

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: obrábění a organizace

Fakulta: strojní

Školní rok: 1965/66

DIPLOMNÍ ÚKOL

pro

Vladimíra Gabriela

odbor

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

Název tématu: Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stanovení modulu pružnosti

Pokyny pro vypracování:

- 1) Zhodnoťte zadání po stránce politicko-hospodářské
- 2) Uveďte přehled vlastností brusného kotouče
- 3) Vypracujte činitele ovlivňující modul pružnosti brusných kotoučů
- 4) Navrhněte metody pro stanovení modulu pružnosti a její zdůvodnění
- 5) Uveďte měření vzorků dřívějšími metodami a navrženou metodou a porovnejte výsledky
- 6) Shrňte poznatky a proveďte ekonomickou úvahu

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III, 2 z. dne 13. července 1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 z. dne 31.8.1962 § 19 autorského zákona č. 115, Sb. Sb.,

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

V 30/66 S

Rozsah grafických laboratorních prací: 4 - 5 výkresů, diagramy

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 60 stran

Seznam odborné literatury: Maslov: Základy teorie broušení kovů, Praha, SNTL, 1953
Kolektiv: Einführung in die Schleiftechnik
Říčka: Vlastnosti brusného kotouče a jejich hodnocení
Strojírenství, č.5, 1960, 10
Říčka: Hodnocení funkčních vlastností brusných nástrojů,
1965, 15
Strojírenství č.7

Vedoucí diplomní práce: Ing. Jan Šálek CSc

Konsultanti: Ing. Jaromír Gazda

Datum zahájení diplomní práce: 26. 9. 1966

Datum odevzdání diplomní práce: 5. 11. 1966

L. S.



Draský

Vedoucí katedry

Doc.ing. Jaroslav Draský

Höschl

Děkan

Prof.ing. Cyril Höschl

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotevů na podkladě stan- ovení modulu pružnosti.	DP - SE 453/66 5. LISTOPADU 1986 Vladimír Gabriel
<u>DIPLOMOVÁ PRÁCE</u>		

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stanove- ní modulu pružnosti.	DP - ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel

<u>O b s a h .</u>		
	str.	
1.	Úvod	1
2.	Přehled vlastností brusného nástroje	4
2.1.	Materiál brusných zrn	5
2.1.1.	Umělý korund	5
2.1.2.	Karbid křemíku	6
2.1.3.	Karbid bóru	6
2.2.	Zrnitost	6
2.3.	Tvrdost brusného nástroje	7
2.3.1.	Subjektivní metoda	8
2.3.2.	Metoda Zeiss-Mackensenova	8
2.3.3.	Vtlačování kuličky	9
2.3.4.	Vyvrtávání dílku	10
2.3.5.	Gradeometr	10
2.3.6.	Vtiskování ohřátého kužele	11
2.3.7.	Lindnerova metoda	11
2.3.8.	Peklenikova metoda	11
2.4.	Pojivo	12
2.4.1.	Keramické pojivo	12
2.4.2.	Bakelitové pojivo	13
2.4.3.	Gumové pojivo	14
2.4.4.	Magnesitové pojivo	14
2.4.5.	Silikátové pojivo	14
2.5.	Struktura brusných nástrojů	14
2.6.	Kontrola jakosti brusného kotouče zjišťo- váním jeho vlastností při broušení	16

VŠST LIBEREC		Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stano- vení modulu pružnosti.		DP - ST 453/66
				5. LISTOPADU 1966
				Vladimír Gabriel
3.	Vlivy působící na modul pružnosti brusných nástrojů	str.	19	
3.1.	Vliv pórovitosti		19	
3.2.	Vliv množství pojiva		21	
3.3.	Vliv velikosti zrna		22	
3.4.	Vliv teploty vypalování		22	
4.	Stanovení modulu pružnosti brusných nástrojů		25	
4.1.	Zkušební metody		25	
4.1.1.	Metoda ohybová		25	
4.1.2.	Metoda měření vlastní frekvence příč- ných kmitů		27	
4.1.3.	Dvojkyvadlová metoda Rolland-Sorinova		28	
4.2.	Zdůvodnění výběru metody		32	
4.3.	Výpočet tuhosti brusného kotouče		33	
5.	Vlastní měření		40	
5.1.	Měřicí zařízení		40	
5.1.1.	Oscilografický záznam průběhu zázneje		43	
5.2.	Výběr vzorků		45	
5.3.	Měření vzorků metodou Zeiss-Macken- senovou		45	
5.4.	Měření vzorků metodou Rolland-Sorinovou		46	
6.	Porovnání výsledků Zeiss-Mackensenovy a Rolland-Sorinovy metody		55	
7.	Závěr		58	
	Použitá literatura		60	
Přílohy: výkresy DP - 453/66 - 01				
DP - 453/66 - 02				

VŠST
LIBEREC

Určování tvrdosti brusných
kotoučů na podkladě stano-
vení modulu pružnosti.

DP - ST 453/66

5. LISTOPADU 1966

Vladimír Gabriel

... se řídí směnicemi MŠK pro státní
... 31 727/62-11, 2, ze dne
13. 8. 1962, 19. Věstník MŠK, ze dne
31. 8. 1962, 19. autorského zákona č. 115/59 Sb.

1.

Ú v o d .

V současné době, kdy se náš průmysl a zvláště strojírenská výroba řadí mezi nejvýspělejší na světě, je základním úkolem udržovat krok se světovým vývojem. Není možné pouze pasivně přejímat poznatky, vytvořené ve výzkumných střediscích v cizině, ale je nutné podílet se aktivně na výzkumu a aplikaci jeho výsledků v praxi. K uskutečnění těchto předpokladů a rozšíření stávajícího výzkumu má přispět i nová soustava řízení národního hospodářství.

Ve strojírenské výrobě je stále nejrozšířenější operací třískové obrábění. Z veškeré pracovní výroby na něj připadá stále více než 30 %. Třískové obrábění je doposud těžko nahraditelné v operacích, kde chceme dosáhnout co největší přesnosti a dokonalosti tvaru výrobku, a je nepostradatelné při dokončovací operacích. Nevýhodou třískového obrábění jsou značné ztráty při obrábění přídavků po předchozích operacích. Je proto snaha přecházet ve velkoseriové a hromadné výrobě na produktivnější beztřískové zpracování, jako je přesné lití a kování, tváření, svařování a prášková metalurgie. Tím se snižuje procento klasického třískového obrábění, frézování, soustružení, hoblování a pod. Na druhé straně však neustále roste podíl broušení, které je u přesných polotovarů základním druhem třískového obrábění. V automobilovém průmyslu, který lze považovat po stránce technologické za nejvýspělejší, je podíl brusek v parku obráběcích strojů kolem 30 % a neustále roste. Broušení,

jako hrubovací i dokončovací operace, přináší vysoké úspory na nástrojích a přípravcích. Dalším zdrojem úspor jsou menší přídavky u přesných polotovarů pro broušení. Firma Norton zjistila, že zavedením brusného obrábění by se ušetřilo v USA ročně 14 miliard dolarů vynakládaných na obrábění velkých přídavek a 18 milionů tun kovu.

Pro praxi je rozhodující výsledek broušení, který závisí obecně na vlastnostech brusného nástroje a na pracovních podmínkách. K dosažení maximální efektivity broušení je tedy nutno přesně stanovit brusné režimy a znát přesně vlastnosti brusného nástroje. To je důležité zvláště pro automatizovanou výrobu, kde potřebujeme brusné nástroje vysoké a hlavně standardní jakosti. AZNP Mladá Boleslav má na př. potíže s broušením osazených hřídelů dvěma kotouči současně; stává se, že jeden z kotoučů je tvrdší a ubývá pomaleji. Přípustné tolerance je pak obtížné dodržet, je nutno kotouče často prohnávat a produktivita linky klesá.

Pro posuzování vlastností brusných nástrojů nejsou dosud vypracovány spolehlivé a objektivní metody, které by zaručily stejné vlastnosti kotoučů výrobcem stejně označených. Je proto důležité jednak zkvalitnit výrobu brusných nástrojů a odstranit subjektivní vlivy, působící na jakost nástroje ve výrobě, jednak vytvořit nové metody zkoušení brusných nástrojů, které by jednoznačně nástroj klasifikovaly.

Tato práce podává stručný přehled základních vlastností brusného nástroje a metod, používaných pro jejich zkoušení a zabývá se dále poměrně novým způsobem zjišťování jedné z nejdůležitějších vlastností brusného nástroje - tvrdosti - na základě měření modulu pružnosti.

VŠST
LIBEREC

Určování tvrdosti brusných
koteučů na podkladě stano -
vení modulu pružnosti.

DP-ST 453/66

5. LISTOPADU 1966

Vladimír Gabriel

Lze očekávat, že modul pružnosti jako kritérium tvrdosti brusného nástroje přinese některé další poznatky v oblasti brusiva a broušení, umožní zkvalitnit brusný proces a dodržet standard jakosti, který je důležitým ukazatelem technické úrovně brusných nástrojů.

2.

Přehled vlastností brusného nástroje.

Jak bylo řečeno v úvodu, je dokonalá znalost vlastností brusného nástroje pro moderní automatizovanou výrobu nezbytná. Pro další rozvoj technologie broušení je proto důležité rozšířit poznatky nejenom o broušení jako obráběcím procesu, ale i o vlastnostech brusného nástroje samotného.

Brusný nástroj je tvořen velkým množstvím brusných zrn navzájem spojených mřížkou pojiva. Je charakterizován těmito základními veličinami:

- 1/ materiál brusných zrn
- 2/ zrnitostí
- 3/ tvrdostí nástroje
- 4/ druhem pojiva
- 5/ strukturou

Označení brusných nástrojů podle normy ČSN 224010 přesně určuje všech pět základních parametrů.

materiál brus.zrn	zrnitost	tvrdost	struktura	druh pojiva
A 99	46	L	8	V

2.1. Materiál brusných zrn.

Každé brusné zrno přicházející do styku s broušeným materiálem tvoří v podstatě miniaturní řezný nástroj. Z toho hlediska je nutno posuzovat vhodnost tvaru a mechanických i fyzikálních vlastností zrn.

1/ Geometrie zrna by měla být taková, aby řezné úhly byly optimální.

2/ Zrno musí být velmi tvrdé, značně tvrdší než broušený materiál, nesmí však být křehké a musí mít dostatečnou dynamickou pevnost.

3/ Vzhledem k trvanlivosti zrna požadujeme velkou tepelnou vodivost a vysoký bod tání zrna.

4/ Zrno musí být odolné proti opotřebení třením.

Těmto požadavkům nejlépe vyhovují:

a/ přírodní materiály: přírodní korund
smírek
diamant

b/ umělé materiály : umělý korund
karbid křemíku
karbid bóru

Přírodní materiály se v současné době téměř nepoužívají. Mají totiž menší chemickou čistotu, než materiály umělé.

2.1.1. Umělý korund /elektrokorund/

Umělý korund je krystalický kysličník hlinitý Al_2O_3 . Podle obsahu nečistot, hlavně

kysličníku železitého, vápenatého a křemičitého, dělíme korund na bílý, s obsahem 98-99% Al_2O_3 , nebo hnědý a černý, s obsahem 93-98% Al_2O_3 . Vyrábí se také růžový korund s příměsí kysličníku chromitého, který je houževnatější a tvrdší.

Umělý korund je velmi tvrdý a snáší teploty až 2050°C. Je tedy vhodný pro broušení slitin s velkou pevností v tahu, jako je ocel, temperovaná litina a pod. Z elektrokorundu se vyrábí asi 70% všech brusných nástrojů.

2.1.2. Karbid křemíku.

SiC se vyrábí v elektrických odporových pecích redukcí kysličníku křemičitého koksem. Technický karbid křemíku je podle obsahu velkého uhlíku zelený, s aspoň 97% SiC , šedý nebo černý. Karbid křemíku má vysokou tvrdost, vyšší než elektrokorund a rubín. Užívá se hlavně k broušení křehkých materiálů, ale lze jej použít i pro ocel.

2.1.3. Karbid bóru.

Používá se sice velmi málo pro vysokou cenu, přestože má některé výhodné vlastnosti, zvláště vysokou tvrdost. Získává se z kysličníku boritého karbidizací. Technický obsah je asi 85-95% B_4C . Vyrábí se pouze jako lapovací prášek.

2.2. Zrnitost / ČSN 224013-14 /

Po vyjmutí z elektrické pece se drůzy krystalů brusiva drtí, zrno se chemicky čistí a suší. Vysušené zrno se třídí na sítích. Zrni-

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stanovení modulu pružnosti.	DP - ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel

test je udána číslem, které představuje počet ok síta na délce 1", kterým zrno naposled propadne. Průměr drátu sít s různě velkými oky je různý a je dán normou. Zrna jemnější než 240 se třídí plavením. Jsou pak označena číslem, které udává dobu v minutách, potřebnou k sedimentaci. Zrno označené určitým číslem může obsahovat část zrn hrubších a jemnějších. Přípustný obsah zrn jiných velikostí je určen normou.

Kontrola zrnitosti se provádí proséváním na kontrolních sítích; 6 minut pro zrnitost 8 - 120, 10 minut pro zrnitost nad 120. Zrna M 32 až M 5 se kontrolují mikroskopickým rozbořem při 600násobném zvětšení. Pro kontrolu zrnitosti již hotových nástrojů je nutno pojivo chemicky rozrušit.

2.3. Tvrdest brusného nástroje.

Tvrdest brusného nástroje je v podstatě funkcí tvrdosti a pružnosti pojiva, jeho soudržnosti se zrnem, množství, velikosti a tvaru místků pojiva, množství a velikosti brusného zrna. Tvrdest brusného zrna nemá podstatný vliv na tvrdest brusného nástroje.

Při broušení je třeba použít nástroj takové tvrdosti, aby se zrno po otupení rostoucí řeznou silou samo vydrelilo. Je-li nástroj příliš tvrdý, nevyloupnou se otupená zrna a kotouč pálí, je-li naopak nástroj měkký, rychle ubývá. Brousíme proto tvrdé materiály měkkými kotouči a naopak. Pro měď, mosaz, hliník a pod. pravidlo neplatí, protože tvrdé kotouče se těmito materiály zanášejí.

