

Karel H a v e l, VÚHU

Bohumil M a l i n a, VÚHU

Analytický rozbor procesu rozpojení provedený na měřicím stavu VÚHU

1.1.1 Úvod

Rozvoj báňské činnosti v severočeském hnědouhelném revíru po druhé světové válce je mimo jiné vyznačen dvěma na sobě přímo závislými faktory:

- 1/ zaváděním složitých a vysoce výkonných mechanismů pro vlastní dobývání,
- 2/ neustálým ztěžováním geologických podmínek, které přímo ovlivňují nasazení a využití těchto mechanismů.

Současná etapa rozvoje revíru je charakterizována zaváděním technologických celků - dále jen TC.

Problematika těžitelnosti nadloží, jež přímo určuje nasazení současných a budoucích TC je po technologické stránce zpracována ve formě rypných odporů, které jsou zavedenou srovnávací jednotkou, určující míru technologických problémů v souvislosti s těžbou určité partie nadloží, nasazení jednotlivých mechanismů nebo prognostiku dalšího vývoje projekce a konstrukce nových strojů.

Rypný odpor jako srovnávací jednotka se užívá nejen ve vlastním provozu, ale i při konstrukci a úpravách strojů jak v ČSSR, tak v PLR, MLR, SSSR, NDR a dalších zemích s povrchovou těžbou surovin a nerostů. Bohužel v jednotlivých zemích jsou používány nejednotné metody pro měření rypných odporů, u nichž vzhledem k tomu, že jsou realizovány přímo na dobývacích strojích, je získaný výsledek rypného odporu vždy funkcí vlastního dobývacího stroje. To vede ke zkreslování skutečnosti, v krajním případě až k havariím. Tyto důvody vedly pracovníky VÚHU - útvaru měřicí techniky, oddělení tensometrie - v souladu s plněním jejich výzkumných úkolů ke konstrukci měřicího stavu. Předpokládalo se, že pomocí tohoto zařízení bude možno přispět k objasnění otázky o chování nadložních vrstev při rozpojování rypným orgánem dobývacího stroje. Bylo nutno nejdříve ověřit, zda je tento nápad vůbec reálný. Z toho také vycházela celá konstrukce popisovaného zařízení. Původně se

předpokládalo jen vyzkoušení samotného principu. Průběh zkoušek ukázal, že při této metodice zjišťování odporu zeminy proti rozpojení se jednotlivé vzorky zeminy chovají rozdílně ve srovnání s původním předpokladem. Proto bylo na zkušebním stavu provedeno daleko více zkoušek a jejich porovnání, než kolik se původně očekávalo.

2.1.1 Stručný přehled teorií pro stanovení rypného odporu

Na první pohled se zdá, že definování pojmu odolnosti zeminy proti rozpojení - dále jen "rypných odporů" je záležitost teoreticky dobře zpracovaná a experimentálně ověřená, či že se jedná o problém, který lze analogicky srovnat s chováním jiných materiálů (např. kovu, dřeva), u kterých též dochází při obrábění k vzájemné vazbě nástroj - materiál, jehož výsledkem je změna tvaru materiálu v důsledku odebrání části jeho objemu ve formě třísek.

Bohužel značná anizotropnost zemin, rozdílnost konstrukce vlastních dobývacích strojů, ale i to, že dobývací stroje byly až dosud značně předimenzovány a otázka velikosti řezného odporu se tedy nejevila jako aktuální, to vše způsobilo, že v názorech na teoretické děje v zemině při jejím rozpojování panuje dosud značná nejednotnost. Mezi nejznámější autory teorií rypných odporů jsou počítáni V. P. Gorjačkin, N. G. Dombrowski, A. N. Zelenin, J. A. Větrov, dále I. Brach a G. Kühn, G. Wirtz, J. Rathie. Z našich autorů pak zejména V. Limberk.

2.1.2 Teorie V. P. Gorjačkina

Někteří z autorů, jako například V. P. Gorjačkin, předpokládali, že proces rozpojení zeminy je zakončen usmyknutím zeminy na rovinné ploše (obr. 1). Dále, že převažující složkou odporu nástroje je vodorovný průmět sil T a N , jimiž je vyvoláno tření mezi nožem a zeminou. Ze složkového obrazce vyplývá pro napětí kolmé na nůž vztah:

$$N = \frac{Q \cdot \sin \psi}{\sin(180 - (\beta + \psi))} = \frac{Q \cdot \sin \psi}{\sin(\beta + \psi)}$$

napětí kolmé na smykovou plochu bude

$$= \frac{Q \cdot \sin \beta}{\sin(\beta + \psi)}$$

Pohybu nože brání vodorovný průmět sil N , T , tedy

$$T \cdot \cos \beta \text{ a } N \cdot \sin \beta$$

Odpor proti pohybu nože bude tedy

$$P_t = T \cdot \cos \beta + N \cdot \sin \beta = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos \beta + N \cdot \sin \beta$$

Po dosazení a úpravě bude výraz

$$P_t = Q \frac{\sin \psi \cdot \sin (\varphi_1 + \beta)}{\cos \varphi_1 \cdot \sin (\beta + \psi)}$$

Na ploše $\overline{AB}$ nastane usmyknutí. Pro rovnováhu na mezi porušení platí známý vztah

$$T_1 = S \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot \overline{AB}$$

kde $-c-$ je soudržnost v MPa a φ úhel vnitřního tření.

