

Inž. Jiří Mašek, Petr Půscitel, VÚHU :

MODELOVÉ MĚŘENÍ VLIVU PŘEVÝŠENÝCH VÝSYPKY NA HLUBINNÁ DŮLNÍ DÍLA

Úvod :

V severočeském hnědouhelném revíru vznikla z provozních a ekonomických důvodů nutnost zakládat výsypky v oblastech, kde se provádí těžba uhlí hlubinným způsobem. Z těchto důvodů bylo třeba zjistit, jaký budou mít tyto výsypky vliv na stabilitu důlního díla, nebo jaká opatření (úprava výztuže, bezpečnost práce) bude třeba udělat, aby tato stabilita byla zachována.

Naším úkolem bylo zjistit velikost přírůstku tlaku na strop důlního díla "p" v závislosti na hloubce "h", velikosti a poloze přitížení "q" na povrchu (mocnost výsypky). Statické řešení tohoto problému by bylo i za velmi zjednodušených předpokladů početně složité a při uvažování plasticity skoro neproveditelné. Z těchto důvodů jsme tuto úlohu studovali na modelech z ekvivalentních materiálů jako rovinnou úlohu za předpokladu homogenního prostředí.

Chceme-li získat procentuální poměr a vzájemnou závislost zúčastněných veličin, postačí nám, abychom zachovali geometrickou podobnost skutečného díla a modelu. Dále můžeme ponechat konstantní šířku důlního díla pro všechna měření a používat jeden druh modelového materiálu, který je ekvivalentní k horninám, ve kterých se v severočeském revíru nejčastěji provádí hlubinná důlní činnost. Ekvivalentní materiál byla směs balotiny s 0,25 % váhových dílů oleje. Jeho hodnoty zjištěné na triaxiálním přístroji jsou : $\varphi = 24^{\circ}$, $c = 0,02 \text{ kp/cm}^2$. Objemová váha $\gamma = 1,695 \text{ g/cm}^3$. Za těchto podmínek budeme sledovat změnu tlaku na strop při různé výšce nadloží "h" a při různém přitížení na povrchu "q".

Názory na horský tlak

Podzemní konstrukce pracuje v podmínkách ostře se odlišujících od podmínek běžných pozemních konstrukcí. Na konstrukci, která je uložena v horském masivu, působí nejen vnější zatížení, ale i vnitřní napětí prostředí, které konstrukci obklopuje (tzn. zemské kůry). Zemská kůra však nebyla během geologických dob v klidu. Místy se dostávala do pohybu, který způsoboval vyrovnání lokálně porušeného stavu napjatosti v důsledku pozdější horotvorné činnosti. Tímto pohybem - zvrásněním, se dostávaly některé části zemské kůry níže, přičemž se délka zkracovala, jiné opět výše a

jejich délka se prodlužovala. V těchto případech dochází k namáhání na tlak, tah a ohyb nebo stříh a při překročení jejich mezních hodnot k porušení. Těmito tektonickými pohyby změnila horniny v dotčených místech své mechanicko-fyzikální vlastnosti, ztratily na poruchách souvislost a soudržnost. Namáhání na tlak, tah a smyk pak tvoří v horském masivu prostorový napjatostní režim, který se ovšem nemůže nijak projevit, neboť mu v tom brání ostatní hmota, která jej obklopuje. Tento stav v zemské kůře definujeme jako rovnovážný stav napjatosti.

Dojde-li zásahem lidské činnosti (provádění výlomu podzemního prostoru) k porušení tohoto rovnovážného stavu, vznikají v této oblasti síly, které nazýváme horským tlakem.

Horský tlak je vlastně souvislý, přirozený jev, projevující se formou silového systému, jímž se hmota horského masivu v porušeném místě snaží obnovit stav rovnováhy. Na horský tlak je nutno pohlížet jako na uvolňování přírodního zdroje energie, utajené v horském masivu. Velikost projevu horského tlaku je funkcí výšky nadloží, mechanicko-fyzikálních vlastností masivu, velikosti a tvaru podzemního díla a dále závisí na technologii provádění výrubu a na čase, který tuto problematiku ještě dále komplikuje. U velmi hlubokých podzemních děl přistupuje ještě vliv teploty.

Jak jsme uvedli, vznikne provedením podzemního výrubu porušení rovnovážného stavu napjatosti, které se začne projevovat silami působícími do výrubu. Tento nově vzniklý stav vyvolává přeskupování sil se snahou, aby byl obnoven stav rovnováhy. Pohybují-li se probíhající silové změny pod mezí pružnosti horniny, nemění pásmo těchto změn kolem výrubu svůj tvar jako celek. Překročí-li tyto změny hodnoty meze pružnosti horniny, dochází k mechanicko-fyzikálním změnám vlastností hornin, ke strukturálním změnám, a následek tohoto jevu je trvalá deformace hmoty. K tomu, aby ve hmotě proběhlo přeskupení jednotlivých částic a nastala deformace tak, aby hmota jako celek byla schopna čelit změnám silovým účinkům, je zapotřebí určitého času. To znamená, že deformace je v určitém časovém zpoždění vůči změně napětí silového uspořádání.

V prvním případě, kdy tyto síly (horský tlak) nepřestoupí mez pružnosti, nedojde ke změně horniny kolem výrubu, která by ohrozila jeho stabilitu. To znamená, že takový výrub nemusíme zabezpečovat dočasnou nebo trvalou výztuží. Z toho plyne, že kolem výrubu vznikla oblast zvýšeného napětí, jehož maximum leží v lici výrubu, ale nepřesahuje mez pevnosti horského masivu.

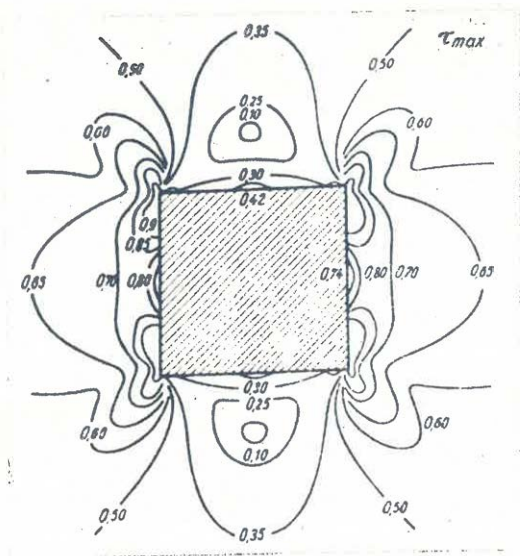
V druhém případě, kdy síly horského tlaku překročí mez pevnosti masivu, nastává na lici výrubu proces porušování, který postupuje do hloubky masivu. Kdybychom

nechali výrub nezajištěn, docházelo by s určitou časovou retardací v oblasti kolem výrubu ke stálému zmenšování soudržnosti se vzrůstajícím napětím, až by došlo v určité části k úplné ztrátě soudržnosti horniny, k úplné ztrátě napětí, tj. k závalu výrubu. Z toho plyne, že nemá-li dojít k závalu, jakožto k následku horského tlaku, musíme nějakou umělou konstrukcí vestavěnou do výrubu zabránit účinkům horského tlaku co nejdříve po výrubu nebo během něho, abychom využili časové retardace mezi změnou napětí a deformací.

Přirozená klenba nad důlními prostory

Zákonitým projevem horského tlaku je vytváření přirozené horninové klenby nad důlním dílem. Je to následek snahy po obnovení rovnovážného stavu napětí narušeného vyrubáním díla. Přitom vzniká přeskupování potenciální energie a s tím souvisí vznik zvýšených napětí v některých místech okolní horniny. Vlivem kombinace napětí však převládají napětí smyková, která budou mít rozhodující vliv na rozrušení horniny kolem výrubu.

Sledujeme-li např. průběh maximálních smykových napětí kolem čtvercového otvoru (obr. č. 1), zatíženého rovnoměrným tlakem, zjistíme, že při symetrickém tvaru podzemního profilu, vzhledem k jeho svislé ose, se maximální smyková napětí soustřeďují šikmo nad vrchní rohy podzemní dutiny a nad středem její šířky vznikají pásma s velkým poklesem hodnot napětí.



Obr. č. 1

Průběh zmenšování smykových napětí směrem nahoru od horních rohů dutiny je plynulý a proto při platnosti Hookova zákona je i deformace úměrně plynulá. Jelikož za tohoto stavu nám převládají svislá napětí, což vyplývá z přirozené energie napjatosti, je odlehčené pásmo nad stropem ohraničeno křivkou, která nám určuje zakřivení přirozené horninové klenby. Vznikne-li za určitých podmínek na tomto rozhraní větší smykové napětí než je pevnost horniny ve smyku, musí nastat utržení nadstropní horniny až po přirozenou klenbu.