7

Označování tvrdosti brusných nástrojů je obsaženo v ČSN 224011 a je provedeno pís - meny E až Z od měkkého až po zvláště tvrdý .

Pro měření tvrdosti brusného nástro - je bylo vytvořeno značné množství metod, z nichž jen několik je prakticky použitelných. U většiny způsobu jde o vylamování zrna z pojiva.

2.3.1. Subjektivní metoda. / obr.1 /

Používá se zatím velmi často. Do brusné - ho nástroje se rýpe ruční škrabkou a podle značných praktických zkušeností, které jsou v tomto případě nutné, se odhadne tvrdost.

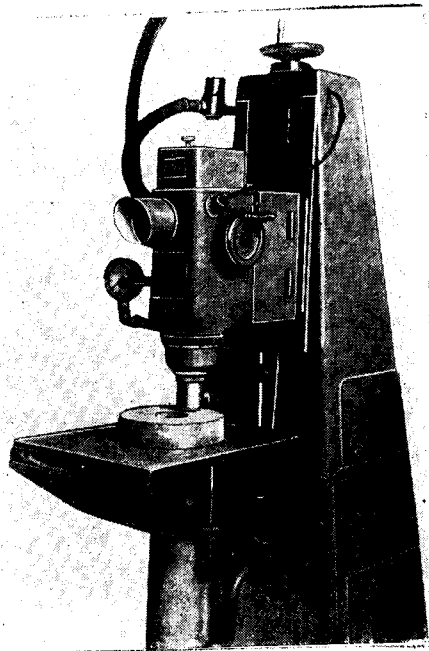


Obr.1. Ruční škrabka.

2.3.2. Metoda Zeiss-Mackensenova.

Vedle subjektivní metody je Zeiss-Mackensenův způsob jediný, který se u nás běžně používá pro zrnitost 10 - 100 a ke - ramické a bakelitové pojivo. Měřítkem tvr -

desti je hloubka důlku, který vznikne v nástro-
ji tryskáním 28 cm³ křemičitého písku. Cejcho-
vání přístroje se provádí seřizováním trysky tak,
aby ve skleněné desce vznikl důlek hloubky
2,13 mm. Na tomto principu pracuje i sovětský
přístroj TF 21-1 /obr.2/ .



Obr.2. Přístroj TF 21 - 1 .

2.3.3. Vtlačování kuličky.

Pro brusné nástroje s keramickým a ba -
kelitovým pojivem zrnitosti 100-M 14 se pou -
žívá vtlačování kuličky 1/4" nebo 1/8" na
Rockwellově přístroji. Měřítkem tvrdosti je
hloubka vtisku.

Ve VÚVL byla navržena metoda, umožňují -
cí zkoušet na Rockwellově přístroji kotouče
hrubšího zrnění a otevřenější struktury. Uží -
vá se kuličky s ploškou /obr.3b/ .

a/ b/

Obr.3. Vtlačování kuličky.

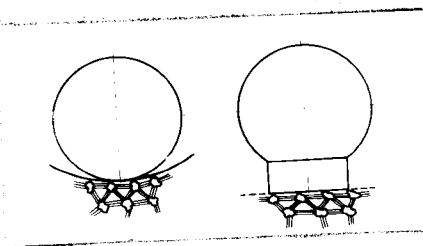
Jak je z obrázku patrné, obsáhne ploška více
zrn a měření je přesnější.

2.3.4. Vyvrtávání důlku.

Pro zkoušení tvrdosti kotoučů s gumo -
vou vazbou se v SSSR používá vyvrtávání důlku
speciálním plochým vrtákem, zatíženým konstant -
ní silou. Tvrdost kotouče je udána počtem otá -
ček potřebných k vyvrtání důlku hloubky 2,5mm.

2.3.5. Gradeometr.

Gradeometr měří tvrdost vnikáním dlát -
ka průřezu 2 x 0,8 mm postupnými rázy za sou -
časného otáčení. Měřítkem tvrdosti je hloubka
důlku po určitém počtu rázů. Gradeometr je
vhodný pro všechny druhy brusných nástrojů s
keramickou vazbou.



2.3.6. Vtiskování ohřátého kužele.

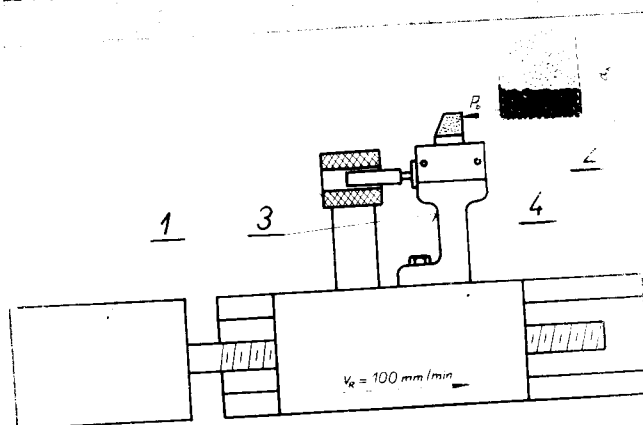
Pro koteuče s gumovou vazbou byla vyvi-
nuta metoda měření tvrdosti vtlačováním elek-
tricky ohříváného kužele. Měřítkem tvrdosti je
hloubka vtisku. Na tomto principu pracuje sovět-
ský přístroj TK-NP 3.

2.3.7. Lindnerova metoda.

Metoda vypracovaná firmou Lindner spo-
čívá v tom, že se brusný kotouč drtí kladič-
kou z kalené oceli. Měřítkem tvrdosti je přitlač-
ná síla a odpovídající hloubka vydrčení. Tento
způsob se velmi blíží skutečnému namáhání zrn
při broušení.

2.3.8. Peklenikova metoda.

Brusný kotouč se rýpe dlátkem určitého
průřezu. Tvrdost se posuzuje podle velikosti
síly, kterou je nutno na dlátko působit. /Obr.4/.



Obr.4/. Peklenikova metoda.

Existuje řada dalších způsobů měření tvrdosti. Většina z nich se běžně nepoužívá. Vyvíjejí se metody nové, které by lépe vystihovaly vlastnosti brusného nástroje.

2.4. Pojivo.

Pojivo má za úkol stmelovat brusná zrna tak, aby bylo možné vyrábět brusné nástroje různých tvarů. Dnes se užívají pojiva:

anorganická - keramika
 silikát
 magnezit
organická - bakelit
 guma

Asi 80% všech používaných brusných nástrojů se vyrábí s keramickým pojivem, na zbývajících 20% se podílejí hlavně pojiva organická. Silikát a magnezit se používají jen ve výjimečných případech.

2.4.1. Keramické pojivo.

Keramické pojivo má řadu výhod. Lze s ním pojít všechny druhy umělého korundu a karbid křemíku. Je jediným pojivem, u kterého lze v širokých mezích regulovat tvrdost a sloh. Zatím co u organických pojiv lze sloh regulovat obtížně a vyrábějí se jen nástroje hutné, je možné s keramickými pojivy vyrobit nástroje s prakticky nulovou nasáklivostí a na druhé straně s obsahem pórů až 60% objemu. Mimo to je keramické pojivo nejlacinější a snadno dostupné. Jeho základními složkami jsou živce, kaolin a mastek. Nevýhodou je vysoká křehkost keramických brusných nástrojů, které proto ne-

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stanovení modulu pružnosti.	DP - ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel

snášejí boční tlaky a příliš vysoké obvodové rychlosti. Keramickým pojivem nelze pojit karbid bóru a diamant, protože tyto brusné materiály nesnášejí vysoké vypalovací teploty pohybující se kolem 1000 až 1300°C.

2.4.2. Bakelitové pojivo.

Bakelitové pojivo se vyznačuje velkou pevností a pružností a je proto výhodné pro výrobu tenkých brusných kotoučů, určených k rozřezávání materiálu nebo k ručnímu obrušování. Bakelitové kotouče nezahřívají tolik broušený materiál a mají částečně leštící vlastnosti. Je proto výhodné používat je v případě, že se při broušení vyvíjí značně vysoká teplota, jak je tomu u kalených ocelí, ostření řezných nástrojů, broušení závitů a pod. Nedostatkem bakelitového pojiva je malá soudržnost s keramickými zrny, nízká tepelná odolnost a nedostatečná odolnost vůči některým chladícím kapalinám.

2.4.3. Gumové pojivo.

Základním materiálem pro výrobu gumového pojiva je umělý kaučuk s přísadami, zvláště sírou, která umožňuje vulkanizaci. Brusné nástroje s gumovým pojivem mají ještě větší hutnost a pružnost než bakelitové. Jejich leštící vlastnosti jsou ještě výraznější než u bakelitového pojiva a lze je vysvětlit tak, že gumové pojivo při 150°C měkne a brusná zrna se do něj zatlačují. Proto se kotouče používají při dokončovacích operacích, při broušení kuliček valivých ložisek a pod. Lze je dobře použít jako podávací kotouče při bezhrotém broušení.

13

2.4.4. Magnezitové pojivo.

Výroba brusných nástrojů s magnezitovým pojivem je velmi jednoduchá, takže lze snadno vyrábět kotouče do $\varnothing$ 2 m. Magnezitové nástroje se rychle opotřebovávají a používají se proto jen na práce, které nevyžadují přesné dodržení rozměrů součástí. Výhodou nástrojů s magnezitovým pojivem je nepatrné zahřívání broušeného materiálu, které je ještě menší, než u nástrojů s bakelitovým pojivem.

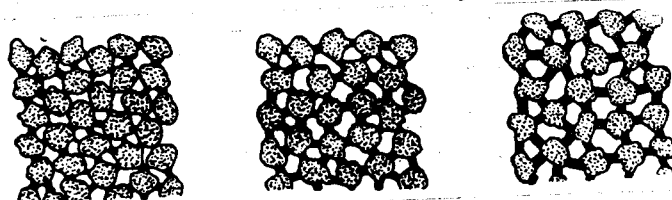
2.4.5. Silikátové pojivo.

Silikátové pojivo má samo o sobě značnou pevnost, jeho soudržnost se zrnem je však malá, proto lze vyrábět jen nástroje s nižší tvrdostí. Zrna se vylupují již při nízkém opotřebení, kotouč se výborně ostří a teploty v pásnu broušení jsou poměrně nízké.

2.5. Struktura brusných nástrojů.

Zrna v brusném nástroji se navzájem stmelují pojivem. Mezi můstky pojiva a zrna zůstávají vzduchové mezery, tak zvané póry. Lze tedy strukturu charakterizovat jako vzájemný kvantitativní poměr brusných zrn, pojiva a pórů v určitém objemu brusného nástroje. / Obr. 5/ Nástroje se stejnou strukturou obsahují tedy, nezávisle na velikosti zrn a tvrdosti, přesně určené objemové procento zrna a pojiva. Velikost pórů je důležitá zvláště pro odvod třísky broušeného materiálu. Zůstávají-li třísky v pórech, zvýší se tření mezi

nástrojem a obrobkem, třísky se značnou taví
a úplně zanesou pracovní plochu nástroje.
Strukturu brusného nástroje lze měnit změnou
poměru brusných zrn a pojiva.



a/

b/

c/

Obr.5. Struktura brusného nástroje.

a/ hutný

b/ polohutný

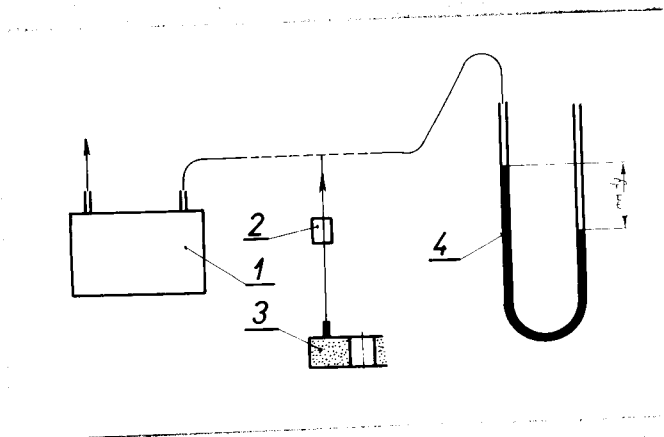
c/ pórovitý

Struktura se určuje na základě obje -
mové nasáklivosti podle ČSN 224024 ze vzorce

$$n = \frac{G - G_0}{G - G_v} \cdot 100 [\%]$$

kde G_0 - váha suchého vzorku
 G - váha nasáklého vzorku
 G_v - váha nasáklého vzorku
ve vodě

Měření nasáklivosti touto metodou je sice
přesné, ale velmi zdlouhavé. Ve VÚVL bylo vy-
vinuto zařízení na určování struktury na
základě propustnosti [7]. Pórovitost se
zjišťuje na základě podtlaku vzniklého na -
sáváním vzduchu vývěvou přes brusný nástroj
/ obr.6/ .



Obr.6. Zařízení na měření pórovitosti.
1.vývěva, 2.ventil, 3.brusný
nástroj, 4.manometr

2.6.

Kontrola jakosti brusného kotouče zjišťo -
váním jeho vlastností při broušení.

Dotud uvedené vlastnosti brusného ná -
stroje se vztahovaly pouze k nástroji samot -
nému. Ke spolehlivému ohodnocení je však nut -
no znát dynamické účinky brusného nástroje
přímo v procesu broušení.

Ing.Říčka uvádí [7] pět základních
kriterií pro posouzení výsledných vlastností
brusného kotouče. Jsou to:

- 1/ výkon broušení
- 2/ poměrový ohrus
- 3/ specifický výkon broušení
- 4/ řezivost brusného nástroje
- 5/ trvanlivost brusného nástroje
a další ekonomická kriteria.

- 1/ Výkon broušení Q je množství odbrouše-
ného materiálu za jednotku času

$$Q = \frac{M}{T} \quad [\text{cm}^3 / \text{min}]$$

kde M je množství odbroušeného materiálu
v cm^3 a
 T čas broušení v minutách.

- 2/ Poměrový obrus m vyjadřuje poměr objemu
odbroušeného materiálu k objemu úbytku
brusného kotouče.

$$m = \frac{M}{K}$$

kde K je úbytek brusného kotouče v cm^3
za čas T .

Hodnota $m' = \frac{1}{m}$ je specifické opotřebení
kotouče.