Řezný odpor bude

$$P_r = S \cdot \sin \psi + S \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \psi + c \cdot \overline{AB} \cdot \cos \psi$$

Po úpravě dostaneme

$$P_r = \frac{S \cdot \sin (\psi + \varphi)}{\cos \varphi_1} + c \cdot h \cdot \operatorname{cotg} \psi$$

Po dosazení za S dostaneme konečně (šířka třísky $b \neq 1$)

$$P_r = Q \cdot \frac{\sin \beta \cdot \sin (\varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin (\beta + \psi)} + c \cdot b \cdot h \cdot \operatorname{cotg} \psi$$

Celkový odpor rýpání je pak

$$P = P_t + P_r$$

K uvedené formulaci lze podotknout, že při pohybu nože podle vodorovné nebo málo skloněné trajektorie jsou následující odříznuté vrstvy nuceny se zvedat po zemině, která již byla dříve odříznuta, čímž vzrůstá odpor P_t . Kromě toho v druhé části řešení není přihlíženo k reakci zeminy podél smykové plochy, ale uvažuje se pouze soudržnost. K tomu je ještě třeba dodat, že smyková plocha, podél níž se zemina poruší

není rovinná, ale křivá. Proto hodnoty rypných odporů vypočtené podle uváděných vztahů se liší od hodnot naměřených na rypadlech asi o 50 %.

Tuto teorii uvádíme záměrně, vzhledem k tomu, že je velmi rozšířena a o ní se z počátku opíraly experimenty na měrném stavu.

3.1.1 Popis konstrukce měřicího stavu VÚHU

Základním orgánem tohoto zařízení (na obr. 2) je smluvní nůž upevněný na držáku, který je současně měrným silovým členem - dynamometrem. energii potřebnou k rozpojení vzorku zeminy dodávalo závaží s měnitelnou hmotností, které se pohybovalo po vertikální dráze volným pádem. Toto řešení umožnilo, aby v případě potřeby bylo možno plynule měnit řeznou rychlost od 0 do 4 m/s. V průběhu zkoušek se užívala minimální hmotnost závaží 78 kg. Hmotnost bylo nutno měnit až na 290 kg pro zachování konstantní energie v okamžiku dopadu v souvislosti s požadovanou změnou řezné rychlosti.

Reakce vznikající v průběhu oddělování třísky ze smluvního vzorku namáhaly dynamometr ohybem, což se projevilo zákonitým prodlužováním tensometrických snímačů, nalepených na dynamometru dle obr. 3 a 4.

Jako snímače byly užity elektrické odporové tensometry Mikrotech- na typ C 120 s ohmickou hodnotou 118,8 a konstantou $2,08 \pm 1 \%$.

Snímače byly zapojeny na polovinu mostu a to tak, že aktivní (S_a) a kompenzační tensometr (S_k) byly spojeny do série a umístěny tak, jak je zřejmé z obr. 3.

Před vlastním měřením bylo nutno provést cejchování dynamometru. Vlastní těleso bylo fixováno ve vedení a dynamometr namáhán na ohyb kapalinovým zvedákem přes vložený laboratorní dynamometr Philips s maximálním propustným zatížením $4,4 \cdot 10^3$ N (obr. 5). Zjištěná odchylka od lineárního průběhu ohybu dynamometru nepřesáhla 1,5 %.

Rozpojovací nástroj byl ve tvaru klínu, jehož úhel hřbetu (α) byl 5° , úhel čela (γ) 60° a úhel řezu (δ) 85° . Schéma nástroje spolu s označením řezné roviny (φ_R) a normálové roviny (φ_N) je na obrázku 6.

3.1.2 Způsob registrace naměřených hodnot

V úvodu je nutno konstatovat, že měření bylo velmi ztíženo rela-

tivně vysokou rychlostí pohybu nástroje, z čehož vyplynula velmi krátká doba aktivního měření. Ta se pohybovala v rozmezí od 0,10 do 0,15 s. Proto bylo nutno použít vzájemné vazby měřicí člen - tensometrický můstek - oscilograf. Blokové schéma této soustavy je na obr. 3. Ve skutečnosti se jedná o můstek Philips typu PR 9307 napájený střídavým napětím a smyčkový zapisovač RFT ELS - 1, obr. 7.