Vzepětí přirozené horninové klenby a tím i velikost horského tlaku je závislá na dvou hlavních složkách :

- na mechanických vlastnostech horského masivu
- na napětí, jímž je klenba namáhána.

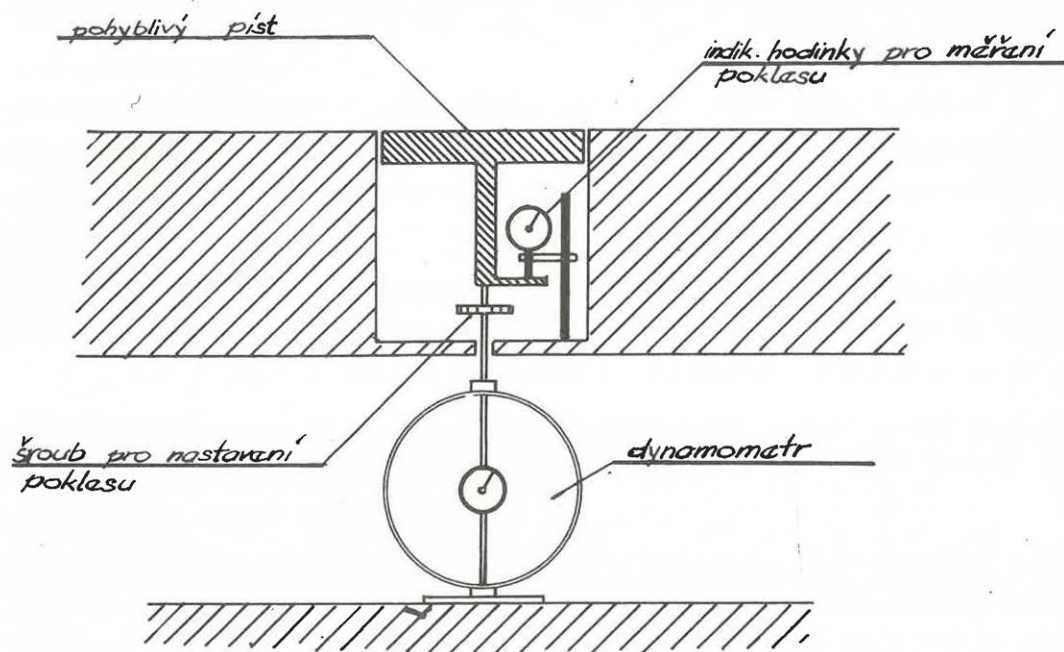
Máme-li nějaké důlní dílo, které je stabilizováno vyhovující výztuží, působí na ni tlak, jehož velikost je dána jistou polohou horninové klenby. Zatížíme-li povrch masivu obecným zatížením, zvětšíme tím napjatost v masivu a změní se nám i silové uspořádání kolem vyrubaného otvoru. Vlivem tohoto zvýšeného napětí dochází k dalšímu rozrušování horniny směrem do masivu a tím zvětšení rozvolněné oblasti kolem díla, což má za následek zvětšení horského tlaku.

Závislost stropního horninového tlaku na poklesu stropu "u"

Základním vztahem, ze kterého jsme při sledování vlivu převýšených výsypek na hlubinná důlní díla vycházeli, byla závislost stropního tlaku na poklesu stropu. Na důležitost křivky, která je grafickým vyjádřením této závislosti, poprvé poukázal J. Lecían, a to v souvislosti se stabilitou důlního díla. Princip zjišťování tohoto vlivu spočívá na změně průběhu křivky vlivem přitížení na povrchu. Platnost této křivky jsme si ověřovali experimentálně na modelech, kde hornina byla nahrazena ekvivalentním materiálem. V modelovacím stendu jsme umístili zařízení, které nám umožňovalo zachycovat změnu tlaku při známém poklesu stropu. Schéma tohoto zařízení je na obr. č. 2 a celkový pohled na jeho umístění ve stendu zachycuje obrázek č. 3.

Popis zařízení :

Je to v podstatě píst ze silného plexiskla a rozměrech 15 x 22 cm, který se pohybuje vertikálním směrem v plexisklovém pouzdře. Veškerý tlak na píst je přenesen na kruhový dynamometr. Pokles pístu se nastavuje šroubem a hodnota poklesu se měří indikátorovými hodinkami.



Obr. č. 2

Naměřené hodnoty tlaku pro daný pokles jsme vynášeli do grafu. Křivka z naměřených hodnot je vynesena v grafu (příloha č. 1) čárkovanou čarou. Hodnoty tlaku této křivky je třeba redukovat, protože při modelovém měření jsou ovlivněny způsobem hutnění a třením materiálu o stěny stendu. Tento vliv nelze z modelu odstranit a je nutno jej početně eliminovat. Redukci provádíme pomocí kalibračního grafu (příloha č. 2), který zobrazuje závislost napětí působícího na klapku a výšky nadloží. Teoreticky by průběh této závislosti měl být přímkový, ale vlivem modelových podmínek sleduje křivku zobrazenou na grafu. Proto musíme hodnoty tlaku úměrně zmenšit a naopak. Zredukujeme-li naměřené hodnoty, dostaneme redukovanou křivku, která je vykreslena v příloze č. 1 plnou čarou.

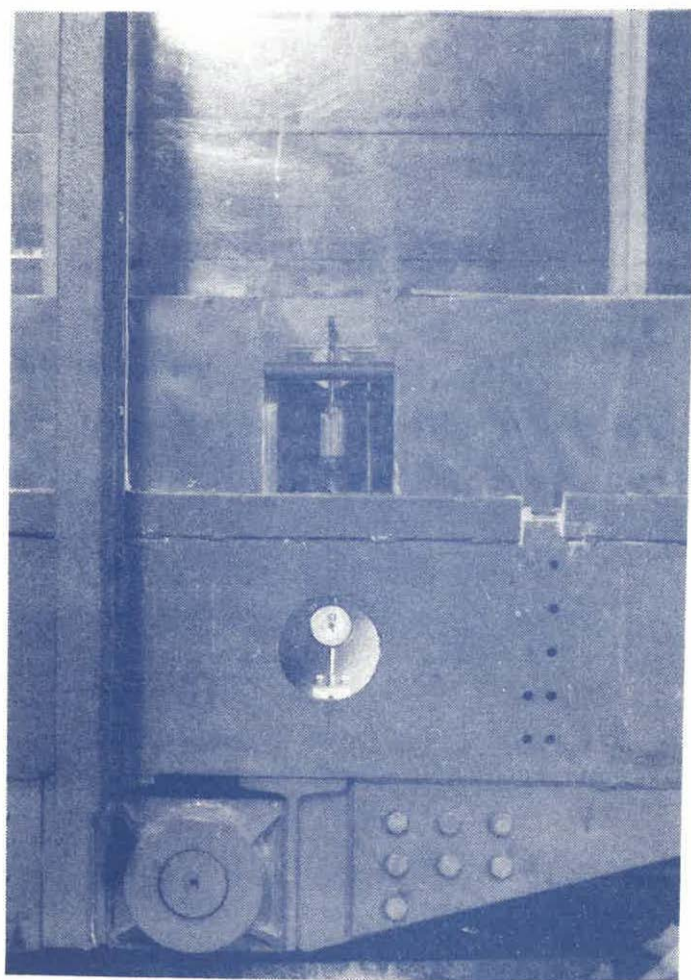
Provedeme-li vyhodnocení průběhu redukované křivky, dostaneme, že

- při nulovém poklesu stropu je tlak na píst roven geostatickému tlaku γh
- malý pokles stropu způsobuje značný pokles tlaku. Pokles odpovídá zřejmě odpružení horniny a nastává zde přechod z pružné oblasti do plastické
- při dalším poklesu stropu není pokles tlaku tak prudký. Hornina se zde nakypřuje a tlak zde nabývá minimální hodnoty, která je rovna asi 4 % původního tlaku γh

- dalším poklesem nastává rozvóľňováň horniny a tlak vzrústa až na hodnotu asi 12 % pôvodného tlaku γh . Nastáva zavalení dŕlného dŕla.

Ke stejným závěrům dospěl při studiu tohoto problému v sypkém prostředí V. Menci. Do rozměrné nádrže, která byla ve dně opatřena klapkou, již bylo možno pohybovat ve vertikálním směru, nasypal sypký písek. Nyní sledoval změnu tlaku při různém poklesu popouštěcí klapky. Jím zjištěný průběh tlaku v závislosti na poklesu je shodný s průběhem, který jsme zjistili na našich modelech.

Postup deformace okolní horniny při poklesu dŕlného dŕla a vytváření jednotlivých horninových kleneb je zachycen na snímcích v příloze č. 3, 4, 5, 6.