- 3/ Specifický výkon broušení

$$q = \frac{M}{TN} \quad [\text{cm}^3 / \text{min kW}]$$

kde M je celkový příkon elektromotoru
brusného vřetene v kW.

- 4/ Řezivost brusného nástroje R je dána
podílem rychlosti vnikání brusného ko-
touče v_p do materiálu a vznikajícího
řezného odporu P_r .

$$R = \frac{v_p}{P_r} \quad [\mu / \text{s.kp}]$$

Podle zkoušek ve VÚOSO a VÚVL lze sou-
dit, že se řezivost brusného kotouče mě-
ní nejen při změně jeho složení, ale je
i funkcí technologických podmínek brou-
šení.

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stano - vení modulu pružnosti.	DP - ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel

- 5/ Trvanlivost brusného nástroje je dána dobou broušení, po které se projevuje větší trvalá změna řezného odporu, amplitudy chvění a drsnosti povrchu obrobku. Matematickým vyjádřením je exponenciální funkce tvaru:

$$T = \frac{C}{v_p^x}$$

Kriterium trvanlivosti dává zatím nejlepší předpoklad pro zjištění výsledných vlastností brusných nástrojů.

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných koteučů na podkladě stano - vení modulu pružnosti.	DP - ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel

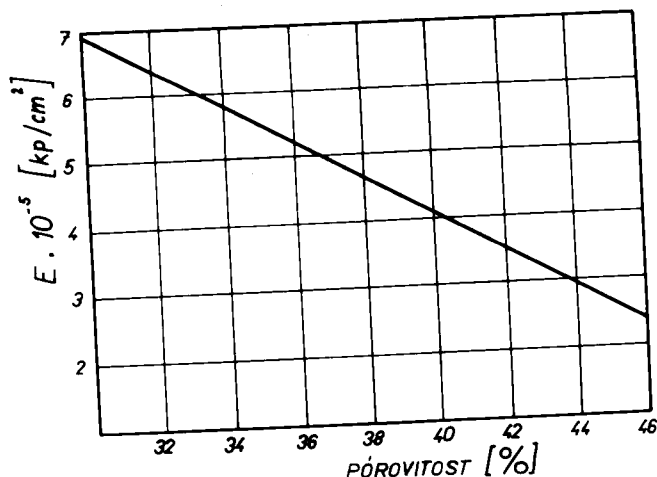
3. Vlivy působící na modul pružnosti brusných nástrojů.

V posledních několika letech se věnuje značná pozornost modulu pružnosti brusných materiálů. Modul pružnosti se vyskytuje ve výpočtech z oblastí tepelného zpracování brusných nástrojů, zvláště při výpočtech proměnných i stálých napětí, vznikajících v kotouči vlivem tepelného zpracování i při broušení. Kromě toho lze předpokládat, že modul pružnosti má vztah k tvrdosti brusného nástroje. K podložení tohoto tvrzení má přispět i tato práce.

Vliv základních vlastností brusného nástroje na velikost modulu pružnosti byl zkoumán ve Vsesvazovém vědeckovýzkumném ústavu brusných nástrojů a broušení v SSSR / Čofnus, Papoport/. Měření se provádělo na speciálně k tomu účelu připravených vzorcích z bílého elektrokorundu s keramickým pojivem. Velikost modulu pružnosti byla sledována v závislosti na základních parametrech nástroje: pórovitosti, množství pojiva, velikosti zrna a teploty vypalování.

3.1. Vliv pórovitosti.

Vliv pórovitosti byl sledován na vzorcích s nejčastěji používaným poměrem zrna a pojiva 3 : 1. Experimentálně zjištěná závislost / obr.7/ odpovídá teoretickým výpočtům vlivu pórovitosti na pružné vlastnosti materiálu, které provedl Mackenzie [10.].

Obr.7. Závislost modulu pružnosti na
pórovitosti.

Extrapolace přímky na obr.7 na nulovou pórovitost dá modul pružnosti systému zrno pojivo $E_0 = 17,3 \cdot 10^5 \text{ kp/cm}^2$. Závislost modulu pružnosti korundových brusných materiálů s keramickým pojivem je tedy přímková a lze ji vyjádřit rovnicí

$$\frac{E}{E_0} = 1 - 1,92 \frac{p}{100} \quad / 3.1/$$

kde E - modul pružnosti při dané pórovitosti
[kp/cm²]

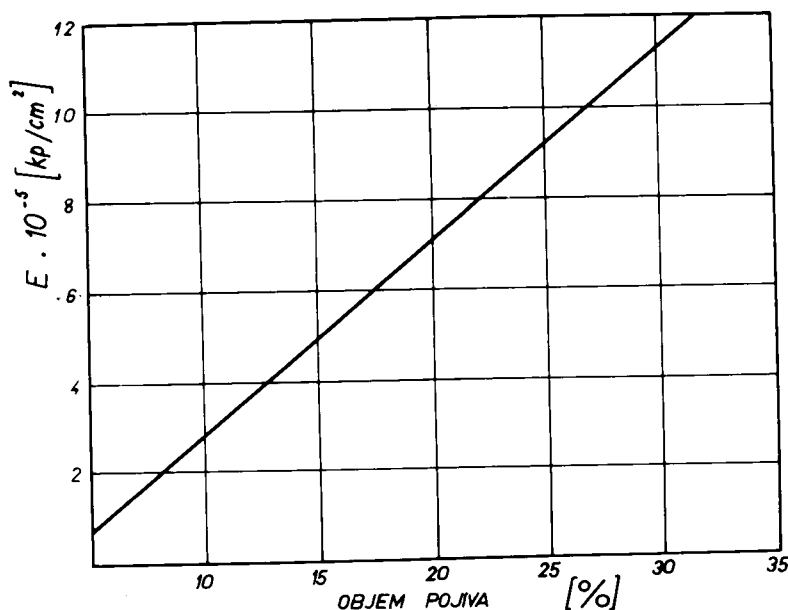
E_0 - modul pružnosti při nulové pórovi-
testi [kp/cm²]

p - pórovitost [%]

S růstem pórovitosti tedy modul pružnosti klesá.

3.2. Vliv množství pojiva.

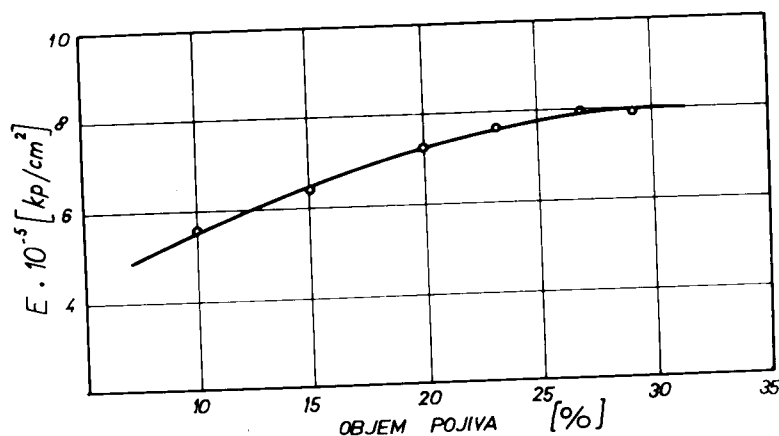
Měření vlivu obsahu pojiva se provádělo na vzorcích s přibližně stálým objemovým obsahem zrna. Výsledky byly přepočítány na konstantní pórovitost 32 % podle vzorce 3.1. Podle předpokladu vede zvýšení obsahu pojiva při konstantním objemu zrna k růstu modulu pružnosti.



Obr.8. Závislost modulu pružnosti na objemu pojiva při konstantním objemu zrna 48 %.

Při konstantní pórovitosti / obr.9/ dochází při zvyšování obsahu pojiva v daném objemu kotouče ke snižování počtu brusných zrn. Soudržnost vsázky je do 25 % pojiva nedostatečná. V intervalu 25 - 30 % pojiva dosahuje modul pružnosti maxima a spojení jednot

livých zrn je již dostačující.



Obr.9. Závislost modulu pružnosti na obje -
mu pojiva při konstantním objemu pó -
rá 32 %.

3.3.

Vliv velikosti zrna.

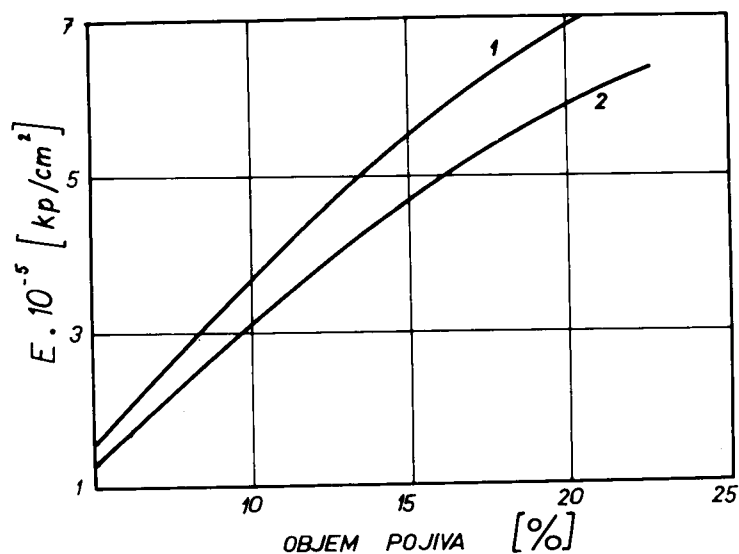
Podle výsledků provedených zkoušek ne -
závisí modul pružnosti příliš na velikosti zr -
na, jak je vidět z obr.10, kde při konstantním
objemu zrna 46 % je křivka 1 pro zrno velikosti
280 a křivka 2 pro zrno 46.

3.4.

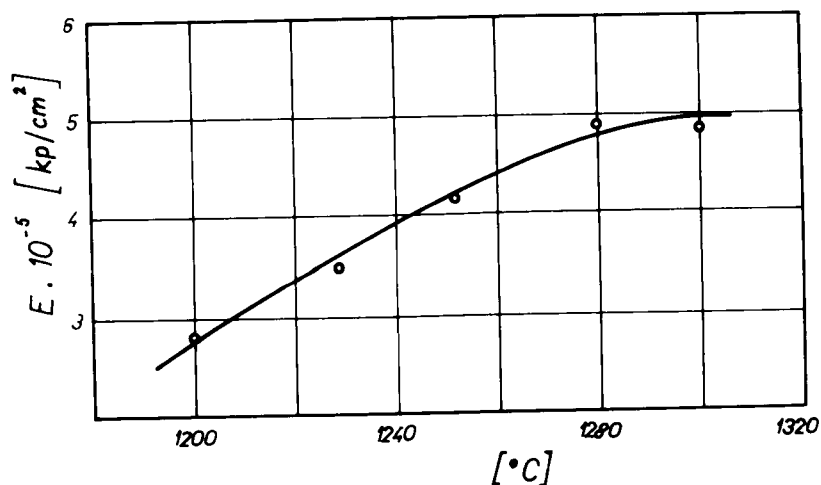
Vliv teploty vypalování.

U brusných nástrojů naprosto stejných
parametrů můžeme zjistit různé hodnoty modulu
pružnosti. Modul pružnosti je totiž závislý na
konečné teplotě vypalování brusného nástroje.

Experimentálně získaná křivka na
obr.11 ukazuje, že modul pružnosti v intervalu
konečných teplot vypalování od 1200°C do 1300°C
roste.



Obr.10. Závislost modulu pružnosti na obje -
mu pojiva při různé velikosti zrna.
Objem zrna je konstantní.



Obr.11. Závislost modulu pružnosti na ko -
nečné teplotě vypalování.

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stanovení modulu pružnosti.	DP - ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel
Růst modulu pružnosti s rostoucí konečnou teplotou vypalování je způsoben větším natavením vsázky při vyšší teplotě, které vede k lepšímu spojení komponent. Uvedené závislosti byly změřeny na vzorcích, jejichž jednotlivé složky - brusivo i pojivo - byly stejné / bílý elektrokorund a keramické pojivo / . Pro jiné druhy brusiva by byly hodnoty modulu pružnosti samozřejmě odlišné.		

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stano - vení modulu pružnosti.	DP - ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel

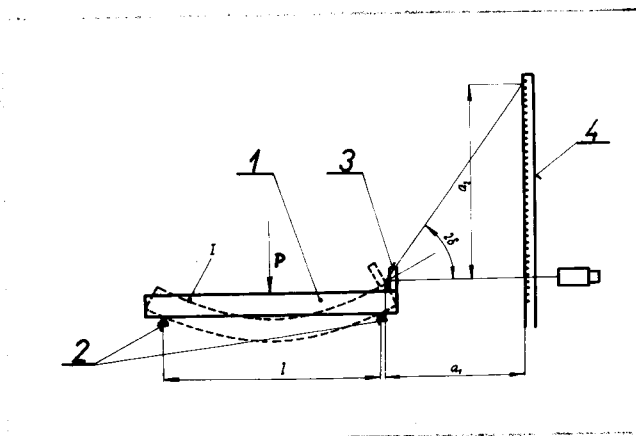
4. Stanovení modulu pružnosti brusných nástrojů.

Měření modulu pružnosti brusných kotoučů je spojeno s obtížemi, které vyplývají ze struktury a materiálu nástroje. Vzhledem ke křehkosti kotouče nelze použít klasický způsob měření Martensovým průtahoměrem běžně používaný u ocelových vzorků. Jedinou vhodnou statickou metodou je metoda průhybová, kterou lze dobře použít pro brusné kameny s konstantním průřezem. Podstatně výhodnější jsou metody dynamické, při kterých jsou napětí ve zkoušeném vzorku velmi nízká, vždy menší než $0,1 \text{ kp/mm}^2$. Je to buď měření rezonanční frekvence tyčky na jednom konci vetknuté nebo uložené na dvou podporách, popř. metoda spřažených kyvadel podle Rollanda a Sorina.