Tato soustava byla zvolena záměrně, protože vyhovovala dynamickému průběhu zatížení dynamometru. Jako materiál pro záznam průběhu síly byl užit světlocitlivý papír Kodak, s rychlostí posuvu 1 m/s.

4.1.1 Výsledky experimentů na měřicím stavu

V úvodu prací na měřicím stavu bylo nutno analyzovat průběh sil působících v rovině σ_R . Experimenty na vzorcích různých petrografických složení bylo potvrzeno, že proces rozpojování je kombinací řezání vzorku, odlamování a drcení.

Pro názornost uvedeme silový záznam průběhu rozpojování v závislosti na čase u dvou charakteristických vzorků, u nichž byly předem známy tyto veličiny: objemová hmotnost, vlhkost v % sušiny a objemu, měrnou hmotnost, pórovitost, Atterbergerovy meze, konsistence dle ČSN 73 1001, smyková pevnost, petrografický typ, dále procentuální obsah montmorillonitu, illitu, kaolinitu, organických látek a karbonátů. Tyto hodnoty byly posuzovány u každého vzorku v průběhu experimentálních zkoušek.

Vzorek A na obr. 8 lze považovat za charakteristický pro materiály rozpojitelné s vynaložením velkých sil. Jeho rozpojování probíhalo se značnou oscilací rozpojovací síly, jak je zřejmé z jejího záznamu na obr. 9 a nelze tedy tento proces charakterizovat jako "řezání". U vzorku na obr. 10 je oscilace síly menší a její maximální hodnota je na konci záznamu v místě, kde došlo k odlomení třísky asi 11 cm shora. Tento vzorek v porovnání se vzorkem na obr. 8 vykazoval odlišnost, zejména ve větším obsahu vody a větší pórovitosti. Silový záznam rozpojování vzorku z obr. 10 je na obr. 11.

4.1.2 Poznatky z dlouhodobých experimentů na měrném stavu

Poznatky získané v průběhu několikaměsíčních experimentů na měři-

cím stavu lze shrnout takto:

- 1/ Proces rozpojování nelze charakterizovat jednoznačně. Záleží zejména na vlastnostech a skladbě rozpojovaného materiálu (jako umístění vrstev, přítomnosti tmelu, pórovitosti), která ze složek (řezání, drcení, odlamování) bude převažovat.
- 2/ Smyková soudržnost a úhel vnitřního tření se neukázaly jako vhodné k vzájemné vazbě s hodnotami dynamického účinku rozpojovací síly, i když není možno dělat jednoznačný závěr vzhledem k poměrně malému počtu provedených experimentů.
- 3/ Jako nejvýhodnější se ukázalo vzájemné spojení hodnot pórovitosti rozpojovaného materiálu, jeho vlhkosti a obsahu karbonátů (pokud se karbonát ve vzorcích vyskytoval) ve vzájemné vazbě s hodnotami maximálního naměřeného dynamického účinku rozpojovací síly.
Podotýkáme, že soubor hodnot byl sestavován v našem oddělení jen podle velikosti maximálního naměřeného dynamického účinku rozpojovací síly.
K podobnému zjištění, zejména v souvislosti s obsahem vody a podílu jílovitých frakcí v hornině, se došlo i v PLR.
- 4/ Po matematickém vyhodnocení získaných výsledků z petrografických rozborů a tensometrických měření na měřicím stavu vyplynulo, že existuje matematická závislost mezi hodnotami uváděnými pod bodem 3.
Pro zpracování dat na počítači ICL 1900 metodou regresní analýzy s využitím firemního programu XD S2/35 vyplynula jako nejvýhodnější rovnice ve tvaru

$$F_{\max} = \frac{1}{0,0066 \cdot \text{Por} - 0,0001 \cdot \text{Por} \cdot \text{Kar}} \quad (\text{N})$$

kde $F_{\max}$ = maximální naměřený dynamický účinek rozpojovací síly

Por = pórovitost rozpojovaného vzorku v %

Kar = obsah karbonátů v rozpojovaném vzorku v %

Rovnice má význam v případě, že karbonát je ve vzorku zastoupen.

- 5/ V průběhu experimentů se ukázala možnost posoudit vzájemnou závislost maximálního účinku dynamické síly na změnách řezné rychlosti a tloušťce třísky.

V tomto směru však nelze ze strany experimentátorů zaujmout jedno-

značné stanovisko. A to zejména proto, že počet experimentů nevyhovoval pro celkové zhodnocení.

5.1.1 Zhodnocení činnosti měřicího stavu VÚHU

Měřicí stav byl navržen a realizován jako jednoúčelové zařízení pro potřeby experimentální činnosti v souvislosti s řešením výzkumného úkolu "Výzkum mechanicko-fyzikálních a geotechnických vlastností nadložních hornin z hlediska technologie těžby skryvky".