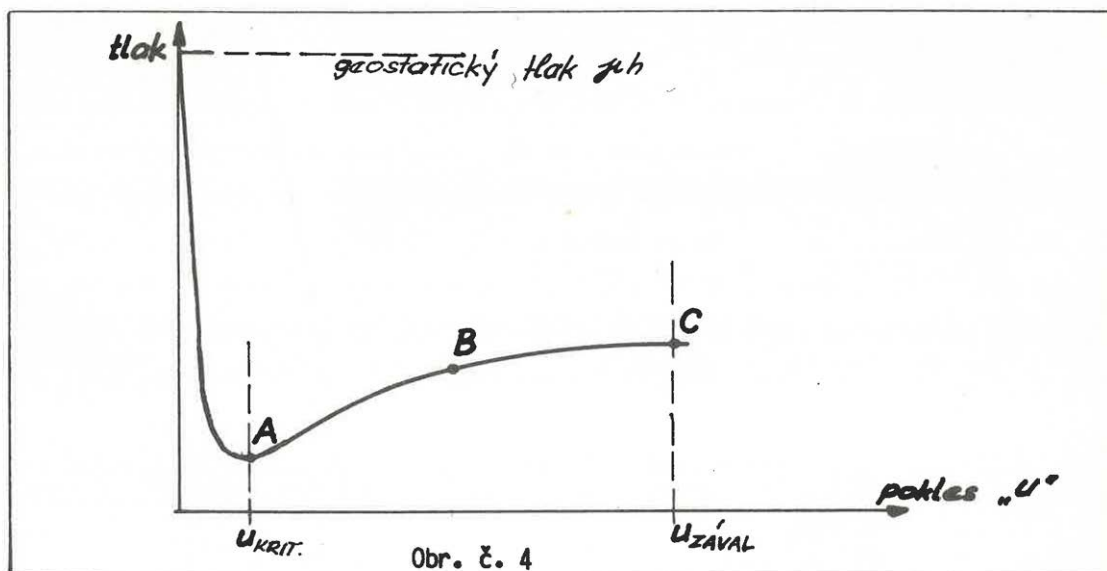
Obr. č. 3

Při ražení důlního díla dochází vždy k poklesu stropu, neboť nulový pokles není v praktických podmínkách možný. I v modelu nahrazujeme vyražení díla vhodným poklesem plexisklové klapky. Měl-li by být pokles nulový, musel by být profil vyztužen tak tuhou výztuží, která by musela působit na strop takovým reaktivním tlakem, který by byl roven tlaku geostatickému. Toto by nebylo jednak technicky možné ani žádoucí. Proto se nesnažíme částečnému poklesu zabránit, neboť tento pokles je nutný ke zmenšení horninového tlaku. Kdyby tento pokles nenastal, tak by nenastalo ani přetvoření a tudíž ani změna napjatosti. Maximální pokles horninového tlaku nastane po průběhu pružných deformací, které proběhnou okamžitě po výrubu ještě před zatažením výztuže.

Při důlních pracích volíme takový druh výztuže, aby celkový pokles stropu se blížil takové hodnotě, při které nastává minimální horninový tlak. Ve většině případů však v praxi bude celkový pokles větší, přičemž nastane větší důlní tlak, než je minimální hodnota. Proto je vhodné užívat předepnutou výztuž, to znamená výztuž, která bude pod tlakem a která hodnotu poklesu stropu částečně zmenší. Nakonec předepnutá výztuž se užívá v hornictví již několik století a to ve formě řádného uklínování stojek a rozpěr.

Oblast zjišťování přírůstku napětí

Při důlních pracích nám vlivem technologie ražení, různých druhů výztuže, různých mechanicko-fyzikálních vlastností horniny vzniká různý horninový tlak. Avšak velikost tohoto tlaku musí ležet v té oblasti křivky, která je omezena na jedné straně poklesem o hodnotě u_{krit} , kdy vzniká minimální horninový tlak a na druhé straně poklesem $u_{zával}$, kdy vzniká maximální horninový tlak, při kterém dochází k závalu důlního díla. Má-li být důlní dílo provozuschopné, musí hodnoty tlaku vždy ležet v této oblasti mezi minimem a maximem horského tlaku. Na obr. č. 4 je tato oblast ohraničena čárkovanými čarami.



Z těchto důvodů jsme sledovali přírůstky tlaku od vnějšího přitížení ve třech bodech křivky, ležících v této oblasti. Byl to bod A, ležící v minimu tlaku, bod C, ležící v maximu tlaku a bod B, ležící mezi těmito hodnotami.

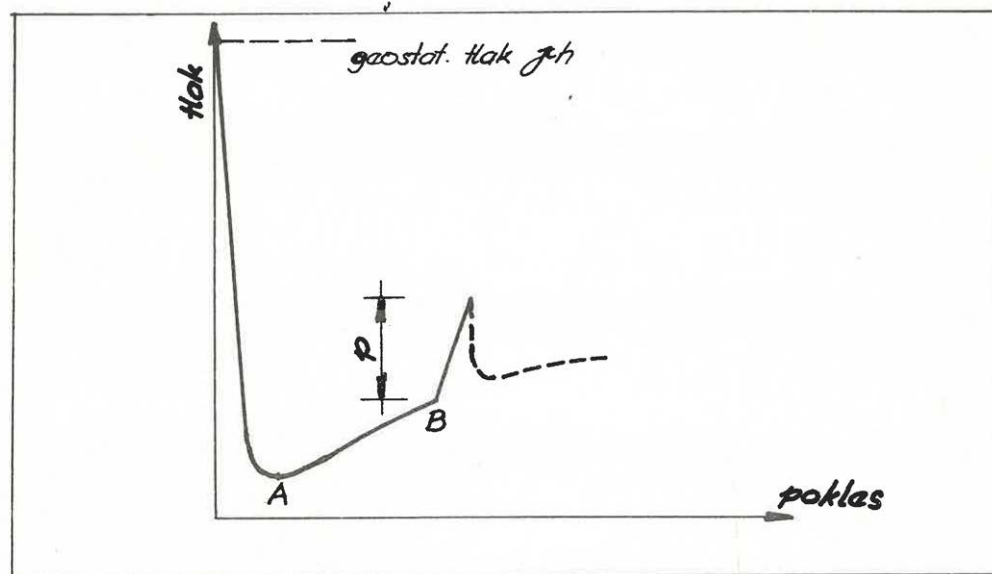
Postup modelování a zjištění závislosti mezi povrchovým přitížením "q" a přírůstkem tlaku na strop "p"

Do modelovacího stendu jsme ukládali ekvivalentní materiál po vrstvách vysokých asi 5 cm a pravidelně hutnili. Hodnoty tlaku pro určité výšky materiálu jsme vynášeli do kalibračního grafu, který zachycoval vzrůst tlaku v závislosti na výšce ekvivalentního materiálu (viz příloha č. 2). U takto připraveného modelu jsme pootočením šroubu způsobili pokles klapky znázorňující strop důlního díla a na dynamometru jsme pro dané poklesy odečetli příslušný tlak. Tím jsme získali základní křivku závislosti mezi stropním tlakem a poklesem stropu (viz příloha č. 1). V příloze je křivka vykreslena čárkovaně. Základní křivku jsme pomocí kalibračního grafu redukovali z důvodů dříve uvedených. Tato křivka je v příloze č. 1 vyznačena plně. Na této křivce jsme si určili tři body A, B, C, ve kterých bude přitěžování sledováno.

Na dalším, stejně připraveném modelu, jsme provedli takový pokles, který odpovídal zvolenému bodu křivky, ve kterém chceme vliv přitížení sledovat. Při tomto poklesu jsme celý povrch modelu zatížili známým rovnoměrným zatížením. Zatížíme-li celý povrch modelu rovnoměrným zatížením, potom za předpokladu, že tření ekvivalentního materiálu o stěny stendu je nulové, (tento předpoklad splníme redukcí pomocí kalibračního grafu), bude napětí od tohoto přitížení po celé výšce modelu konstantní a bude rovno přímo tomuto přitížení. To znamená, že tlak na posuvnou klapku od přitížení na povrchu modelu při nulovém poklesu klapky bude roven přímo tomuto přitížení.

Přitížením povrchu modelu nám vzroste tlak při popuštěné klapce proti nezátíženému modelu o nějaký přírůstek. Změna průběhu křivky pro daný bod je schematicky znázorněna na obr. č. 5.

Průběh této křivky z naměřených hodnot pro pokles v bodě B je zobrazen čárkovanou čarou v příloze č. 7. Tyto hodnoty musíme též zredukovat příslušným kalibračním grafem (příloha č. 2). Přírůstek tlaku "p" od daného přitížení je rozdíl mezi hodnotou tlaku původní křivky a zvýšenou hodnotou tlaku od přitížení. Tento skutečný přírůstek odečítáme na redukované křivce, která je v příloze č. 7 zobrazena plnou čarou. Tímto způsobem zjistíme velikosti přírůstku tlaku "p" pro jednotlivé body (A, B, C) při měnící se výšce nadloží "h" a velikosti přitížení na povrchu "q".