4.1. Zkušební metody.

4.1.1. Metoda ohybová.

Zkušební tělísko obdélníkového průřezu je uloženo na dvou břitech a je v prostředku zatíženo vhodně zvolenou silou. Nej přesněji měřitelnou veličinou je úhel sklonu nosníku na jedné z podpor. Na konec nosníku je připevněno zrcátko kolmo na podélnou osu nosníku /obr.12/. Zatížíme-li nosník, nakloní se zrcátko o úhel δ a světelný paprsek, kterým je osvětlena, se odkloní o 2δ . Na základě známých rozměrů kamene, měřicího zařízení a úhlu sklonu se stanoví modul pružnosti následujícím postupem:



Obr.12. Princip průhybové metody.

Na základě průhybu nosníku volně uloženého
na dvou podporách

$$y = \frac{Pl^3}{48EI} \quad /4.1/$$

bude tg úhlu sklonu tohoto nosníku

$$\text{tg } \delta = y' = \frac{Pl^2}{16EI} \quad /4.2/$$

Pro malé δ platí

$$\text{tg } 2\delta \approx 2 \text{ tg } \delta.$$

Z obrázku 12 je

$$\text{tg } 2\delta = \frac{a_2}{a_1},$$

takže potom modul pružnosti

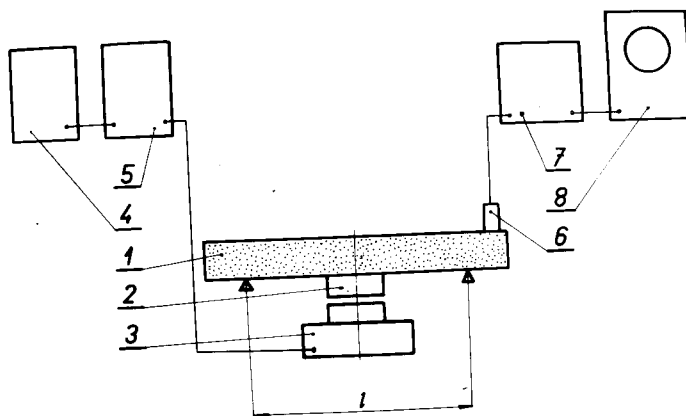
$$E = \frac{1,5 Pl^2 a_1}{bh^3 a_2} \quad /4.3/$$

Cejchování přístroje lze provést pomocí oce-
lové nebo skleněné tyče.

4.1.2. Metoda měření vlastní frekvence příčných kmitů.

Pro měření vlastní frekvence je brusný kámen uložen na dvou břitech. Uprostřed kamene je nalepena ocelová destička, na kterou působí střídavé elektromagnetické pole vytvářené budičem. Budič je napájen přes zesilovač z tónového generátoru. Kmity brusného kamene se snímají piezoelektrickým snímačem a vedou na obrazovku osciloskopu. V okamžiku rezonance kmitá kámen maximální amplitudou a vlastní frekvenci můžeme odečíst na stupnici tónového generátoru.

Vzhledem k tomu, že na zkoušeném kamenu je přilepena ocelová destička, je vlastní frekvence poněkud jiná než naměříme. Při výpočtu musíme proto použít opravného koeficientu, který zjistíme cejchováním. Cejchování se provede na tyči z materiálu, jehož modul pružnosti známe.



Obr.13. Princip měření vlastní frekvence.
1.brusný kámen, 2.ocel.destička,
3.budič, 4.tón.generátor, 5 a 7.
zesilovač, 6.snímač, 8.osciloskop

Podle 9 je modul pružnosti v závis -
losti na vlastní frekvenci

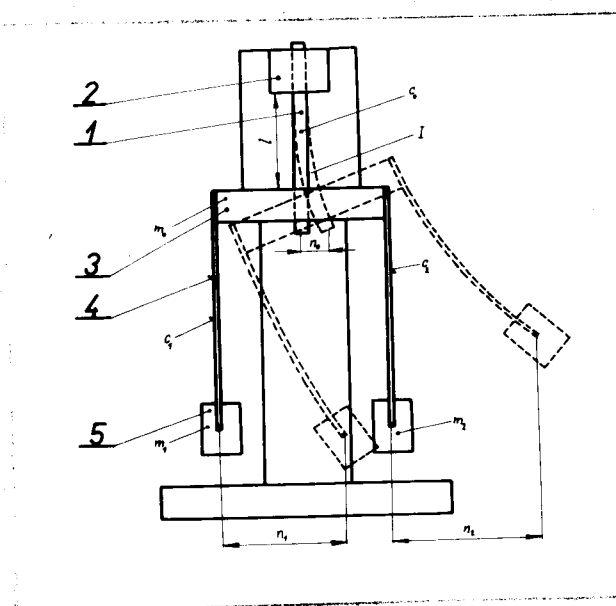
$$E = \frac{9,65 \cdot 10^{-4} f^2 l^4 p}{a^2} \quad [\text{kp/mm}^2] \quad /4.4/$$

Na tomto principu pracuje sovětský přístroj KTB-1, na němž se předem nastaví rozměry ka -
mene, zrnitost a druh materiálu a po určení
vlastní frekvence přímo odečteme modul pruž -
nosti.

4.1.3. Dvojkyvadlová metoda Rolland - Sorinova.

Autoři této metody, P. Le Rolland a P. Sorin zveřejnili v roce 1934 rozsáhlou studii o měření modulu pružnosti jednodu -
chých součástí i složitých konstrukcí pomo -
cí různě provedených systému dvojitých ky -
vadel. [4]. Tohoto principu použil Pursche pro dynamické měření modulu pružnosti la -
povacích kamenů [9]. Lapovací kámen se u -
pne do pevně stojícího přípravku a na jeho
druhý konec se upevní dostatečně tuhý příč -
ník se dvěma kyvadly, buď gravitačními, ne -
bo pružinovými / obr. 14 /. Vychýlíme-li jed -
no kyvadlo z rovnovážné polohy, uvede se sa -
mečinně do pohybu i kyvadlo druhé, jehož am -
plituda vzrůstá, zatím co se amplituda prv -
ního kyvadla zmenšuje, až se rovněž kyvadlo
zastaví a v témže okamžiku dojde amplitu -
da druhého kyvadla maximální hodnoty. Děj se
opakuje cyklicky, avšak se ztrátami energie,
vyvolanými jednak odporem vzduchu a tuhostí
kyvadla, jednak absorpcí energie ve zkoušeném
kameni střídavými pružnými deformacemi, tak -
že se cykly po určité době stávají neznatel -
nými. Obě kyvadla působí střídavě na zkoušený
kámen stejnými silami. Vznikající deformace
jsou velmi malé a odpovídají Hookeovu zákonu.

Perioda cyklů, to je časový interval mezi dvěma následujícími klidovými stavy téhož kyvadla, je podle Rollandových měření v přibližně lineárním vztahu k modulu pružnosti [4]. Modul pružnosti lze touto metodou zjistit s vyšší přesností než zrcátkovými průtahoměry.



Obr.14. Princip dvojkyvadlové metody.

1.brusný kámen, 2.pevné vetknutí, 3.příčník, 4.pružina, 5.kyvadlo.

Přenos energie z jednoho kyvadla na druhé je podmíněn pružnými deformacemi zkoušeného kamene, na jehož tuhosti závisí velikost periody cyklu. Základní výhoda této metody je v tom, že není třeba měřit napětí ani deformace, ale pouze čas. Naproti tomu však, protože jde o nepřímé měření, závisí jeho přesnost na zprostředkujících podmínkách, jejichž konstanta může být funkcí mnoha činitelů.

Výpočet modulu pružnosti. [9]

Pro malé výchylky platí /obr.14/

$$m_0 w_0'' + (c_0 + c_1 + c_2) w_0 - c_1 w_1 - c_2 w_2 = 0$$

$$m_1 w_1'' - c_2 w_0 + c_1 w_1 = 0 \quad /4.5/$$

$$m_2 w_2'' - c_2 w_0 + c_2 w_2 = 0$$

Vezmeme-li v úvahu základní rovnice kmitavého pohybu

$$w_i = A_i \cos \omega t$$

$$w_i' = A_i \omega \sin \omega t \quad /4.6/$$

$$w_i'' = -A_i \omega^2 \cos \omega t$$

A předpokládáme-li **symetrický** systém, takže platí

$$m_1 = m_2, c_1 = c_2,$$

pak jsou amplitudy obou kyvadel

$$A_1 = A_2 = \frac{c_1 A_0}{c_1 - m_1 \omega^2} ;$$

potom z pohybových rovnic platí

$$(c_1 - m_1 \omega^2) [(c_0 + 2c_1 - m_0 \omega^2)(c_1 - m_1 \omega^2) - 2c_1^2] = 0$$

jedna ze tří možných vlastních frekvencí pak bude

$$\omega^2 = \omega_I^2 = \frac{c_1}{m_1} \quad /4.7/$$

Za předpokladu, že hmoty obou kyvadel jsou mnohem menší než hmota příčnicku a že platí

$$\frac{c_0}{m_0} = \omega_0^2, \quad \frac{c_1}{m_1} = \omega_1^2, \quad \frac{c_1}{m_0} = \frac{c_1 m_1}{m_1 m_0}$$

dostaneme rovnici

$$(\omega^2)^2 - \omega^2 \left[\omega_0^2 + \omega_1^2 \left(1 + \frac{2m_1}{m_0} \right) \right] + \omega_0^2 \omega_1^2 = 0$$

a odtud další dvě vlastní frekvence

$$\omega_I^2 = \omega_1^2 \left[1 - \frac{2m_1 \omega_1^2}{m_0(\omega_0^2 - \omega_1^2)} \right] \quad \text{a} \quad /4.8/$$

$$\omega_{II}^2 = \omega_0^2 \left[1 + \frac{2m_1 \omega_1^2}{m_0(\omega_0^2 - \omega_1^2)} \right] \quad /4.9/$$

Protože rozdíl mezi ω_{II}^2 a ω_0^2 je velmi malý,
můžeme položit

$$\omega_{II}^2 = \omega_0^2$$

Vlastní frekvence ω_I a ω_{II} leží blízko sebe,
takže vznikají zázně je.

$$\omega_I = \omega_1 \left[1 - \frac{m_1 \omega_1^2}{m_0(\omega_0^2 - \omega_1^2)} \right] \quad /4.10/$$

$$\omega_{II} = \omega_1 \quad /4.11/$$

Mezifrekvenční kmitočet

$$/4.12/$$

$$\omega_s = \omega_{II} - \omega_I$$

Předpokládáme-li, že $\frac{\omega_0^2}{\omega_1^2} \gg 1$ a $\omega_s = \frac{2\pi}{T_s}$, $\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}$

je tuhost zkoušeného kamene

$$c_0 = \frac{4m_1 r^2 T_s}{T_1^3} \quad /4.13/$$

Pro lapovací kámen s průřezem b.h je pak
modul pružnosti

$$E = \frac{16\pi^2 m_1 l^3 T_s}{bh^3 T_1^3} \quad /4.14/$$

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stanovení modulu pružnosti.	DP - ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel

Vzhledem k uspořádání zkušebního zařízení je zkoušený kámen zatěžován ještě vlastní vahou příčnicku s kyvadly. Podle [9] nemá toto zatížení žádný vliv na periodu zázneje. Cejchování přístroje se provádí ocelovou zkušební tyčí.

Uvedené metody měření modulu pružnosti byly použity zatím pouze pro měření brusných kamenů obdélníkového průřezu nebo vzorků zvláště pro měření připravených. Většina brusných nástrojů se však vyrábí jako ploché kotouče s kruhovým otvorem. Z toho důvodu jsme přistoupili k aplikaci Rolland - Sorinovy metody na tento tvar zkušebního tělesa.

4.2. Zdůvodnění výběru metody.

Výsledky všech tří uvedených metod jsou závislé na přesném dodržení rozměrů zkušebního tělesa. Průhybová metoda má mimo to další nevýhodu v podstatně menší přesnosti. Pursche [9] uvádí, že chyba průhybové metody je asi 5,5 % a je dána chybou zatížení, chybou vzdálenosti mezi zrcadlem a stupnicí, chybou vypočteného momentu setrvačnosti a odčítání na stupnici. Proti tomu je chyba měření vlastní frekvence pouze 2,5 % a má na ni vliv vzdálenost podpor a přesnost určení vlastní frekvence. Stejnou chybu má i dvojkyvadlová metoda. Tato chyba vzniká z chyby hmoty a doby kyvu kyvadel, určení momentu setrvačnosti a doby zázneje.

Z uvedených důvodů a hlavně pro jednoduchost zkušebního zařízení, byla vybrána pro měření modulu pružnosti metoda dvojkyvadlová.

32

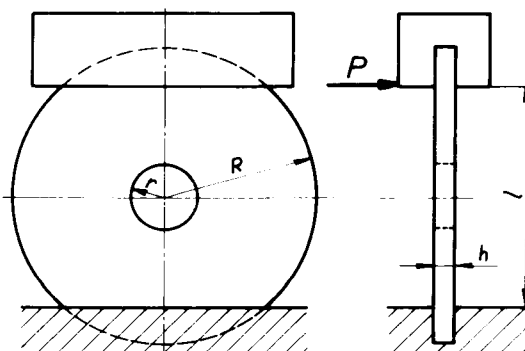
4.3. Výpočet tuhosti brusného kotouče.

Vzorec /4.14/ udává nejen způsob vý -
počtu modulu pružnosti, ale zároveň možnost
jeho kontroly, resp. cejchování přístroje mě -
řením času na tyčce z materiálu o známém mo -
dulu pružnosti. Při stejných kyvadlech a stej -
ném geometrickém tvaru zkušební tělesa pla -
tí:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{T_s}{T_{s0}}, \quad /4.15/$$

kde E_0 je známý modul pružnosti a T_{s0} doba
zázněje pro toto zkušební těleso. Pro praxi
je nejvýhodnější postupovat podle tohoto
vzorce, protože tím vyloučíme nepřesnosti
způsobené na př. nedokonalým vetknutím.

Pro úplnost uvedeme výpočet tuhosti
kruhové desky s otvorem, kterou brusný ko -
touč představuje.



Obr.15. Upnutí brusného kotouče ve zku -
šebním zařízení.

Vzhledem ke způsobu upnutí kotouče a poměrně velmi malým deformacím můžeme zanedbat trojosou napjatost, která vzniká při průhybu kruhové desky a počítat tuhost jako tuhost nosníku o nestejně šířce. Tuhostí nosníku rozumíme sílu, která způsobí při daném upnutí jednotkovou deformaci. Musíme tedy vy počítat průhyb nosníku upnutého a zatíženého podle obr.15.