Byl v provozu prakticky po celý rok 1975. Vzhledem k tomu, že v této oblasti chybí základní výzkum, bylo nutno tuto mezeru překlenout rozšířením experimentální činnosti jak z hlediska obsahu a metodiky, tak i zejména z hlediska času. Na měřicím stavu se zpracovalo mnohem více vzorků, než kolik se původně předpokládalo. V průběhu experimentů se projevila vysoká kapacita tohoto zařízení, které umožní provést až 15 zkušebních řezů včetně vyhodnocení průběhu a velikosti dynamického účinku síly při rozpojování vzorku. Životnost vlastního měrného členu - dynamometru, který byl současně držákem smluvního rozpojovacího nástroje, se ukázala jako vysoká a potvrdila realnost používání této měřicí a experimentální metodiky.

Za slabinu experimentální činnosti na měřicím stavu je nutno považovat odběr vzorků. V průběhu experimentů se pracovalo se vzorky odebranými přímo ze skryvkových řezů, které jsou sice levné a teoreticky jich lze odebrat libovolné množství, ale jsou zde značné problémy s orientací a stanovením přesných souřadnic místa, odkud byl vzorek odebrán. Mnohem lépe vyhověly vzorky odebírané přímo z vrtů. Jednou z jejich nevýhod je značná pořizovací cena.

6.1.1 Předpoklad dalšího použití měřicího stavu VÚHU

Naprostá většina zkušebních metod užívaných v technické praxi má charakter smluvních metod, založených na používání jednotných etalonů. Stačí připomenout zkoušky tvrdosti, obrobitelnosti, tvárnosti a podobně. K údajům získaným dle určité metody je nutno připojit i její označení. Nemají tedy absolutní hodnotu a platnost.

V případě odporu proti rozpojování zemín - rypného odporu je zřejmé, že další těžiště experimentální činnosti bude ve srovnání výsledků

z měření rypných odporů prováděných ověřenou metodikou měření rypných odporů přímou a nepřímou metodou a výsledků získaných z měřicího stavu.

V případě, že se prokáže jasná závislost mezi výsledky měření rypných odporů klasickými metodami a metodou měřicího stavu, pak další užívání měřicího stavu by bylo plně oprávněné. Umožnilo by se tak značné zrychlení měření rypných odporů, zabezpečila by se jejich reprodukovatelnost, což je nemožné u metod klasických. Nejvýznamnějším přínosem by pak byla možnost relativně přesného stanovení rypných odporů ze vzorků získaných vrtným průzkumem ve výhledových dolových polích, což by také umožnilo včas zadávat příslušné parametry pro vývoj dobývacích strojů. I vlastní přesnost měření by podstatně stoupla. Zejména proto, že měřicí stav VÚHU by pracoval se standardním nástrojem, velikostí a tvarem vzorku a dodržením řezné rychlosti.

Všechny tyto vyjmenované a důležité podmínky lze při měření klasickými metodami v provozu dodržet jen s velkými obtížemi, nebo vůbec ne.

