²/min. a ukázalo, že v praxi je tento interval možné využít. Zvolenou rychlost je ale nutné korigovat s ohledem na tloušťku řezaného materiálu. Při řezání tenkých desek je možné zvýšit rychlost do řezu, ale je nutné uvážit počet pracujících zrn dotykové oblasti. Z laboratorního měření je možné stanovit násled-

dující rychlosti do řezu:

Tabulka 13.

Síla skla	rychlost posuvu /cm/min/ při úběru	
	5 cm ² /min	15 cm ² /min
3 mm	17	50
30 mm	1,7	5,0

Při řezání skel tenčích bereme rychlost z velikosti 5 cm²/min., pro silnější sklo /ve většině případů, nebude velmi záležet na kvalitě povrchu/ z hranice 15 cm²/min.

Pro konstrukci navrhuji posuv stolu ovládaný hydraulicky s rychlostí do řezu v rozmezí 5 - 17 cm/min.

4.3. Velikost řezných sil.

Z naměřených velikostí řezných sil a z možnosti jejich zvýšení je možné předpokládat toto:

K pohonu stolu je nutné překonávat radiální sílu F_r , t.j. maximálně 500 N, a podle toho volit velikost pracovního válce. Na základě poměru F_r/F_t /viz kap.

3, 4/ vyvolá radiální síla F_r tečnou sílu F_t o maximální hodnotě 70 N. Pohon vřetene musí vyvodit krouticí moment na nástroji

$$M_k = F_t r = 70 \cdot 0,1 = 7 \text{ Nm}$$

Z á v ě r .

XV. sjezd KSČ letos v dubnu vytýčil nemalé úkoly ve všech oblastech života naší společnosti. Hlavní důraz klade na racionalizaci a automatizaci výroby. Ve sklářském průmyslu jsou hlavní oblasti rozvoje zaměřeny na rozšíření výroby skleněného vlákna, plaveného skla a obalového skla. Ale nelze opomíjet další oblasti výroby a zpracování skla, mezi které patří také třískové obrábění skla. Obrábění skla se nachází zatím v přechodné oblasti vývoje, neboť moderní diamantové nástroje se často používají na zastaralém strojním zařízení, za nevhodných pracovních podmínek, jejichž důsledkem se obrábění stává neekonomické. Bez úplné teorie obrábění skla není možné stanovit komplexní podklady pro konstrukční návrhy na moderní řezací poloautomaty a automaty.

Ve své práci jsem sestavil pořadí faktorů podle velikosti jejich vlivu na proces řezání. V podmínkách daných naším strojním zařízením a nástroji, které byly k dispozici, byly vybrány jen čtyři faktory. Velikost jejich vlivu klesá v tomto pořadí:

1. Velikost úběru p / $\text{cm}^2/\text{min.}/$
2. Koncentrace k /%/
3. Řezná rychlost v / $\text{m}/\text{sec}/$
4. Zrnitost z / $\mu\text{m}/$

Řada faktorů /např. pojivo, chladicí kapalina a pod./ byla pominuta, protože nebylo možné je v průběhu zkoušek měnit.

V další části své diplomní práce jsem stanovil rovnici, kterou se řídí velikost síly F_r v závislosti na výše uvedených faktorech. Rovnice má tvar:

$$F_r = 1252 \frac{p^{0,437}}{v^{0,394}} \frac{k^{0,545}}{z^{1,000}}$$

Zatím byla její platnost ověřena na třech pokusech, konečné chyby nebyly větší než 15%. Při několika opakováních celého faktorového pokusu by bylo možné upřesnit velikosti jednotlivých exponentů.

V současné době lze z tohoto měření stanovit pro konstrukci speciální pily vhodný rozsah řezných rychlostí v tomto intervalu 25 - 35 m/s .

Podle tloušťky řezaného skla doporučuji hydraulicky ovládaný posuv stolu s rychlostí do řezu 5 - 17 cm/min.

K pohonu stolu je nutné překonat radiální sílu F_r maximálně 500 N. Na vřetenu stroje musí pohonná jednotka

vyvodit krouticí moment 7 Nm.

Práce na státním výzkumném úkolu "Diamant" již skončila. Výzkumu ale pokračují na katedře skla a keramiky na VŠST Liberec a na dalších vědeckovýzkumných pracovištích nejen v ČSSR, ale i v sovětském ústavu "ISN AN USSR" v Kyjevě. Lze proto předpokládat nejen potvrzení a upřesnění dosavadních výsledků, ale i zjištění nových vlivů a závislostí.

Závěrem bych chtěl poděkovat Ing. J. Sixtovi a Ing. V. Klebsovi za všestrannou pomoc při řešení zadaného úkolu, doc. Bruthansovi za odborné konsultace při zpracovávání výsledků a s. Niesigovi za obětavou péči o měřicí zařízení.

Seznam použité literatury.

1. Ing. Sixta J. - Opracování skla diamantovými nástroji /písemná část odborné zkoušky kandidátského minima - VŠST Liberec - 1975/
2. Ing. Ouhrabka L. - Vliv koncentrace a zrnitosti diamantů při řezání plochého skla kotoučovou pilou /diplomní práce VŠST Liberec - fakulta strojní - 1975/
3. Tichomirov V. B. - Matematické metody plánování pokusu při výzkumu netkaných textilií - vydavatelstvo "Legkaja industrija" - Moskva 1968
4. Maslov a kol. - Základy theorie broušení kovů /SNTL Praha - 1953 - vydání I./
5. Felix, Bláha - Matematicko-statistické metody v chemickém průmyslu /SNTL Praha - 1962 - I. vydání/
6. Ing. Haberle, Skřivan - Matematicko-statistické metody plánování a vyhodnocování experimentů /SVÚS Hradec Králové, informativní přehled, ročník 9, 1-2/1968/
7. Bakul a kol. - Spravočnik po almaznoj obrabotke metalorežuščego instrumenta /Kyjev - Technika 1971/
8. - Diamond tool's in the stone industry /firemní literatura Diamant Boart, Bruxelles/
9. Ing. Sixta J. - Z činnosti Výzkumného ústavu velmi tvrdých materiálů AV - ÚSSR /Sklář a keramik, 25, 1975, č. 2/
10. Reznikov - Almaznyje režuščije instrumenty /Kujbyšev 1964 - vydání I./

11. Ing. Vítek - Hodnocení pilových kotoučů pro řezání
rubínů /diplomní práce VŠST Liberec - fakulta stroj-
ní - 1972/
12. - Sklář a keramik, 5, 1973, 28, str. 141 - 143.
13. Kříž, Vrána - Diamantové nástroje a jejich použití
v průmyslu /SNTL Praha 1965, vydání I./