Obr. č. 5

Závislost přírůstku tlaku "p" na přitížení "q" vyneseme do grafu v příloze č. 8 následujícím způsobem :

Na svislou osu vyneseme velikost přírůstku "p", vyjádřenou v procentech geostatického tlaku nadloží γh . Na vodorovnou osu vyneseme velikost přitížení "q", vyjádřenou také v procentech γh . Máme-li však rovnoměrně zatížen celý povrch modelu a tření ekvivalentního materiálu o stěny stendu je nulové, pak můžeme říci, že na vodorovnou osu vynášíme velikost napětí, které vyvodí povrchové přitížení "q" na modelovou klapku při nulovém poklesu této klapky. V tomto případě je velikost tohoto napětí rovna přímo velikosti přitížení.

Jinak řečeno, na vodorovnou osu vynášíme velikost svislého napětí v procentech γh od přitížení na povrchu v neporušené hornině a v místě, kde se důlní dílo nalézá.

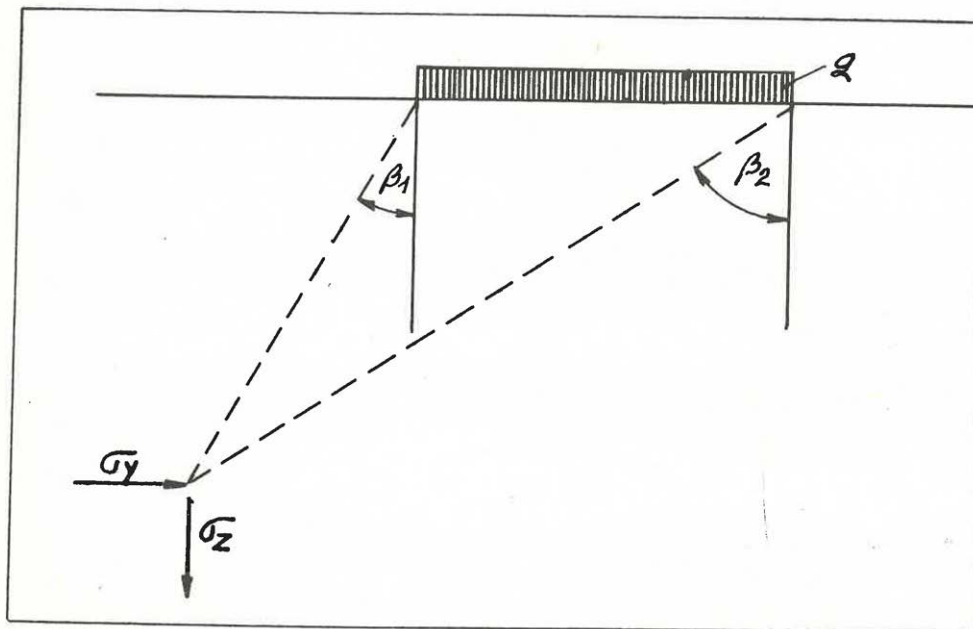
Obecně můžeme velikost napětí v libovolném bodě masivu od rovnoměrného zatížení na povrchu vypočítat podle rovnice, kterou uvedl poprvé S. D. Carothers.

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} \sin(\beta_2 - \beta_1) \cos(\beta_1 + \beta_2) + (\beta_2 - \beta_1)$$

$$\sigma_y = \frac{q}{\pi} - \sin(\beta_2 - \beta_1) \cos(\beta_1 + \beta_2) + (\beta_2 - \beta_1) \quad / 1 /$$

$$\tau_{zy} = \frac{q}{\pi} (\sin^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_1)$$

Hodnoty úhlů β zjišťujeme podle obr. č. 6.



Obr. č. 6

Poznámka :

Hodnotám úhlu β_1 dáváme znaménko (+) pro body, jež leží za svislicemi vedenými okraji rovnoměrného zatížení a znaménko (-) pro body, které leží mezi těmito svislicemi.

Křivka závislosti přírůstku tlaku na napětí od přitížení je vynesena v příloze č. 8. Křivka "a" zobrazuje tuto závislost při poklesu stropu u_{krit} (bod A), kdy na strop důlního díla působí minimální horninový tlak. V tomto případě je vliv povrchového přitížení maximální. Křivka "c" zobrazuje tuto závislost pro takový pokles stropu, kdy stropní horninový tlak nabývá maximální hodnoty (bod C) a zde je zase vliv povrchového přitížení minimální. Křivka "b" zobrazuje tuto závislost pro takový pokles stropu, kdy stropní horninový tlak leží mezi dvěma výše uvedenými maximálními hodnotami (bod B). Vliv povrchového přitížení leží též mezi maximální a minimální hodnotou.

Sledujeme-li dále průběh této závislosti, zjistíme, že až do hodnoty svislého napětí $\sigma_z = 80 \% \sigma_h$ je tato závislost přímková. Překročí-li se tato hodnota, je růst přírůstku rychlejší. V praxi však tuto hodnotu skoro nikdy nepřekročíme. Maximální přírůstky napětí "p" od přitížení "q" vzniknou při poklesu u_{krit} . To znamená, že oblast největších přírůstků bude v našem případě ohraničena hodnotou poklesu "u"

v bodě A a v bodě B. V této stoupající oblasti základní křivky bude ležet také větší na poklesů a jím odpovídající hodnoty horninových tlaků u provozuschopných důlních děl. Průměrnou hodnotu přírůstku napětí v této oblasti získáme jako aritmetický průměr přírůstků zjištěných pro pokles v bodě A (přímka "a") a v bodě B (přímka "b").

Průběh tlaku při dalším poklesu stropu zatíženého zvýšeným horninovým tlakem od povrchového přitížení

Máme-li v modelu klapku popuštěnou o předem určený pokles, čímž v podstatě nahrazujeme vyražení důlního díla, a povrch modelu zatížen známým zatížením, vzroste nám tlak na strop o nějaký přírůstek. Pokračujeme-li s poklesáváním klapky (stropu) i po tomto přitížení, tak nám tlak prudce klesne skoro až na hodnotu tlaku nezatíženého modelu. Průběh tlakové křivky je zobrazen v příloze č. 7. Z toho plyne, že zvýšené tlaky vlivem výsypek bude lépe přenášet poddajná výztuž, u níž zvýšení tlaku vyvolá další pokles, čímž se tlak částečně zmenší, než výztuž nepoddajná, která bude nucena celý přírůstek tlaku přenést vlastní pevností. To znamená, že nepoddajná výztuž bude muset být dimenzována na celé toto zvýšení, kdežto poddajná výztuž nikoliv. U poddajné výztuže můžeme nakonec vhodným poklesem z velké části tento zvýšený tlak eliminovat.

Postup zjišťování přírůstku napětí od přitížení výsypkou

Plochu výsypky si rozdělíme na vhodně zvolená pásma, kde osa tohoto pásma je kolmá na osu důlního díla (příloha č. 9 a). Nepravidelný tvar těchto pásem si upravíme pro snazší výpočet na pravidelný obrazec. Též nepravidelný tvar výsypky v řezu si nahradíme dílčími rovnoměrnými zatíženími (viz příloha č. 9 b). V ose pásma 1 - 1 si sestrojíme v měřítku příčný řez, ze kterého získáme potřebné hodnoty úhlů pro řešení rovnic /1/. Z nich vypočteme napětí σ_z . Dále zjistíme velikost geostatického tlaku nadloží γh a vypočteme, kolik procent tohoto tlaku γh představuje napětí σ_z . Toto procentuální vyjádření vyneseme na vodorovnou osu grafu v příloze č. 8, a na přímkách "a" a "b" odečteme velikost přírůstků " p_a " a " p_b " v procentech γh . Tyto přírůstky přepočteme zpět na konkrétní čísla a vypočteme jejich průměrnou hodnotu, čímž získáme velikost přírůstku napětí na jednotku plochy pro danou polohu důlního díla vzhledem k výsypce. Dlouhé důlní dílo, které prochází pod výsypkou, musíme posuzovat po jednotlivých zvolených pásmech.

Tímto způsobem můžeme též zjistit vliv postupného sypání výsypky v několika vrstvách. Jednotlivé vrstvy nám tvoří dílčí zatížení a jejich účinky sčítáme.

Známe-li předem konečný stav výsypky a postup sypání, můžeme s předstihem určit, při jakém stavu výsypky bude ohrožena stabilita důlního díla a opatření, jak tuto stabilitu zachovat. Dále můžeme zjistit dosah vlivu na důlní dílo, jež neleží přímo v oblasti pod výsypkou a kdy je vliv této výsypky na stabilitu důlního díla zanedbatelný.