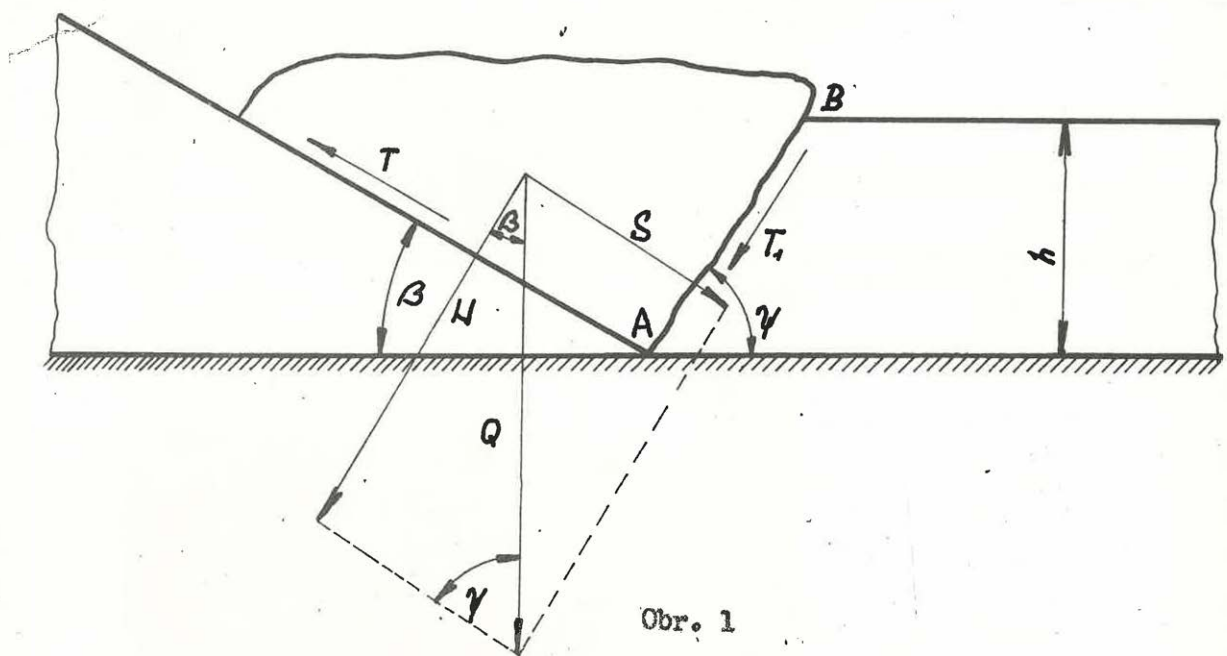
7.1.1 Závěr

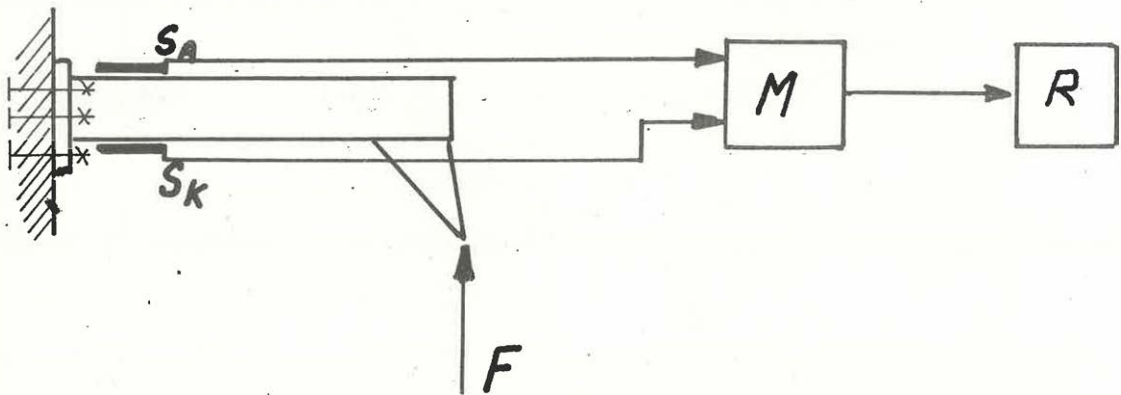
Ve VÚHU v Mostě byl v roce 1975 navržen a realizován měřicí stav, který měl posloužit k experimentům v souvislosti s řešením výzkumného úkolu "Výzkum mechanicko-fyzikálních a geotechnických vlastností nadložních hornin z hlediska technologie těžby skřávků".

Měření velikosti síly nutné k rozpojení vzorku zeminy byla prováděna tensometrickým způsobem. V průběhu experimentů byly zjištěny závislosti mezi petrografickými znaky a maximální velikostí účinku dynamické síly při rozpojování. Na základě poznatků z 1. etapy měření jsou prováděny rekonstrukce měrného stavu, které umožní zvětšit přesnost měření a odstranit negativní vlivy spojené s odběrem vzorků zeminy. Současně se zvětší pracovní rozsah zařízení.

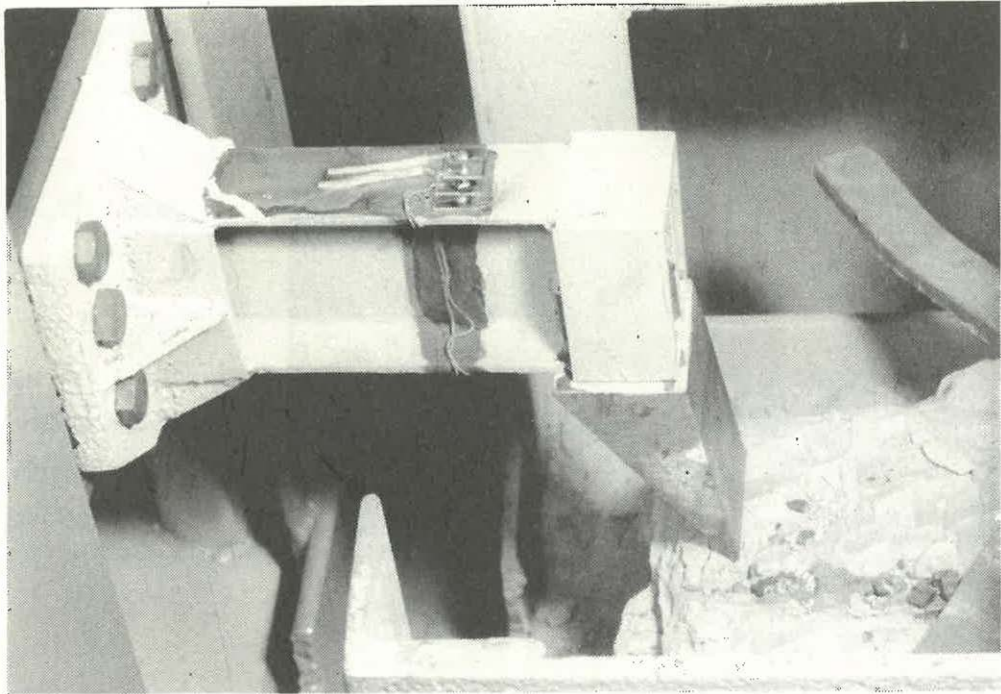
Po opětovném uvedení měřicího stavu do provozu bude těžiště experimentů směřovat k porovnání s klasickými metodami měření rypných odporů.