Diferenciální rovnice ohybové čáry nosníku je

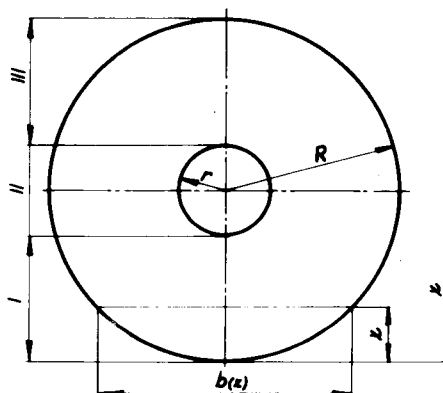
$$EI(x) \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x) \quad /4.16/$$

Z obrázků 15 a 16

$$M(x) = P(R + \frac{1}{2} - x)$$

$$I(x) = \frac{b(x)h^3}{12}$$

Pro výpočet $b(x)$ musíme nosník rozdělit na tři části / obr.16/.



Obr.16. Výpočet šířky $b(x)$ nosníku.

Pro pásmo I ; $x \in \langle 0 ; R-r \rangle$ je

$$b(x) = 2 \sqrt{R^2 - (R-x)^2} \quad /4.17/$$

Pro pásmo II ; $x \in \langle R-r ; R+r \rangle$ je

$$b(x) = 2 \left[\sqrt{R^2 - (R-x)^2} - \sqrt{r^2 - (R-x)^2} \right] \quad /4.18/$$

Pro pásmo III ; $x \in \langle R+r ; 2R \rangle$

platí vztah 4,17

Dosadíme-li do rovnice ohybové čáry za $M(x)$, $I(x)$,
 $b(x)$ dostaneme v pásmu I

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{6P}{Eh^3} \frac{R + \frac{1}{2} - x}{\sqrt{R^2 - (R-x)^2}}$$

Označíme $\frac{6P}{Eh^3} = B$.

Po integraci

$$\frac{dy}{dx} = B \left[\frac{1}{2} \arcsin \frac{x-R}{R} + \sqrt{2Rx-x^2} + c_1 \right]$$

$$y(x) = B \left[\frac{1}{2} (R^2 - Rl + xl) \arcsin \frac{x-R}{R} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} (x+l-R) \sqrt{2Rx-x^2} + c_1 x + c_2 \right]$$

Z počátečních podmínek

$$\text{pro } x = R - \frac{1}{2} \quad \text{je} \quad \frac{dy}{dx} = 0 \quad \text{a}$$

$$\text{pro } x = R - \frac{1}{2} \quad \text{je} \quad y(x) = 0$$

Dostaneme

$$c_1 = \frac{1}{2} \arcsin \frac{1}{2R} - \sqrt{R^2 - \frac{1}{4}} \quad \text{a}$$

$$c_2 = (R^2 - Rl) \arcsin \frac{1}{2R} + (2R - \frac{3l}{2}) \sqrt{R^2 - \frac{l^2}{4}}$$

V pásmu II dostaneme po dosazení do rovnice
ohybové čáry

$$\frac{d^2 y(x)}{dx^2} = B \frac{R + \frac{1}{2} - x}{\sqrt{R^2 - (R-x)^2} - \sqrt{r^2 - (R-x)^2}}$$

Z toho po integraci

$$\begin{aligned} \frac{dy(x)}{dx} = B & \left[\frac{1}{3(R^2 - r^2)} \left\{ \sqrt{[R^2 - (R-x)^2]^3} + \sqrt{[r^2 - (R-x)^2]^3} \right\} - \right. \\ & - \frac{1}{4(R^2 - r^2)} \left\{ (R-x) \sqrt{R^2 - (R-x)^2} + R^2 \arcsin \frac{R-x}{R} + \right. \\ & \left. \left. + (R-x) \sqrt{r^2 - (R-x)^2} + r^2 \arcsin \frac{R-x}{r} \right\} + c_3 \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y(x) = B & \left[\frac{(-1)}{12(R^2 - r^2)} \left\{ \sqrt{R^2 - (R-x)^2} \left(\frac{3R^2(R-x)}{2} - lR^2 \right) + \right. \right. \\ & + \sqrt{r^2 - (R-x)^2} \left(\frac{3r^2(R-x)}{2} - lR^2 \right) + \\ & + (R + l - x) \left[\sqrt{[R^2 - (R-x)^2]^3} + \sqrt{[r^2 - (R-x)^2]^3} \right] + \\ & + \left(\frac{3R^4}{2} - lR^3 + lR^2 x \right) \arcsin \frac{R-x}{R} + \\ & \left. \left. + \left(\frac{3r^4}{2} - lR^3 + lR^2 x \right) \arcsin \frac{R-x}{r} \right\} + c_3 x + c_4 \right] \end{aligned}$$

Z počátečních podmínek

$$\text{pro } x = R - r \quad \text{je} \quad \frac{dy(x)}{dx} = \frac{dy(r)}{dx} \quad \text{a}$$

$$\text{pro } x = R - r \quad \text{je} \quad y(x) = y(r)$$

dostaneme

$$\begin{aligned}
 c_3 = & - \frac{1}{3(R^2 - r^2)} \sqrt{(R^2 - r^2)^3} + \left(\frac{1r}{4(R^2 - r^2)} + 1 \right) \sqrt{R^2 - r^2} + \\
 & + \left[\frac{1R^2}{4(R^2 - r^2)} - \frac{1}{2} \right] \arcsin \frac{r}{R} + \frac{1}{2} \arcsin \frac{1}{2R} + \\
 & + \frac{1r^2\pi}{8(R^2 - r^2)} - \sqrt{R^2 - \frac{1^2}{4}} \\
 c_4 = & \left[\frac{R^2}{12(R^2 - r^2)} \left(\frac{3r}{2} - 1 \right) - \frac{1r}{4(R+r)} - R + \frac{r}{2} + \frac{1}{2} \right] \sqrt{R^2 - r^2} + \\
 & + \frac{4R - 3r + 1}{12(R^2 - r^2)} \sqrt{(R^2 - r^2)^3} + \\
 & + \left[\frac{\frac{3}{2}R^4 - 1R^3}{12(R^2 - r^2)} + \frac{1R - R^2}{2} \right] \arcsin \frac{r}{R} + \\
 & + (R^2 - R1) \arcsin \frac{1}{2R} + (2R - \frac{3}{2}1) \sqrt{R^2 - \frac{1^2}{4}} - \\
 & - \frac{\pi r^2 1}{8(R+r)} + \frac{\pi}{24(R^2 - r^2)} \left(\frac{3r^4}{2} - 1R^2 r \right)
 \end{aligned}$$

V pásmu III dostaneme po dosazení do diferen -
ciální rovnice ohybové čáry

$$\frac{d^2 y(x)}{dx^2} = B \frac{R + \frac{1}{2} - x}{\sqrt{R^2 - (R-x)^2}}$$

Po integraci

$$\frac{dy(x)}{dx} = B \left[\frac{1}{2} \arcsin \frac{x-R}{R} + \sqrt{2Rx - x^2} + c_5 \right]$$

$$y(x) = B \left[\frac{1}{2}(R^2 - Rl + xl) \arcsin \frac{R-x}{R} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2}(x + l - R) \sqrt{2Rx - x^2} + c_5 x + c_6 \right]$$

Z počátečních podmínek

$$\text{pro } x = R + r \text{ je } \frac{dy(x)}{dx} = \frac{dy(l)}{dx} \text{ a}$$

$$\text{pro } x = R + r \text{ je } y(x) = y(l)$$

dostaneme

$$c_5 = \left[\frac{1(2R^2 + r^2)}{4(R^2 - r^2)} - 1 \right] \arcsin \frac{r}{R} + \frac{1r}{2(R^2 - r^2)} \sqrt{R^2 - r^2} + \\ + \frac{1}{2} \arcsin \frac{1}{2R} + \frac{\pi r^2 l}{8(R^2 - r^2)} - \sqrt{R^2 - \frac{1}{4}} \\ c_6 = \left[\frac{1}{12(R^2 - r^2)} (3R^4 - 3lr^3 - 5r1R^2 - 3R1r^2 - 7R^3 l) + \right. \\ + l(R+r) + \frac{1R^2}{4(R-r)} \left. \right] \arcsin \frac{r}{R} + R(R-l) \arcsin \frac{1}{2R} + \\ + \left[r - \frac{1r}{4(R-r)} - \frac{1r}{R+r} + \frac{3R^2 - 2R^2 l}{12(R^2 - r^2)} \right] \sqrt{R^2 - r^2} + \\ + \frac{2R-r}{6(R^2 - r^2)} - \frac{1}{3(R-r)} \sqrt{(R^2 - r^2)^3} + (2R - \frac{3}{2}l) \sqrt{R^2 - \frac{1}{4}} + \\ + \frac{\pi r^4}{8(R^2 - r^2)} - \frac{\pi r^2 l}{8(R+r)}$$

Pro výpočet tuhosti potřebujeme znát průhyb
v místě

$$x = R + \frac{1}{2}$$

Po dosazení do výrazu pro $y(x)$ dostaneme

$$\begin{aligned}
 y(x) = & \frac{6P}{Eh^3} \left\{ \left(\frac{3R^2}{2} - \frac{lR}{2} \right) \arcsin \frac{l}{2R} + \left(R - \frac{5l}{4} \right) \sqrt{R^2 - \frac{l^2}{4}} + \right. \\
 & + \left[\frac{1}{24(R^2 - r^2)} (6R^4 - 2R^3l + 6R^2l^2 - 10RlR^2 - 6r^3l - 3r^2l^2) + \right. \\
 & + \left. \frac{lR^2}{4(R-r)} - \frac{l^2}{2} + lr \right] \arcsin \frac{r}{R} + \\
 & + \left[\frac{1}{12(R^2 - r^2)} (3R^2r - 2R^2l + 3rl^2) + r \right] \sqrt{R^2 - r^2} + \\
 & + \frac{1}{16(R^2 - r^2)} (\pi r^2 l^2 + 2\pi r^4 + 2\pi r^3 l) + \\
 & \left. + \frac{r}{2(R^2 - r^2)} \sqrt{(R^2 - r^2)^3} \right\} \quad /4.19/
 \end{aligned}$$

Výraz ve složené závorce označíme K , potom
tuhost

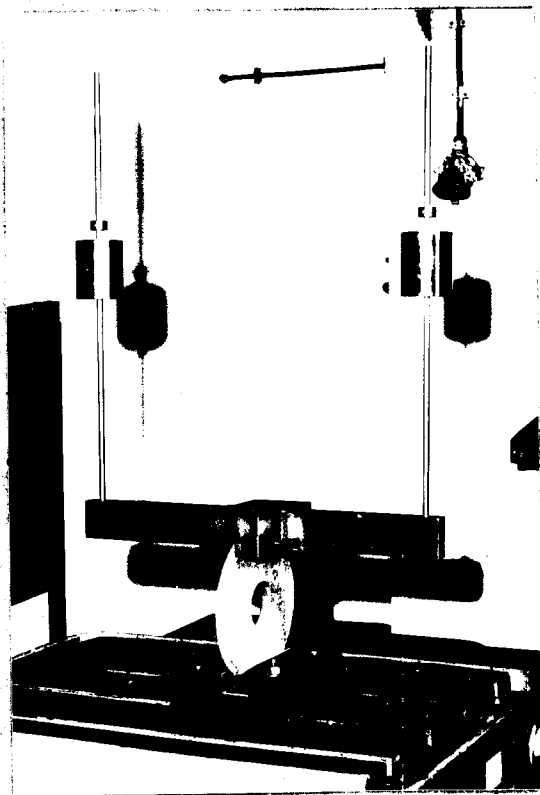
$$c_s = \frac{P}{y(x)} = \frac{Eh^3}{6K}$$

Dosazením do vztahu 4.13 dostaneme konečně

$$E = \frac{6K}{h^3} \frac{4m_1 r^2 T_2}{T_1} \quad /4.20/$$

5. Vlastní měření.5.1. Měřicí zařízení.

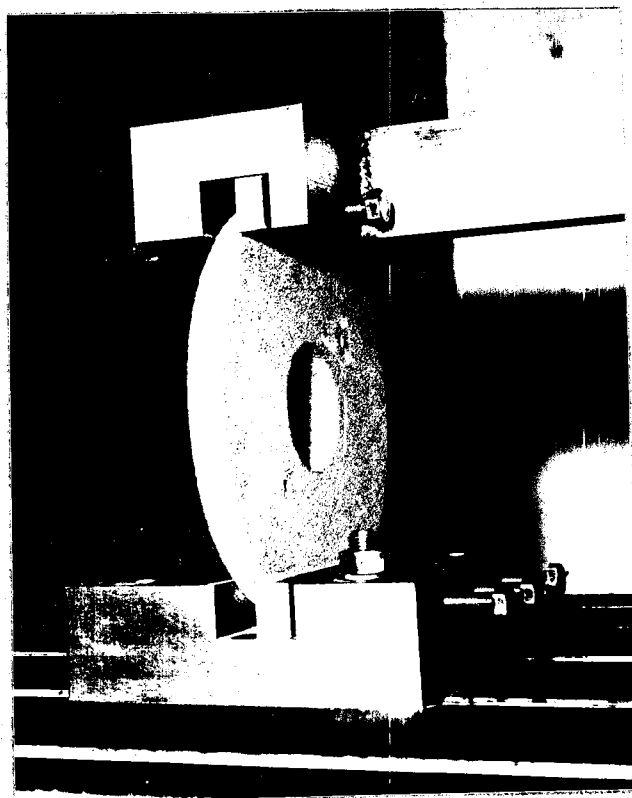
Měřicí přístroj pro určování modulu metodou Rolland - Sorinovou byl vyroben v dílnách školy podle výkresu DP-453/66-01 /obr.17/. Velikost zařízení byla přizpůsobena kotoučům rozměrů 250 x 20 x 76. V základové desce je kotouč upnut příložkou a třemi šrouby. Na kotouči je nasazen příčník a je k němu připevněn příložkou a dvěma šrouby. Způsob upnutí kotouče je zřejmý z obr.18.



Obr.17. Měřicí zařízení .