Závěr

Tato experimentálně zjištěná závislost mezi velikostí přírůstků tlaku a velikostí povrchového přitížení však platí pouze za předpokladu homogenního nadloží. Máme-li nadloží nehomogenní, to znamená porušené systémem tektonických poruch, budou tlakové poměry značně odlišné.

U takového porušeného nadloží je velmi obtížné stanovit změnu jeho vlastností, která je závislá jak na množství a poloze tektonických poruch, tak na drobné tektonice, petrografii, hydrologických poměrech atd. Uvažovat vliv všech těchto faktorů, jak ve výpočtu, tak v modelu, je prakticky neproveditelné.

Takové účinky od převýšených výsypek v takové poruchové oblasti budou několikanásobně větší než v oblasti neporušené. Proto zde je třeba dbát zvýšené opatrnosti při těžbě anebo povrch takovéto oblasti vůbec převýšenou výsypkou nezatěžovat.

S h r n u t í

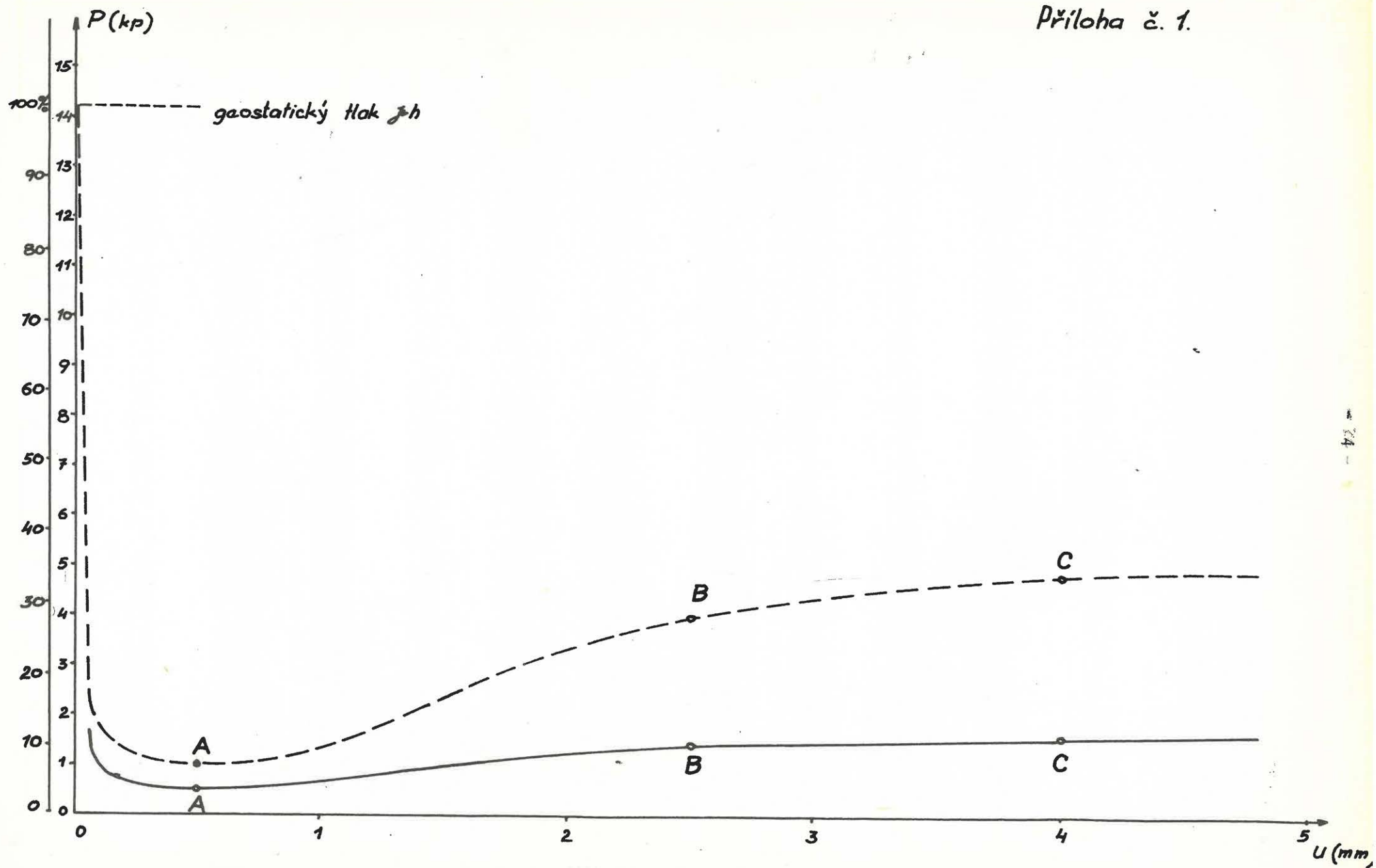
Z graficky vyjádřených závislostí mezi povrchovým přitížením a přírůstkem tlaku na strop důlního díla, které jsme získali měřením na modelech z ekvivalentních materiálů, můžeme jednoduchým způsobem určit vliv převýšených výsypek na hlubinná důlní díla. Dále můžeme též určit vliv při postupném sypání převýšených výsypek a dosah jejich vlivu. Všechny tyto závěry však platí za předpokladu homogenního nadloží.

Р е з ю м е

МОДЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ОТВАЛОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

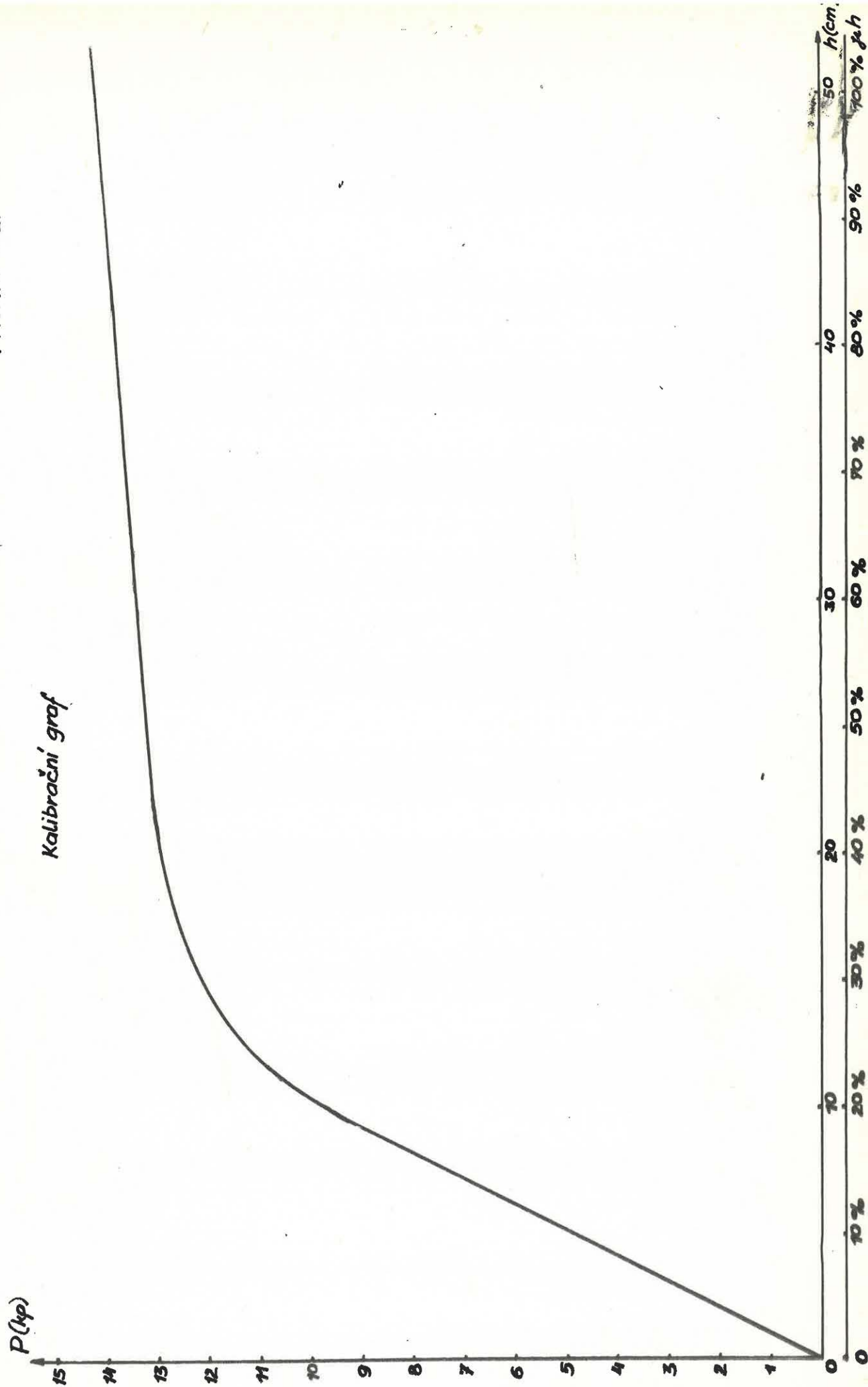
Из графически выраженных зависимостей между поверхностной повышенной нагрузкой и приращением давления на кровлю подземной горной выработки, которые мы получили измерением на моделях из эквивалентных материалов, нам возможно простым способом определить влияние внешних отвалов на подземные горные выработки. Кроме того нам тоже возможно определить влияние при постепенном образовании внешних отвалов и радиус их влияний. Однако все эти заключения имеют значение при предположении однородного висячего бока.