Recenzoval : Ing. Josef Romportl

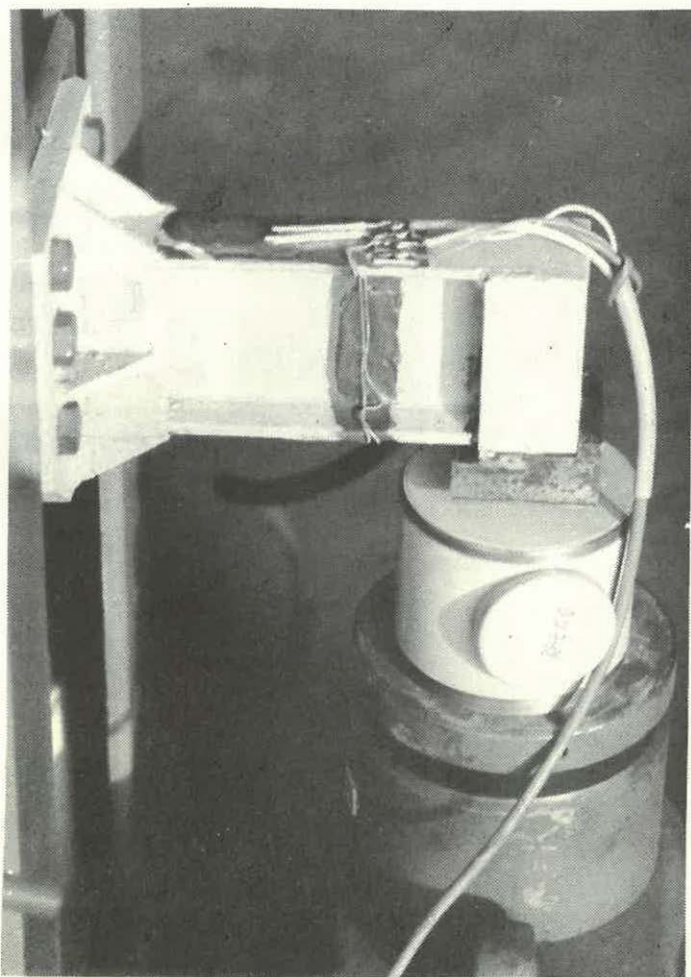




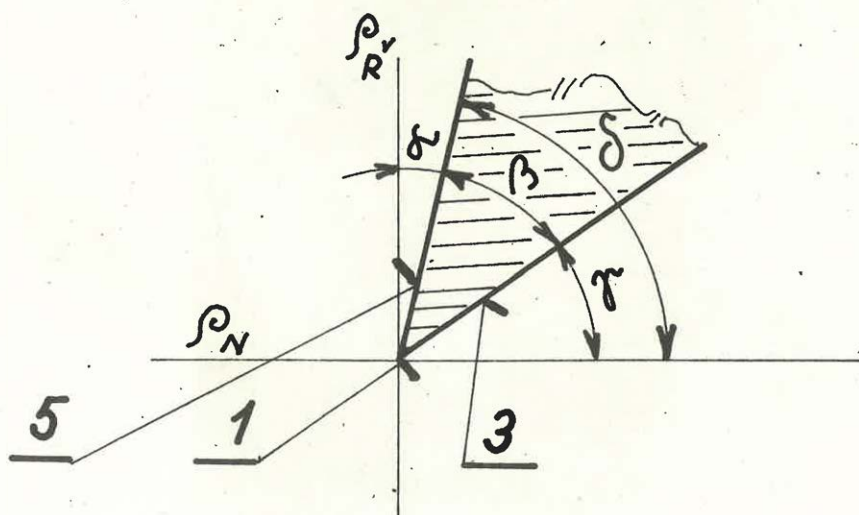
Obr. 3