Do příčnicku jsou vsazena dvě stejná kyvadla

tvořená pružinou kruhového průřezu a závažím
3652 g. Shodnosti doby kyvu obou kyvadel se do-
sahuje posuvem pomocných hmot o váze 62 g.

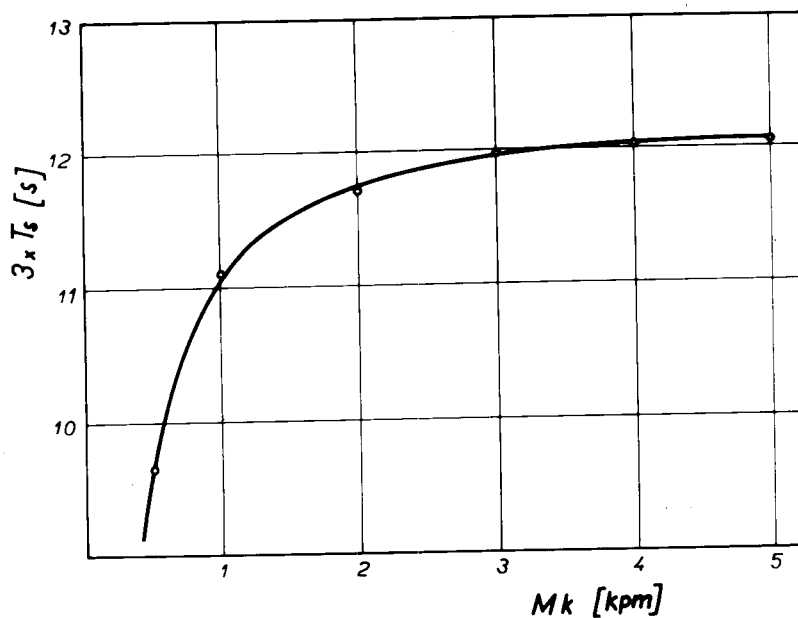


Obr.18. Detail upnutí kotouče .

Vlastní měření modulu pružnosti je pře-
vedeno na měření doby zázně je. Rukou se rozkmi-
tá jedno kyvadlo v rovině procházející osou o-
bou kyvadel a měří se čas od zastavení jednoho
z kyvadel do následujícího zastavení téhož ky-
vadla, nebo pro zvýšení přesnosti jeho násobky.
Pro měření času bylo použito elektrických sto-
pek Křižík, na kterých je možno odečítat s přes-
ností na setinu vteřiny. Spouštěním a zastavová-
ním stoppek, které se provádí ručně mžikovým spí-

načem v okamžiku zastavení sledovaného kyvadla, se vnáší do měření chyba. Přesto není rozptýl měření prováděných na témže kotouči na jedno upnutí větší než 2 %.

Doba trvání zázně je závislá na délce l /obr.15/. Protože nemůže být splněn požadavek dokonalého vetknutí kotouče s reakcí v jediném průřezu, je délka l funkcí utažení upínacích šroubů. Bylo proto použito torzního momentového klíče a pro kotouč č.1 byla zjištěna závislost trvání zázně na utažení šroubů; obr.19 .



Obr.19. Závislost délky zázně na utažení upínacích šroubů pro brusný kotouč.

Stejná charakteristika byla změřena i pro ocelový cejchovací kotouč / obr.20/.

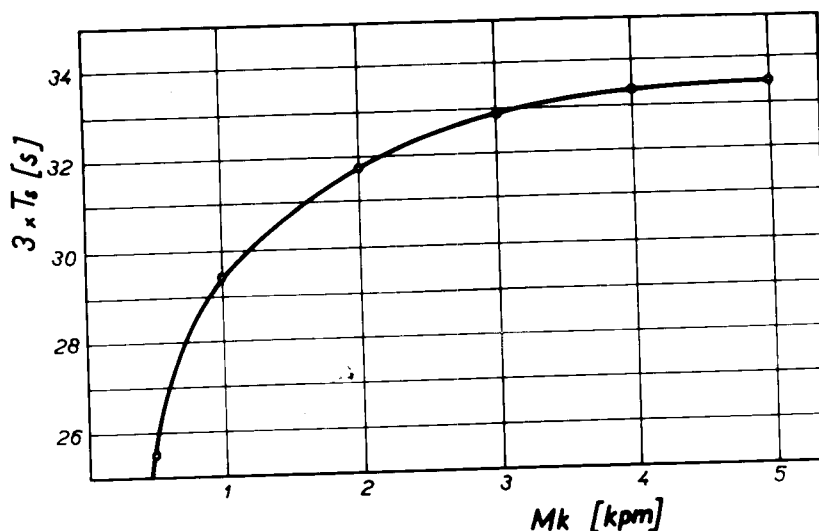
VŠST

(REFEC)

Určování tvrdosti brusných
kotoučů na podkladě stano-

DP - ST 453/66

5. LISTOPADU 1966



Obr.20. Závislost délky záznamu na utažení upínacích šroubů pro ocelový cejchovací kotouč.

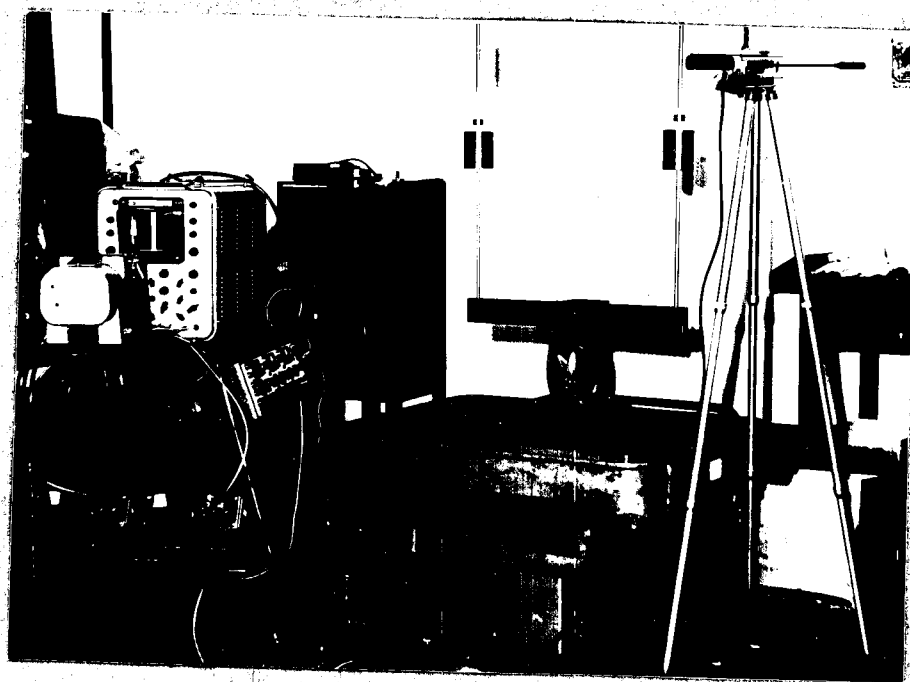
V oblasti kolem utahovacího momentu 4 kpm je již charakteristika plochá a chyba v utažení šroubů způsobí jen nepatrnou změnu v době trvání záznamu. Při všech dalších měřeních se proto utahovaly upínací šrouby momentem 4 kpm.

5.1.1. Oscilografický záznam průběhu záznamu.

Pro přesné zjištění průběhu oscilací kyvadla měřicího zařízení byl jejich průběh zachycen filmovou kamerou se stínítkou osciloskopu. Schema zařízení pro snímání oscilací kyvadla je na obr.21. Poblíž konce kyvadla je umístěn indukční diferenciální snímač, který je připojen ke střídavě napá-

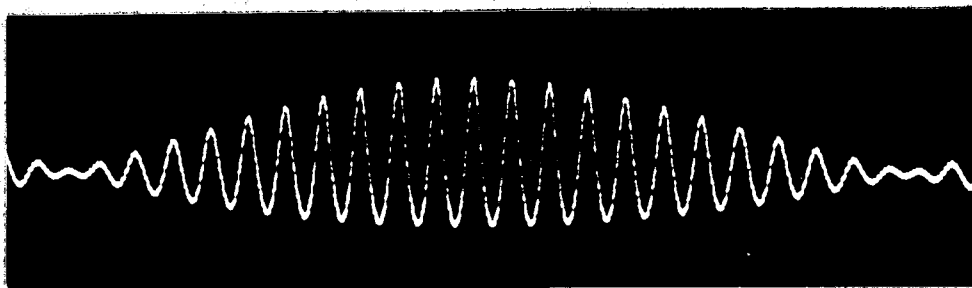
jenému můstku TDA - 3 . Výstupní napětí
můstku se zobrazí na stínítku osciloskopu,
odkud je snímáno filmovou kamerou. Celkový
pohled na měřicí aparaturu je na obr.22.

Obr.21. Schema snímání kmitů kyvadla.



Obr.22. Pohled na měřicí aparaturu.

Příklad záznamu pro kotouč č.13 uka-
zuje, že na vlastní frekvenci kyvadla, která
je 4,75 Hz, je namodulována frekvence zázně-
je /obr.23/. Posun filmu se stanovil na
10 mm/s . Čas odpovídající periodě zázněje
se odměřil z filmu na profilprojektoru.



Obr.23. Záznam periody zázněje.

5.2. Výběr vzorků.

Brusné kotouče pro zkoušky dodal n.p.
Karborundum Benátky n.Jiz. Bylo vybráno 11 ko-
toučů 250 x 20 x 76 A994618V a pro porovná-
ní 6 kotoučů odlišného zrnění, struktury i ma-
teriálu brusných zrn /tab.I/. Všechny kotouče
jsou s keramickým pojivem, které je nejběž-
nější.

Na kotouči č.3 bylo provedeno měření
nasáklivosti podle ČSN 224024. Tato zkouška je
destruktivní; kotouč byl rozbit a tím vyřazen
z dalších měření.

5.3. Měření vzorků metodou ZeisseMackensenovou.

Toto měření je běžně používáno v n.p.
Karborundum pro výstupní kontrolu brusných
nástrojů. Provádí se na přístroji TF21-1 /obr.2/

sovětské výroby pracujícím na Zeiss-Mackensenově principu. Přístroj se cejchuje změnou průřezu trysky tak, aby při obsahu komůrky 28 cm^3 a tlaku vzduchu 1,5 atp vyhloubil ve skleněné desce důlek hloubky 2,13 mm. Po ocejchování bylo provedeno měření všech kotoučů s výjimkou kotouče č. 12, který má vysokou pórovitost a hodnoty naměřené Zeiss-Mackensenovým způsobem neodpovídají vlastnostem kotouče. Každý kotouč byl změřen ve 4 bodech, aby se aspoň částečně vyloučila heterogenita složení. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce I.

5.4.

Měření vzorků metodou Rolland-Sorinovou.

Měření modulu pružnosti se provádělo způsobem popsaným v 5.1. Každý kotouč byl měřen na jedno upnutí 5krát. Aby se ověřila reprodukovatelnost měřicí metody, bylo celé měření čtyřikrát opakováno, z toho jednou byl průběh oscilací kyvadla filmován.

Protože měřené kotouče nebyly přesně stejného průměru a tloušťky jsou výsledné průměrné hodnoty přepočteny podle vzorce 4.19 na velikost kotouče $250 \times 20,4 \times 76$. Cejchovací ocelový kotouč byl vyroben přímo v těchto rozměrech.

Při všech měřeních se postupovalo tak, že byla určena trojnásobná doba zázněje, která je také uvedena v tabulkách. Z těchto hodnot byly sestrojeny diagramy I - III, kde je spolu s trojnásobnou dobou zázněje $3 \times T_s$ vynesena i modul pružnosti určený cejchováním pomocí ocelového cejchovacího kotouče, jehož modul pružnosti je $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2$.

VŠST
LIBEREC

Určování tvrdosti brusných
kotoučů na podkladě stanove-
ní modulu pružnosti.

DP - ST 453/66

5. LISTOPADU 1966

Vladimír Gabriel

Tabulka č.I.

čís. kot.	Typ	Zeiss-Mackensen				
		1	2	3	4	Ø
1	A9946L8V	3,1	3,3	2,9	2,8	3,025
2		2,9	3,1	2,9	2,8	2,95
3		2,8	2,9	2,9	3,0	2,90
4		2,8	2,9	2,8	3,1	2,90
5		2,9	3,0	3,1	3,0	3,00
6		3,1	2,8	2,7	3,0	2,90
7		3,1	3,0	3,2	3,1	3,10
8		2,8	2,8	2,6	2,7	2,73
9		2,8	3,1	3,1	2,7	2,92
10		2,8	3,0	2,9	3,0	2,92
11		3,3	3,1	3,0	3,1	3,13
12	A9946M12V	neměřen				
13	A9960M8V	2,8	2,8	2,7	2,6	2,72
14	A99100N7V	3,1	3,3	3,1	3,0	3,12
15	A964606V	2,0	2,0	2,1	2,0	2,025
16	C4846K9V	3,7	3,6	3,7	3,5	3,60
17	C4960J9V	4,1	4,1	3,8	3,9	3,98

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stano - vení modulu pružnosti.	DP - ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel

Tabulka č. II.