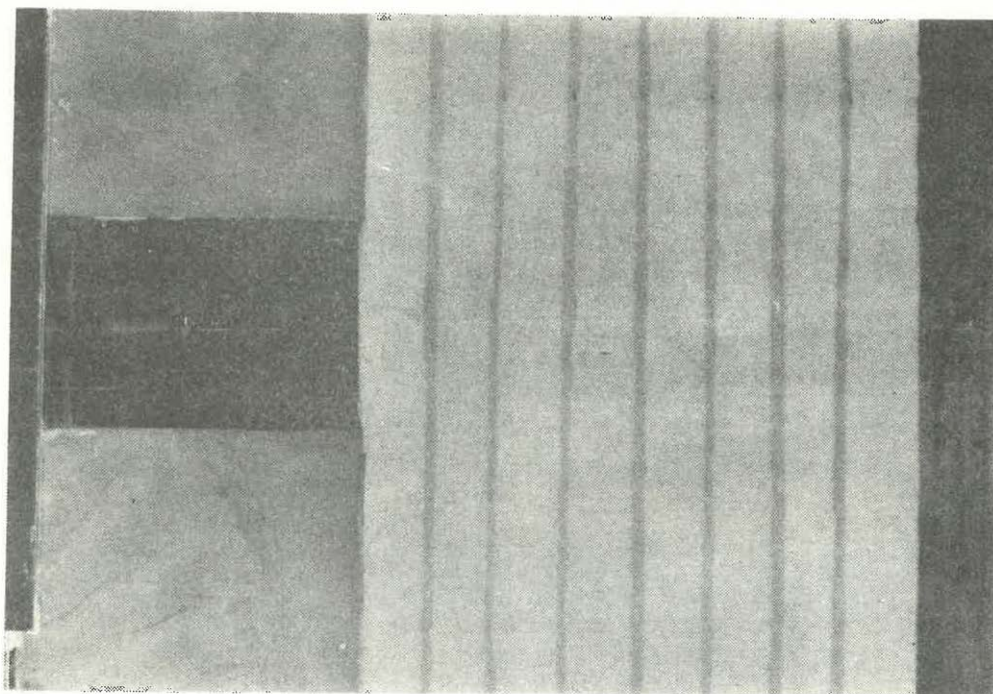
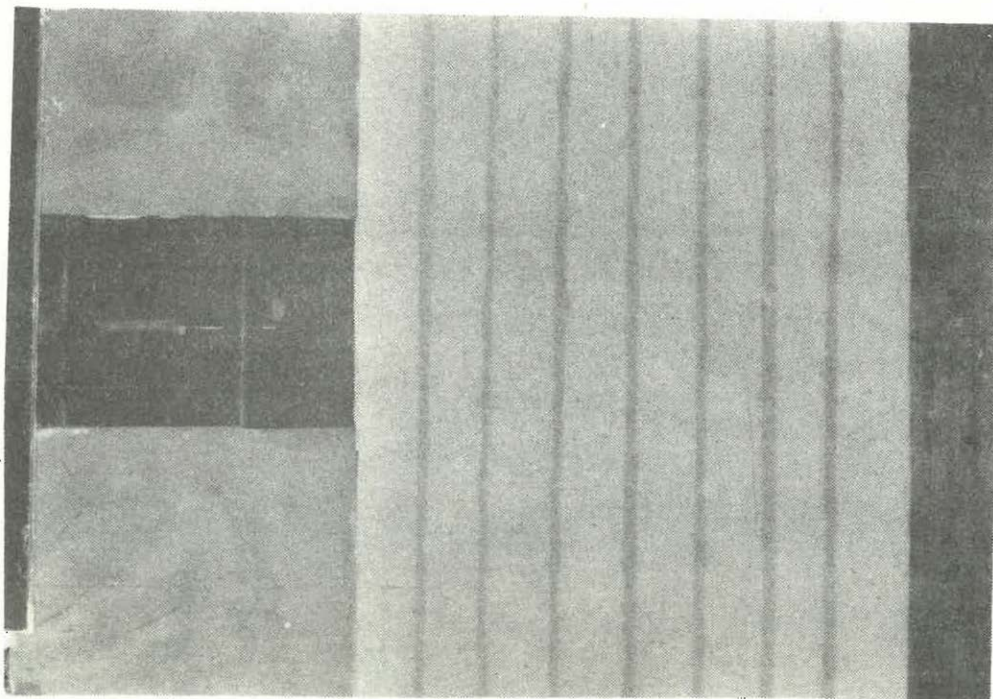
Příloha č. 1.



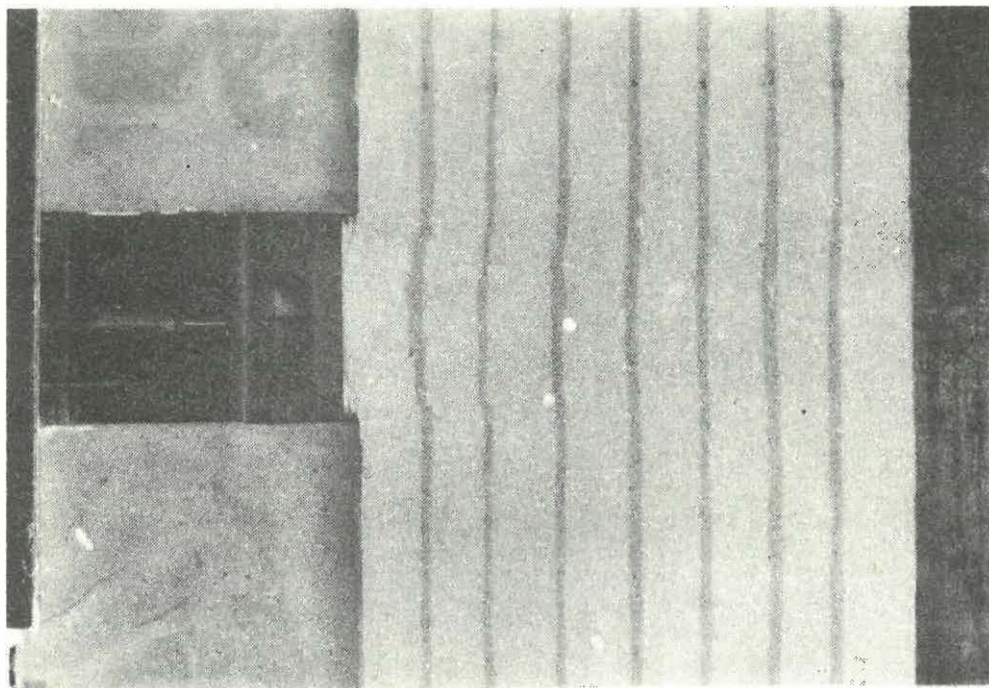
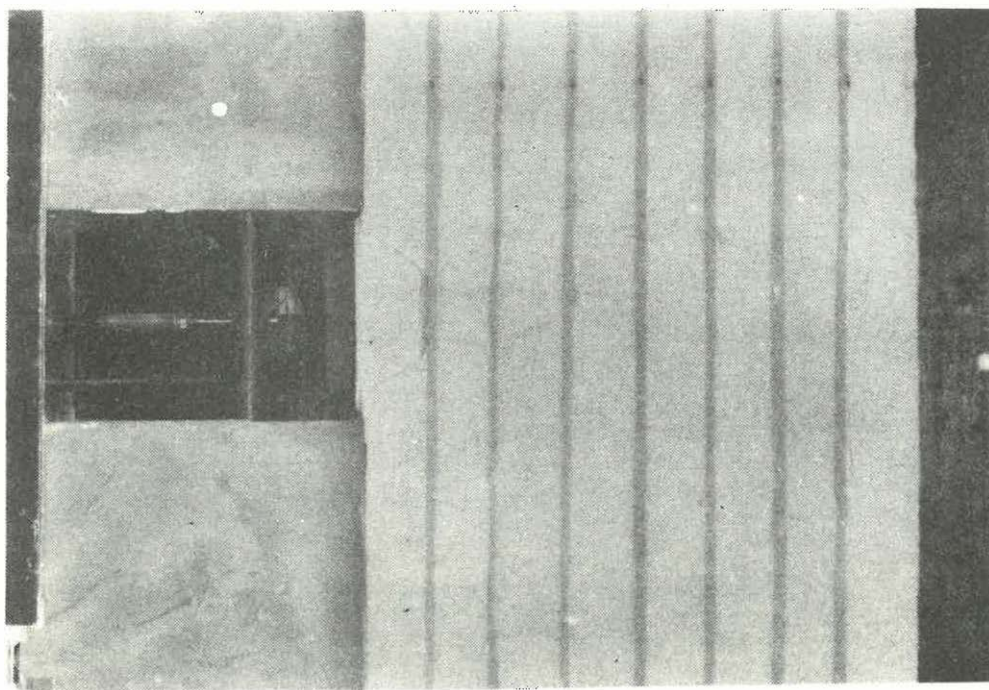
příloha č.2.