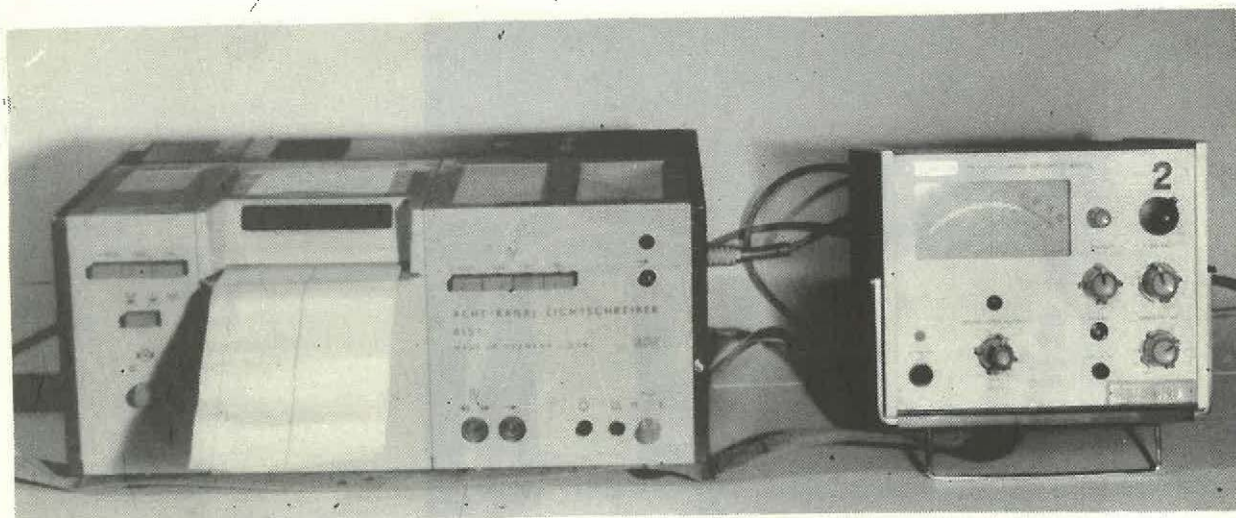
Obr. 4



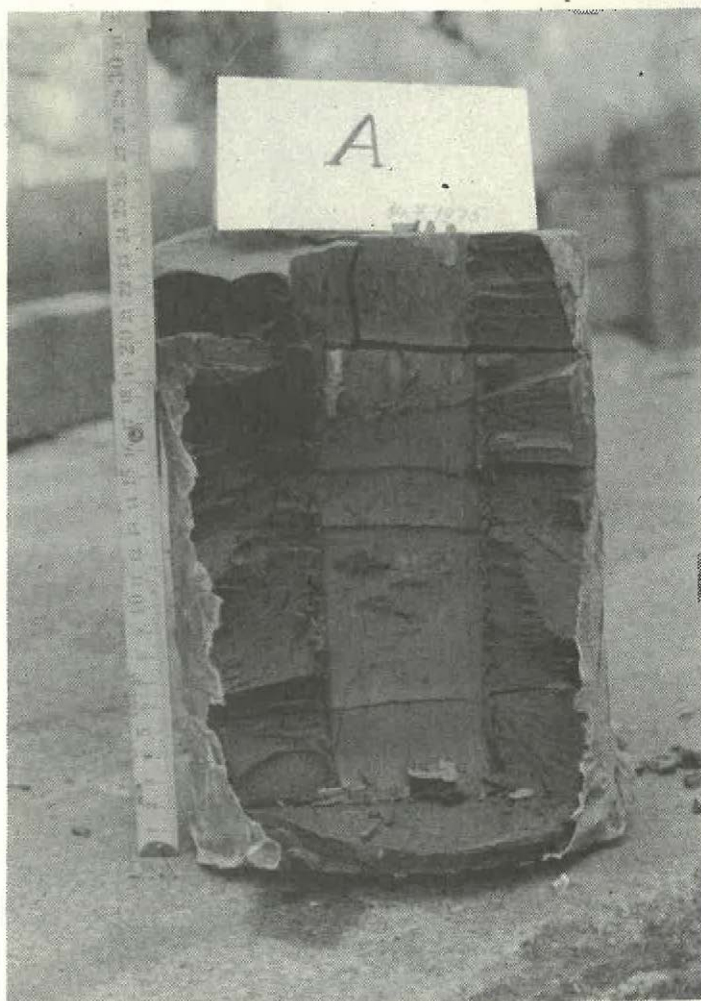
Obr. 5



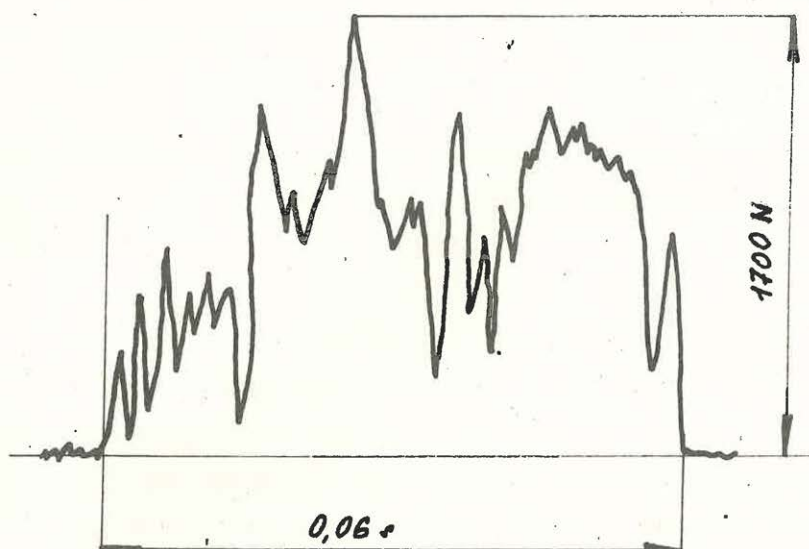