/ 1. měření; trojnásobná doba trvání zázneje
ve vteřinách/

čís. kot.	1	2	3	4	5	Ø
1	11,82	11,80	11,68	11,69	11,75	11,750
2	11,63	11,46	11,66	11,64	11,49	11,576
4	12,12	12,21	12,00	12,02	12,07	12,084
5	12,07	11,89	11,92	12,00	11,94	11,964
6	11,78	11,87	11,87	11,87	11,85	11,848
7	11,16	11,24	11,20	11,19	11,20	11,198
8	11,97	12,03	12,03	11,95	12,05	12,006
9	11,54	11,58	11,57	11,53	11,59	11,562
10	11,84	11,79	11,82	11,80	11,89	11,828
11	11,47	11,50	11,33	11,36	11,40	11,412
12	4,67	4,73	4,80	4,75	4,79	4,748
13	14,03	14,00	14,20	13,93	14,15	14,062
14	12,11	12,30	12,04	12,11	12,13	12,138
15	15,12	14,99	15,06	14,92	14,93	15,004
16	10,29	10,39	10,32	10,31	10,40	10,342
17	9,90	9,78	9,64	9,85	9,78	9,790

Tabulka č. III./ 2. měření; trojnásobná doba trvání zázneje
ve vteřinách/

čís. kot.	1	2	3	4	5	Ø
1	11,98	12,08	12,11	12,11	11,92	12,040
2	11,62	11,74	11,88	11,66	11,78	11,736
4	11,99	12,01	11,98	11,97	11,92	11,974
5	12,09	11,93	12,08	12,05	11,90	12,010
6	12,27	12,14	12,23	12,27	12,24	12,230
7	11,29	11,30	11,30	11,39	11,36	11,328
8	12,08	12,05	12,04	12,03	11,99	12,038
9	11,77	11,85	11,87	11,73	11,77	11,798
10	11,80	11,90	12,06	11,99	12,00	11,950
11	11,42	11,40	11,31	11,32	11,29	11,348
12	4,98	4,98	5,05	4,99	5,04	5,008
13	14,43	14,33	14,32	14,28	14,32	14,336
14	12,28	12,18	12,22	12,22	12,08	12,196
15	15,30	15,24	15,18	15,23	15,35	15,260
16	10,20	10,14	10,07	10,12	10,21	10,148
17	9,54	9,69	9,78	9,65	9,75	9,682

VŠST
LIBEREC

Určování tvrdosti brusných
kotoučů na podkladě stano-
vení modulu pružnosti.

DP -ST 453/66

5. LISTOPADU 1966

Vladimír Gabriel

Tabulka č. IV.

/ 3. měření; trojnásobná doba trvání zázneje
ve vteřinách/

čís. kot.	1	2	3	4	5	Ø
1	11,86	11,85	11,97	11,96	11,99	11,926
2	11,60	11,74	11,77	11,80	11,81	11,764
4	12,15	12,32	12,20	12,28	12,26	12,252
5	12,14	12,12	12,07	12,09	12,12	12,108
6	11,96	11,94	12,02	12,11	12,11	12,026
7	11,10	11,15	11,21	11,09	11,10	11,130
8	11,84	11,86	11,92	11,92	11,89	11,886
9	11,69	11,74	11,75	11,65	11,65	11,696
10	11,84	11,80	11,76	11,80	11,87	11,834
11	11,36	11,36	11,29	11,30	11,32	11,326
12	4,63	4,80	4,70	4,82	4,82	4,754
13	14,16	14,32	14,10	10,22	14,21	14,202
14	12,44	12,24	12,38	12,25	12,23	12,308
15	15,09	15,13	15,18	15,10	15,29	15,158
16	10,35	10,30	10,32	10,38	10,28	10,326
17	9,67	9,49	9,67	9,57	9,64	9,608
18	34,85	34,97	34,12	34,48	34,35	34,554

VŠST
LIBEREC

Určování tvrdosti brusných
kotoučů na podkladě stano -
vení modulu pružnosti.

DP - ST 453/66

5. LISTOPADU 1966

Vladimír Gabriel

Tabulka č.V.

/Přehled průměrných hodnot z tabulek
II až IV a z filmového záznamu/

čís. kot.	1	2	3	4 z filmu	$\bar{\sigma}$	$\bar{\sigma}'$
1	11,75	12,04	11,93	12,08	12,03	11,86
2	11,57	11,74	11,76	-	11,69	12,22
4	12,08	11,97	12,25	12,12	12,14	11,97
5	11,96	12,01	12,10	12,28	12,09	12,09
6	11,85	12,23	12,03	12,51	12,15	12,15
7	11,20	11,33	11,13	11,55	11,30	11,30
8	12,01	12,03	11,89	12,60	12,13	12,49
9	11,56	11,79	11,70	11,90	11,73	12,27
10	11,83	11,95	11,83	11,98	11,90	12,07
11	11,41	11,35	11,33	11,50	11,37	11,26
12	4,75	5,01	4,75	4,89	4,85	4,57
13	14,06	14,34	14,20	14,15	14,19	14,61
14	12,14	12,20	12,31	12,21	12,21	11,68
15	15,00	15,26	15,16	14,59	15,00	14,78
16	10,34	10,15	10,33	10,84	10,50	10,50
17	9,79	9,68	9,61	9,58	9,67	9,67
18	-	33,09	34,55	32,50	33,05	33,05

$\bar{\sigma}$ - průměr všech měření

$\bar{\sigma}'$ - přepočteno podle rozměrů každého kotouče
na kotouč 250 x 20,4 x 76

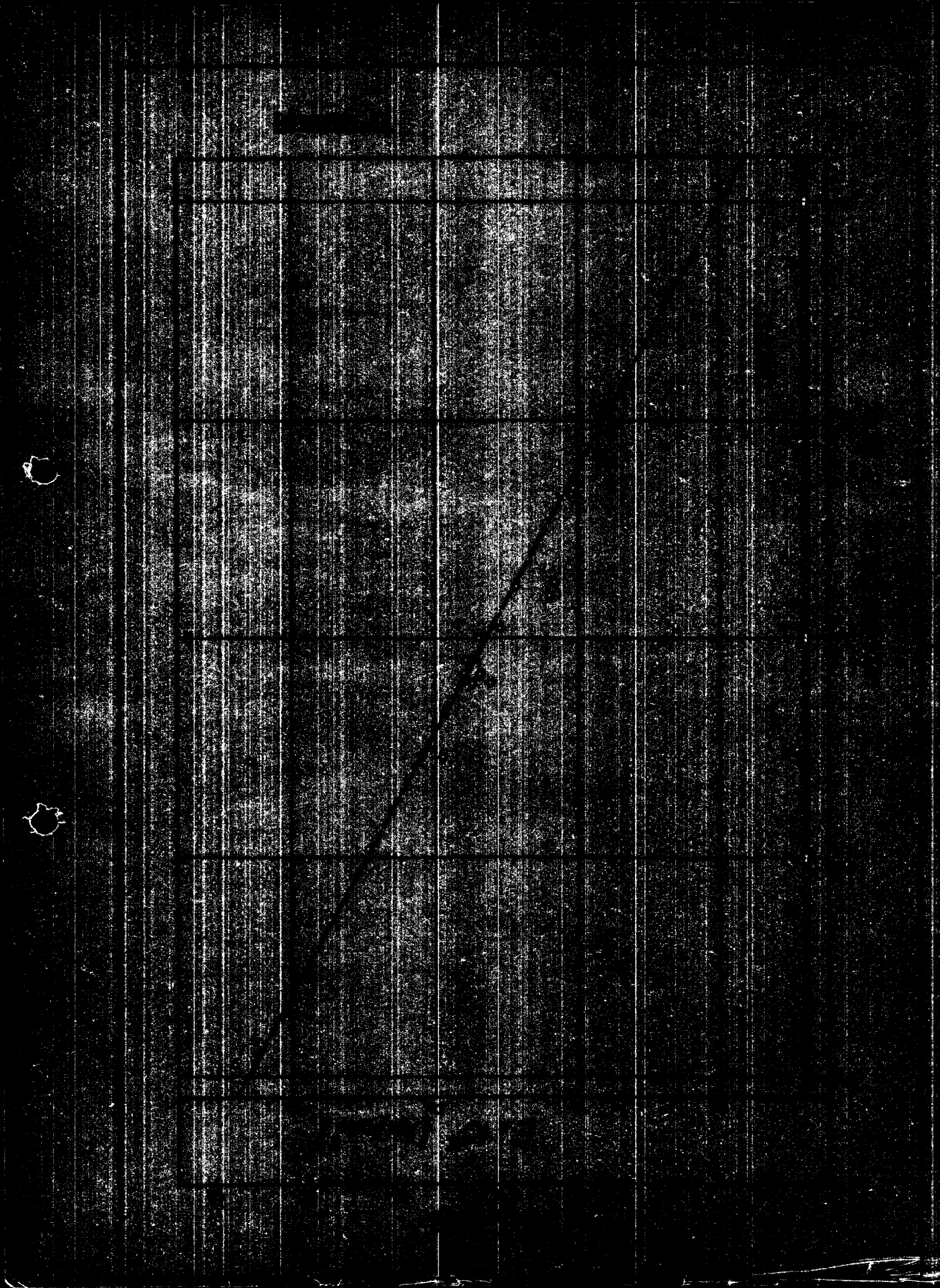


Diagram 1.

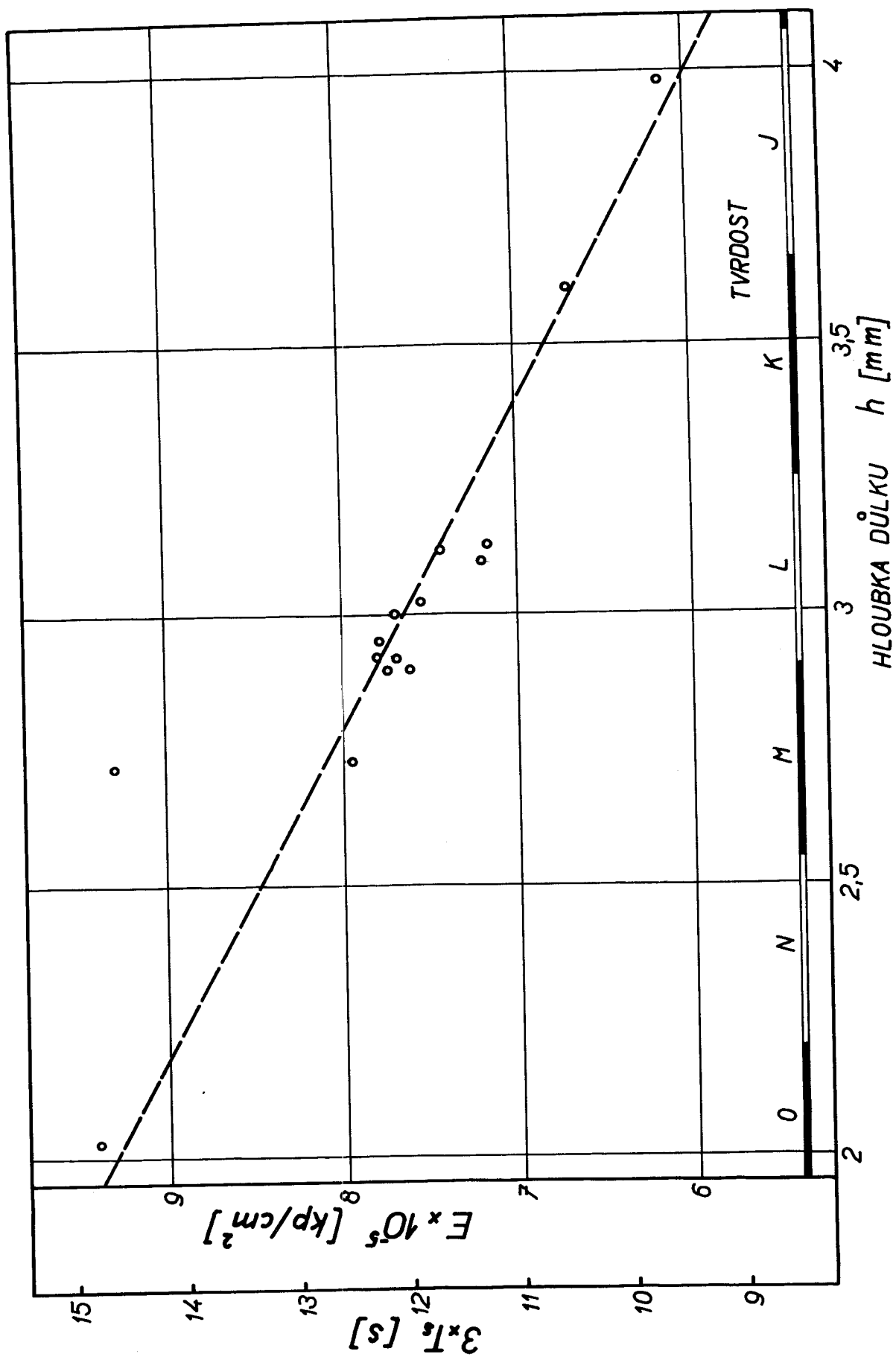


Diagram II.