Kalibrační graf

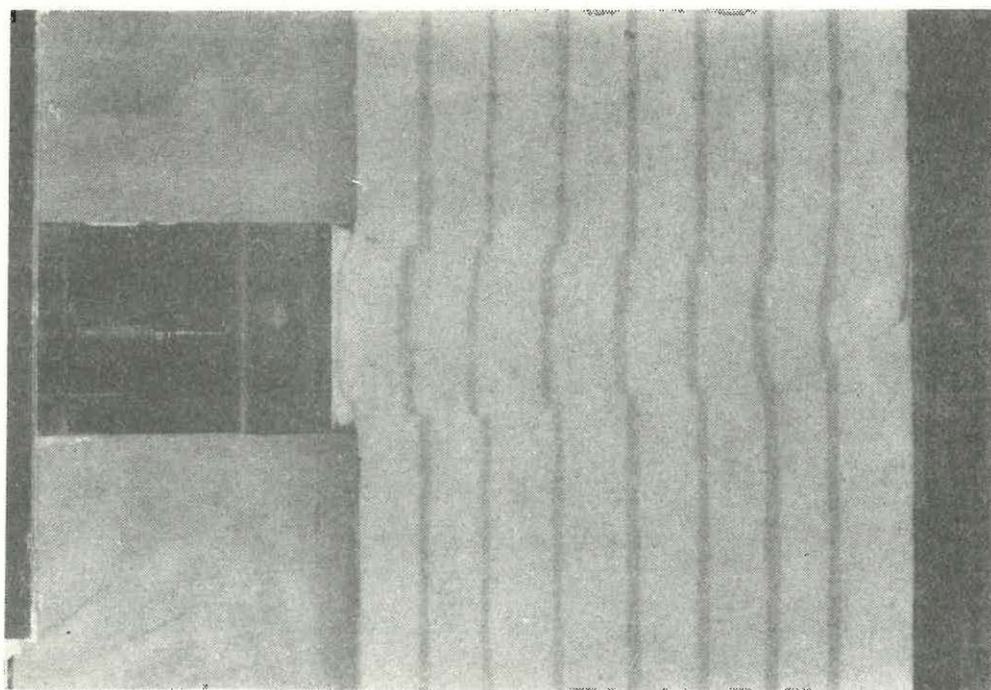
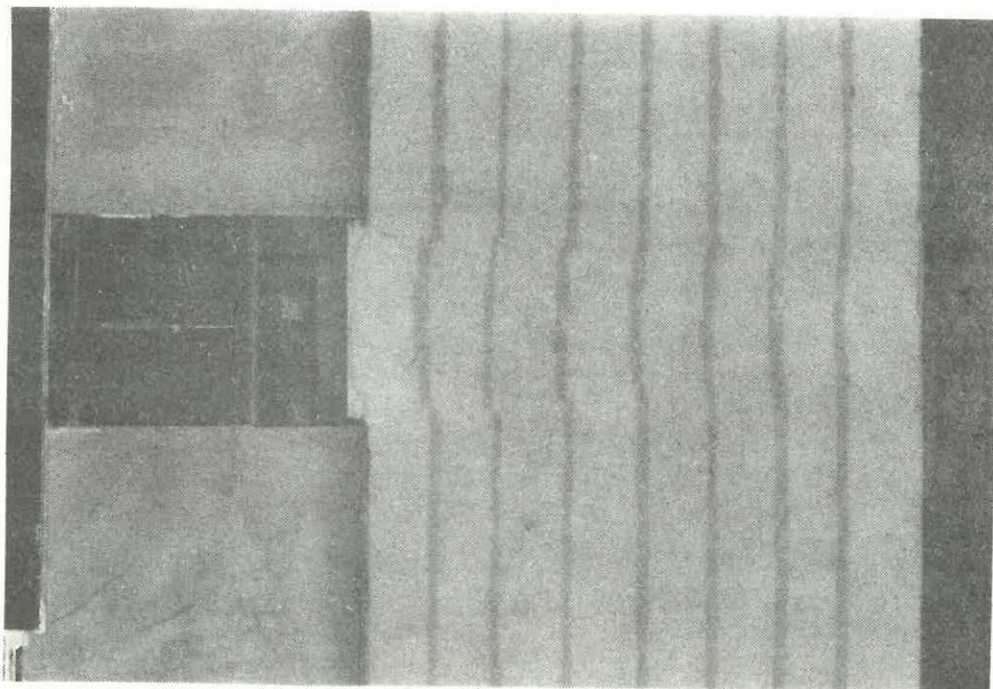




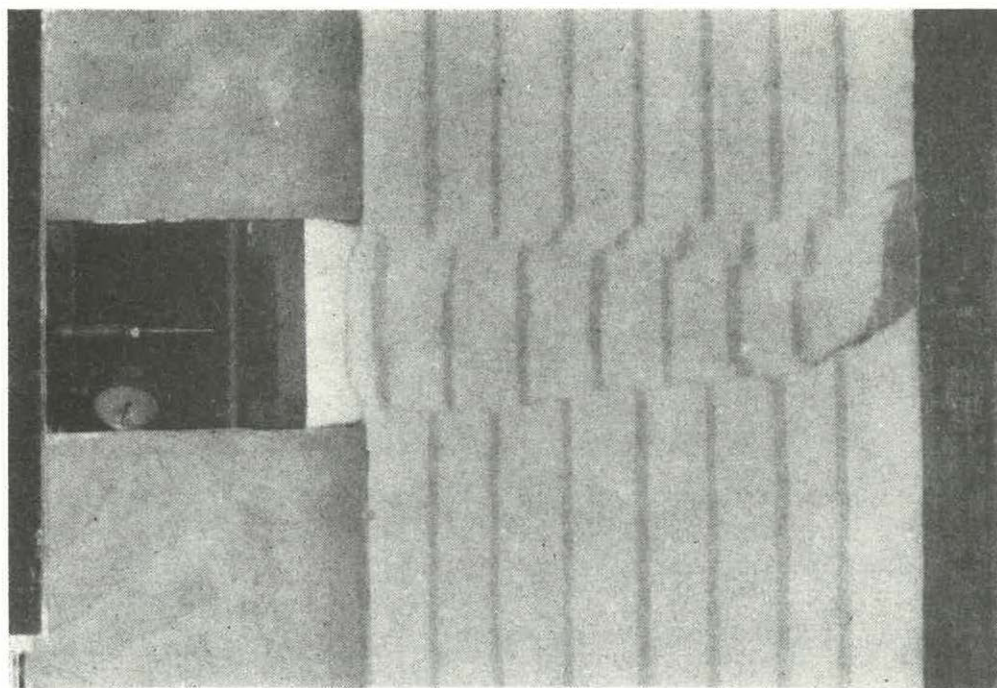
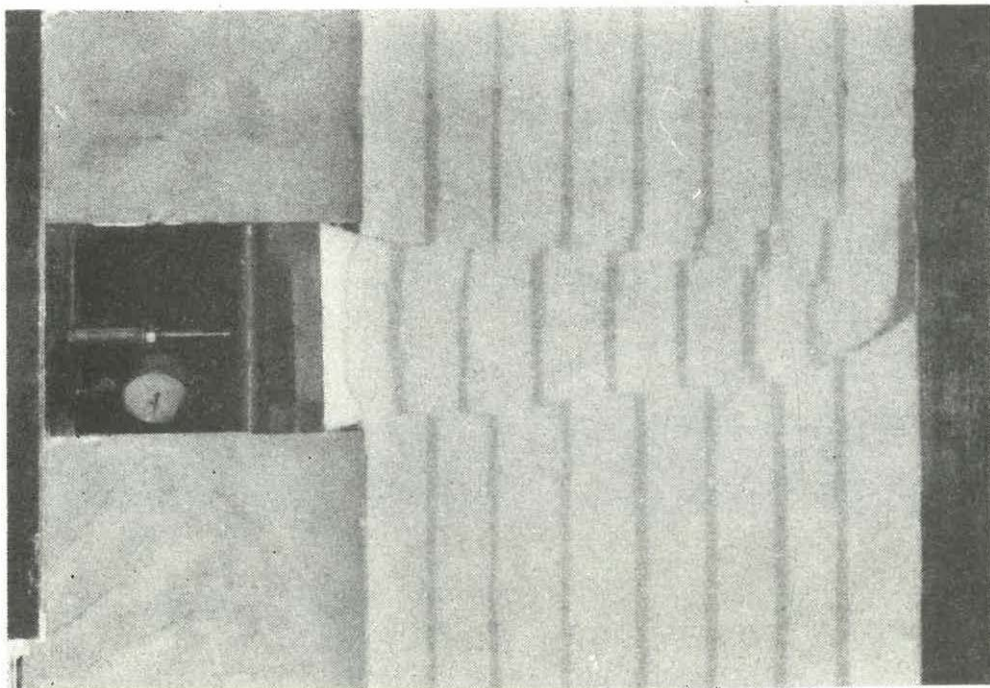
Příloha č.4