Obr. 6



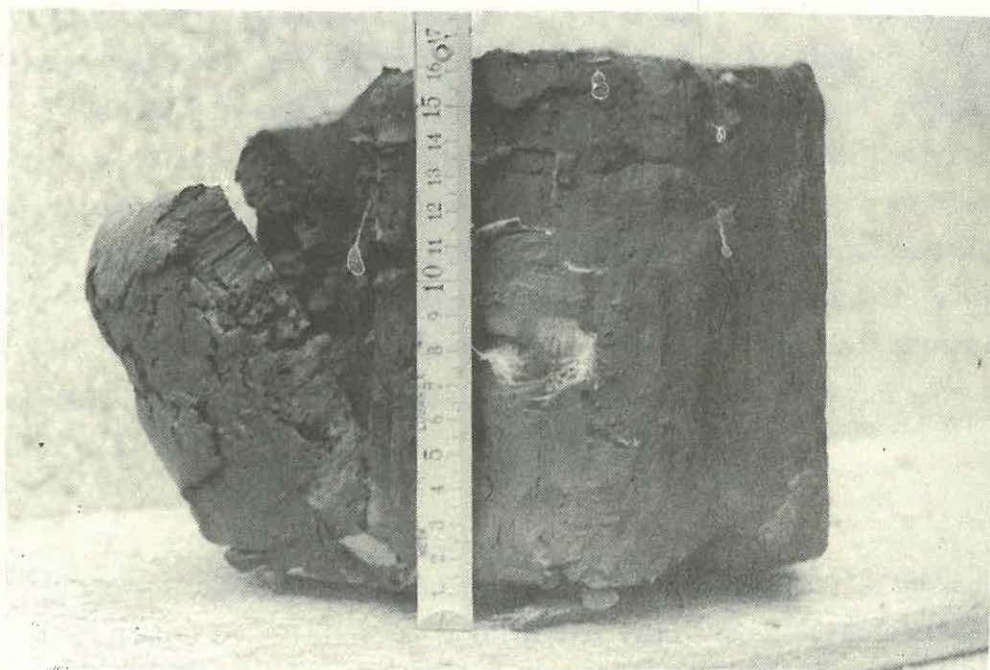
Obr. 7



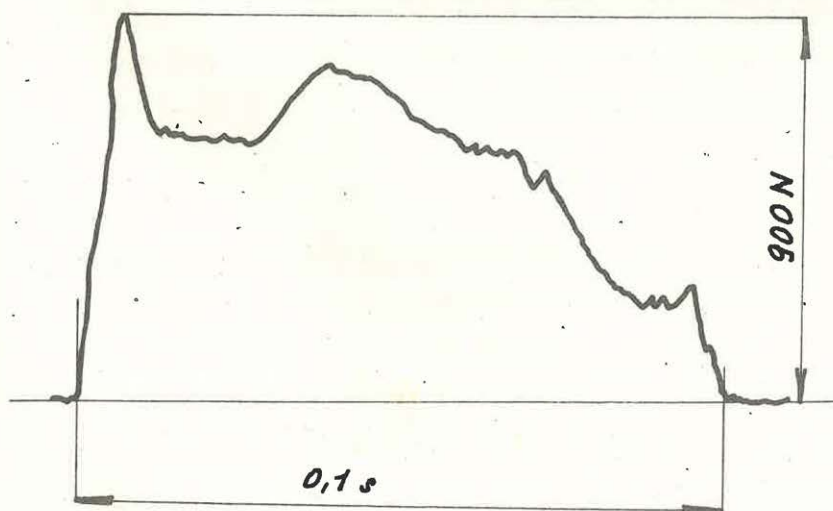
Obr. 8



Obr. 9



Obr. 10



Obr. 11