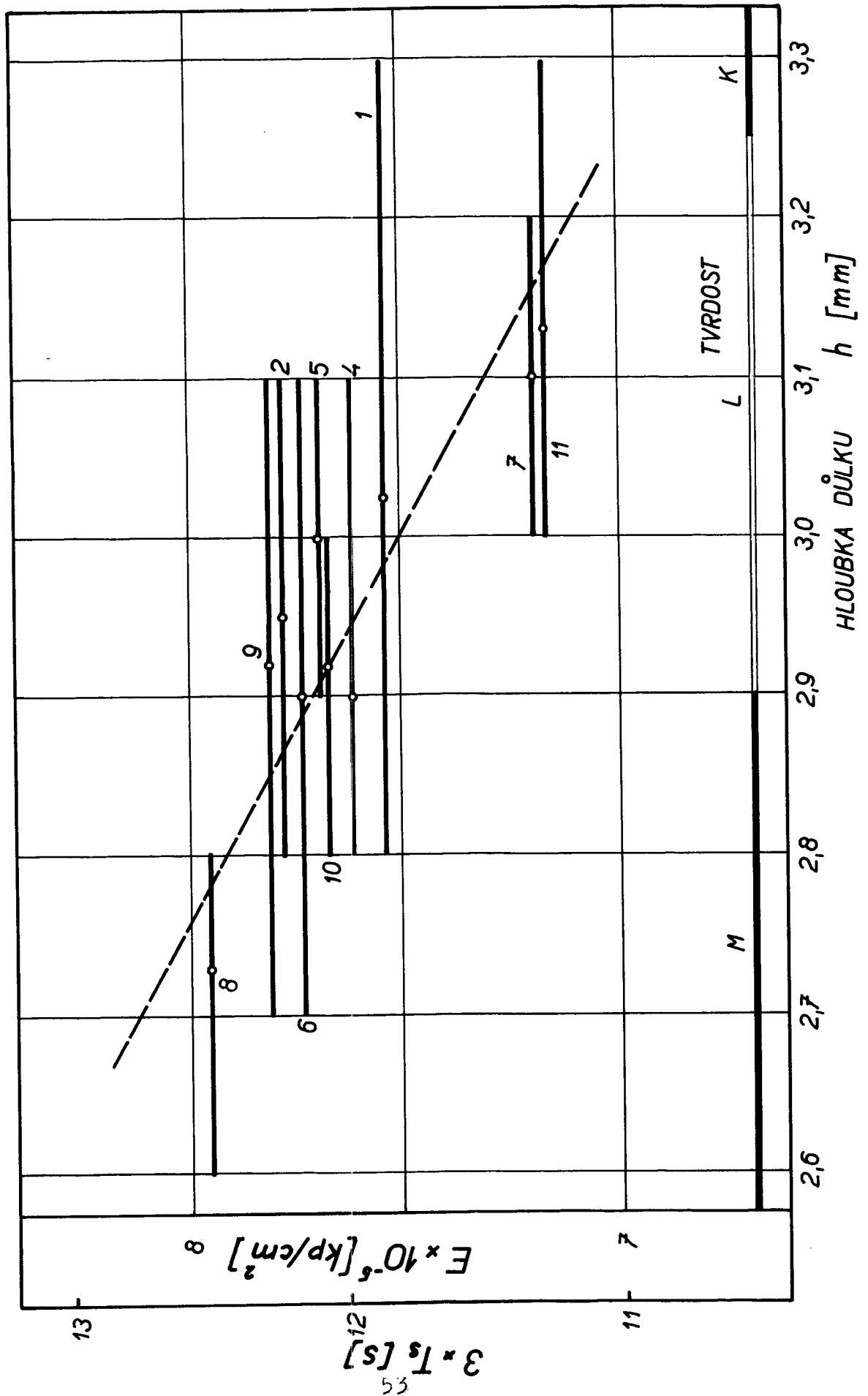
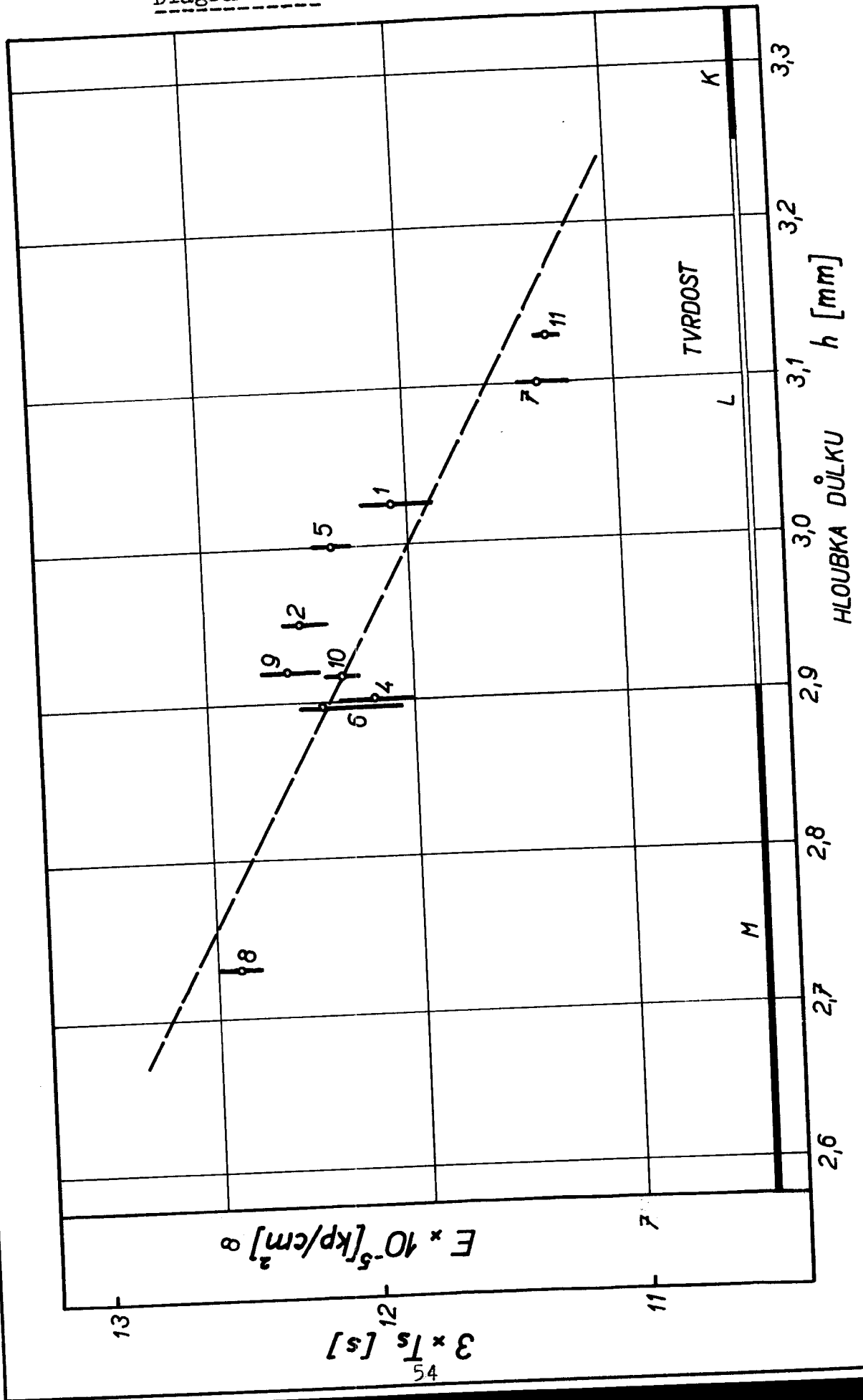


Diagram III.



VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stanovené modulu pružnosti.	DP-ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel

6. Porovnání výsledků Zeiss-Mackensenovy a Rolland-Sorinovy metody.

Základní nevýhoda Zeiss-Mackensenovy metody je v tom, že určuje tvrdost brusného nástroje pouze lokálně, v místě vytvářené dírky. Stavba brusného nástroje je však značně nestejnoměrná. Je to dáno již výrobou, zvláště u lisovaných kotoučů, kde je vliv pracovníka na kvalitu výrobku značný. Tím lze vysvětlit značný rozptyl měření, který na př. u kotouče č. 1 dělá až 18 % ze střední hodnoty. U dvojkyvadlové metody Rolland-Sorinovy zahrnuje měření brusný kotouč jako celek, a rozptyl je pak dán pouze nestejným větknutím kotoučů a chybou měření času. Nevýhodou metody je závislost na přesném dodržení rozměrů zkoušeného kotouče. Výrobce dodává brusné kotouče v poměrně hrubých rozměrových tolerancích, a přepočet modulu pružnosti na kotouč konstantního rozměru podle vzorce 4.19 je dosti obtížný.

Z diagramů I, II a III, udávajících závislost mezi modulem pružnosti změřeným Rolland-Sorinovým způsobem a tvrdostí podle Zeiss-Mackensena, lze soudit, že vzájemná závislost mezi oběma veličinami existuje a je přibližně lineární. Modul pružnosti tedy roste s rostoucí tvrdostí brusného nástroje. Tento předpoklad by mohl být základem pro vytvoření nové stupnice tvrdosti brusných nástrojů v závislosti na modulem pružnosti. Pro širší podložení výsledků by bylo ovšem nutné provést měření na značně vyšším počtu vzorků, které by se musely pro tento účel zvlášť vyrobit v požá-

55

dovaném rozsahu tvrdostí. Dále by bylo vhodné provést porovnání modulu pružnosti s funkčními vlastnostmi brusného nástroje, uvedenými v 2.6., které jsou pro výsledek broušení rozhodující.

V diagramech II a III jsou zahrnuty výsledky měření deseti kotoučů stejného označení A9946L8V. V diagramu II jsou znázorněny průměrné hodnoty měření oběma metodami a rozptylu čtyř měření metody Zeiss-Mackensenovy. Podobně v diagramu III jsou znázorněny rozptyly dvojkyvadlové metody v provedených měřeních. Hodnoty tvrdostí podle Mackensena u téhož kotouče zasahují většinou do dvou sousedních stupňů tvrdosti, v případě kotouče č.1 do třech po sobě následujících stupňů tvrdosti a chyba činí až $\pm 9\%$. Naproti tomu chyba měření dvojkyvadlovou metodou je podle diagramu III nejvýše $\pm 2\%$. Jak je z diagramů patrné, pohybuje se modul pružnosti brusných kotoučů tvrdosti L mezi 7 až $8 \cdot 10^5$ kp/cm^2 , což je přibližně třetina modulu pružnosti oceli.

V diagramu I jsou, vedle sady stejného označení kotoučů 1 - 11, zaneseny i výsledky měření ostatních kotoučů. Jejich moduly pružnosti odpovídají, vzhledem ke stejnému typu pojiva, přibližně stejné velikosti zrna a pórovitosti, předpokládané závislosti. Velikost modulu pružnosti pro tvrdost J až O se pohybuje v rozmezí 6 až $10 \cdot 10^5$ kp/cm^2 . Kotouč č.13 s modulem pružnosti $9,27 \cdot 10^5$ kp/cm^2 neodpovídá uvedené závislosti. Tuto anomálii lze vysvětlit na př. jinou konečnou teplotou vypalování tohoto kotouče nebo nepřesností Zeiss-Mackensenovy metody. Pórovitý kotouč č.12 / A9946M12V / má modul pružnosti $4,75 \cdot 10^5$ kp/cm^2 . To odpovídá předpokladům uvedeným ve 3.1. Pro tyto vysoce pó -

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stanovení modulu pružnosti.	DP - ST 453/66
		5. LISTOPADU 1966
		Vladimír Gabriel
rézní kotouče není vhodná Zeiss-Mackensenova metoda, která vykazuje, vzhledem k nepravidelnosti rozložení zrn a pojiva, zkreslené výsledky. Modul pružnosti by mohl dát v tomto případě lepší obraz skutečných vlastností těchto kotoučů. Pro zařazení různě pórovitých kotoučů do používané stupnice tvrdosti, označované písmeny E až Z, by bylo nutno tuto stupnici v závislosti na modulu pružnosti pozměnit pro různé pórovitosti tak, aby tvrdost odpovídala zkušenostem získaným při broušení.		
57		

7.

Z á v ě r .

Měřicí zařízení pro určování modulu pružnosti brusných kotoučů dvojkyvadlovou metodou je konstrukčně velmi jednoduché a lze jej kdekoliv vyrebit. Stejně i cejchování přístroje je snadné, vyžaduje pouze, aby cejchovací kotouč měl stejné rozměry jako kotouč měřený. Jediným pomocným přístrojem jsou stopky, sloužící s dostatečnou přesností k měření doby zážně. Zařízení lze použít pro všechny druhy brusných materiálů a pojiva. Nevýhodou měření je hlavně závislost na rozměrech zkoušeného kotouče, které je nutno brát v úvahu při vyhodnocování měření. Druhou nevýhodou je delší doba měření v porovnání na př. s Zeiss-Mackensenovou metodou.

V průběhu práce bylo navrženo měřicí zařízení / výkres DP - 453/66-02 /, pracující na stejném principu jako popsané zařízení, které však lze upevnit na brusný kotouč nasazený přímo na vřetenu brusky. Tento přístroj by mohl sloužit ke kontrole kotouče přímo v pracovní poloze. Cejchování je nutné provádět na cejchovacím kotouči upnutém na téže vřetenu, aby se vyloučily chyby, vzniklé nedostatečnou tuhostí hřídele a ložisek. Zařízení nebylo dosud prakticky vyzkoušeno.

Uvedená metoda měření modulu pružnosti kotoučů může nalézt uplatnění zvláště v laboratorním zkoušení brusných nástrojů. Proti dosud používané metodě měření tvrdosti má, jak je vidět z diagramů, značně vyšší rozlišovací schopnost. Mohla by tedy sloužit i při výběru kotou-

VŠST LIBEREC	Určování tvrdosti brusných kotoučů na podkladě stanovení modulu pružnosti.	DP- ST 453/66 5. LISTOPADU 1966 Vladimír Gabriel
čů stejných vlastností tam, kde je to pro provoz nutné, na př. u automatických linek, ve kterých jsou zařazeny brousící operace. Také pro výrobce brusiva může být tato metoda přínosem, protože rozšíření poznatků o vlastnostech brusného nástroje je základním předpokladem pro zkvalitnění výroby i pro vývoj nových typů brusných nástrojů, což dále ovlivňuje dosažené výsledky i produktivitu práce u spotřebitelů brusiva. Na závěr děkujeme všem pracovníkům KOO VŠST za pomoc při uskutečnění této práce. Zároveň děkujeme pracovníkům n. p. Karborundum, kteří umožnili provést výběr zkoušených kotoučů, měření tvrdosti Zeiss-Mackensenovým způsobem a poskytli některé cenné informace.		

Použitá literatura.

- [1] Maslov, J.N.: Základy teorie broušení kovů,
Praha, SNTL, 1953.
- [2] Zedník, V.: Zkoušení kovů, Praha, SNTL, 1957.
- [3] Jareš, V., Jeníček, L.: Modul pružnosti litiny,
Stroj. obzor 16 /1936/, č. 8, 130-131, č. 10, 164-
168.
- [4] Rolland, P., Sorin, P.: Etude d'une méthode uti-
lisant le couplage entre deux systemes oscil-
lants pour la détermination de la résistance
mécanique des constructions et mesure des mo-
dules d'élasticité, Public. scient. et techn.
du Minister de l'air, No. 47, Paris 1934.
- [5] Einführung in die Schleiftechnik, Fachbuch -
verlag, Leipzig, 1957.
- [6] Ljubomudrov, V.N.: Abrazivnyje instrumenty
i ich izgotovlenije, MAŠGIZ, Moskva, 1953.
- [7] Říčka: Vlastnosti brusného nástroje a jejich
hodnocení, Strojírenství, č. 5, 10, 1960.
- [8] Říčka: Hodnocení funkčních vlastností brus-
ných nástrojů, Strojírenství, č. 7, 15, 1965.
- [9] Pursche, G.: Kennzeichnung der Qualität von
Ziehschleifsteinen mit Hilfe des E-Moduls,
Fertigungstechnik und Betrieb, č. 4, 15, 1965.
- [10] Mackenzie: Elastic Constants of a Solid
Containing Spherical Holes, Proc. Phys. Soc.,
London, 1950.
- [11] Beljajev: Pružnost a pevnost I, SNTL, Praha,
1954.