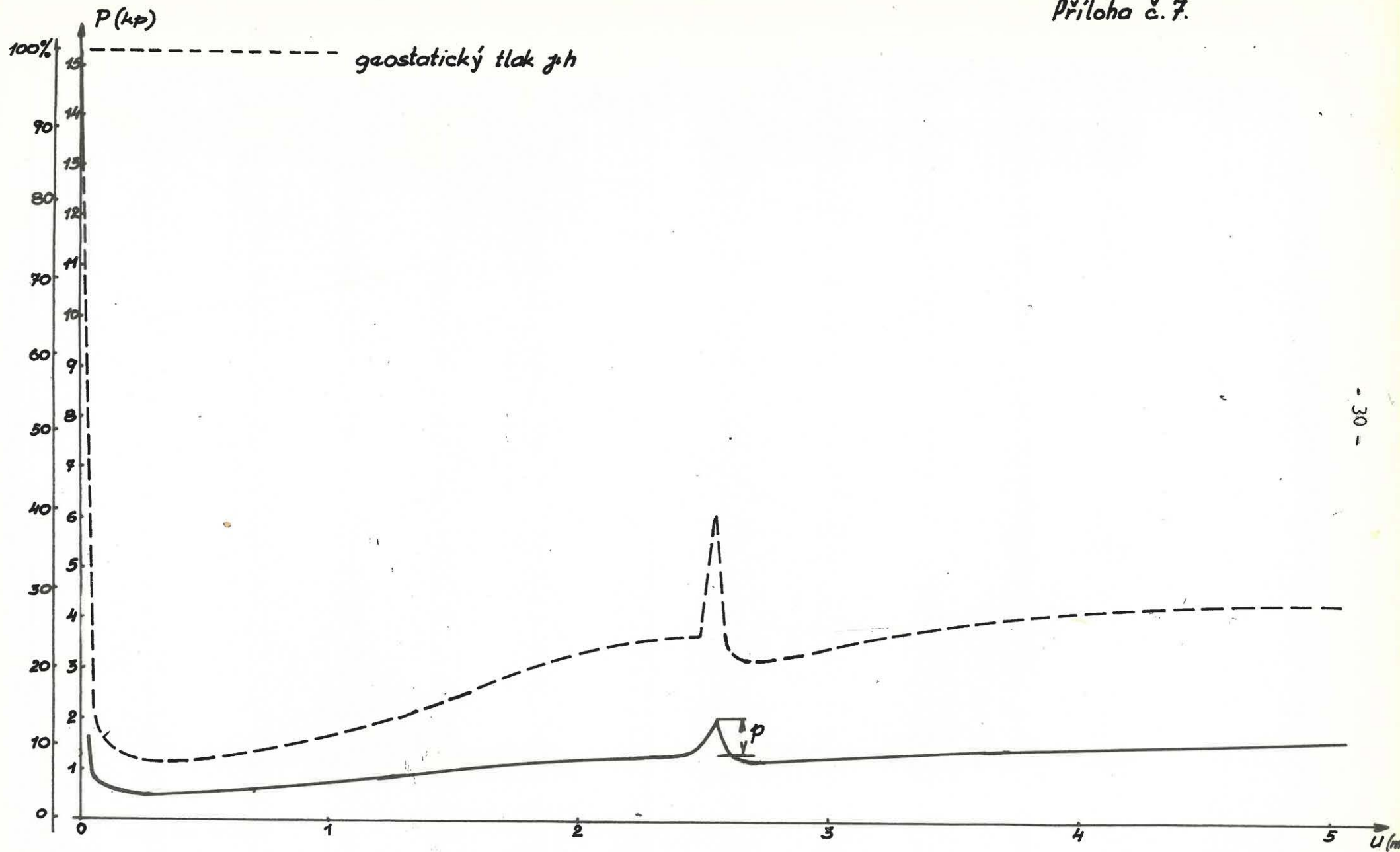


Příloha č. 5



Příloha č. 6

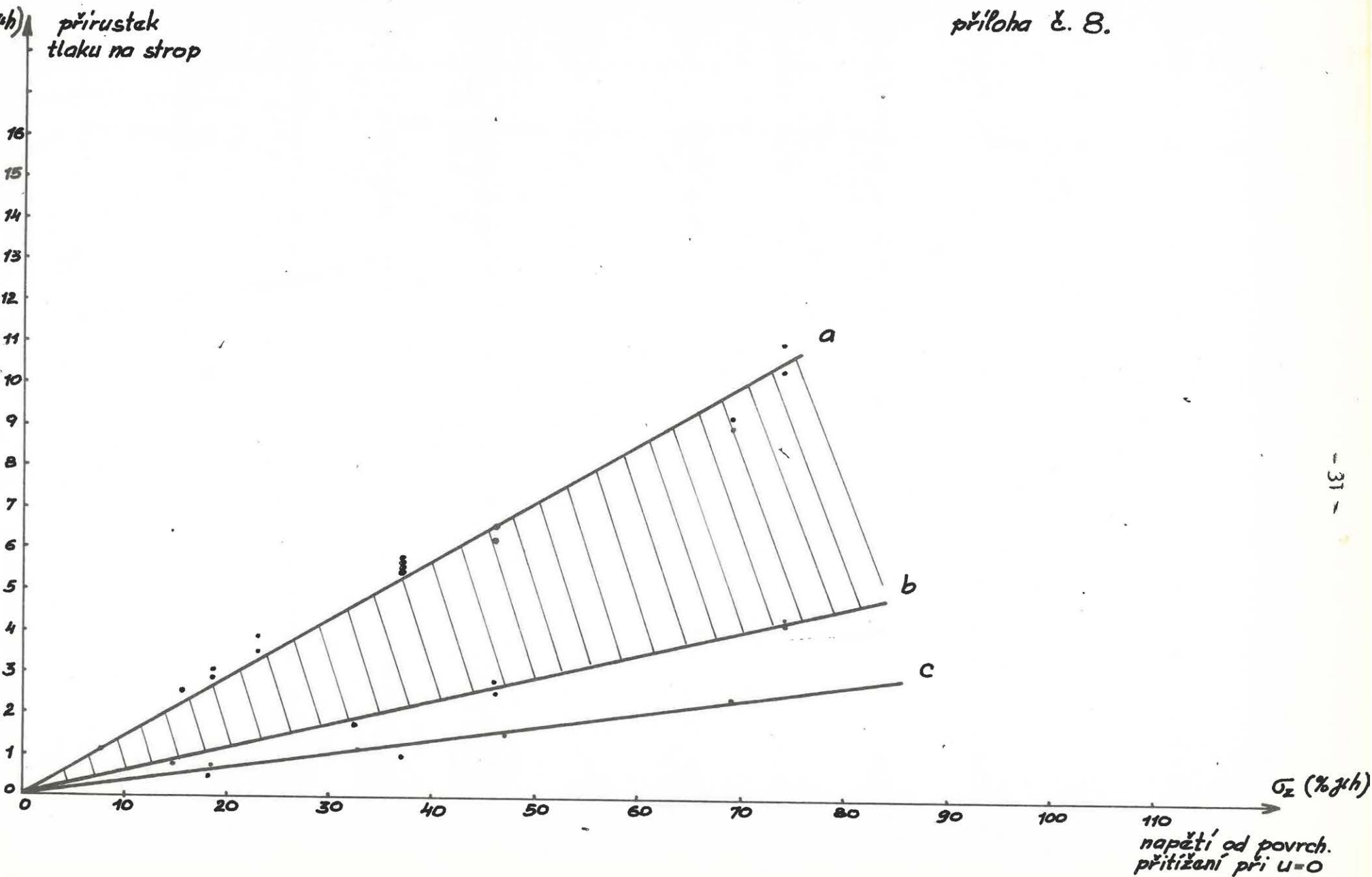




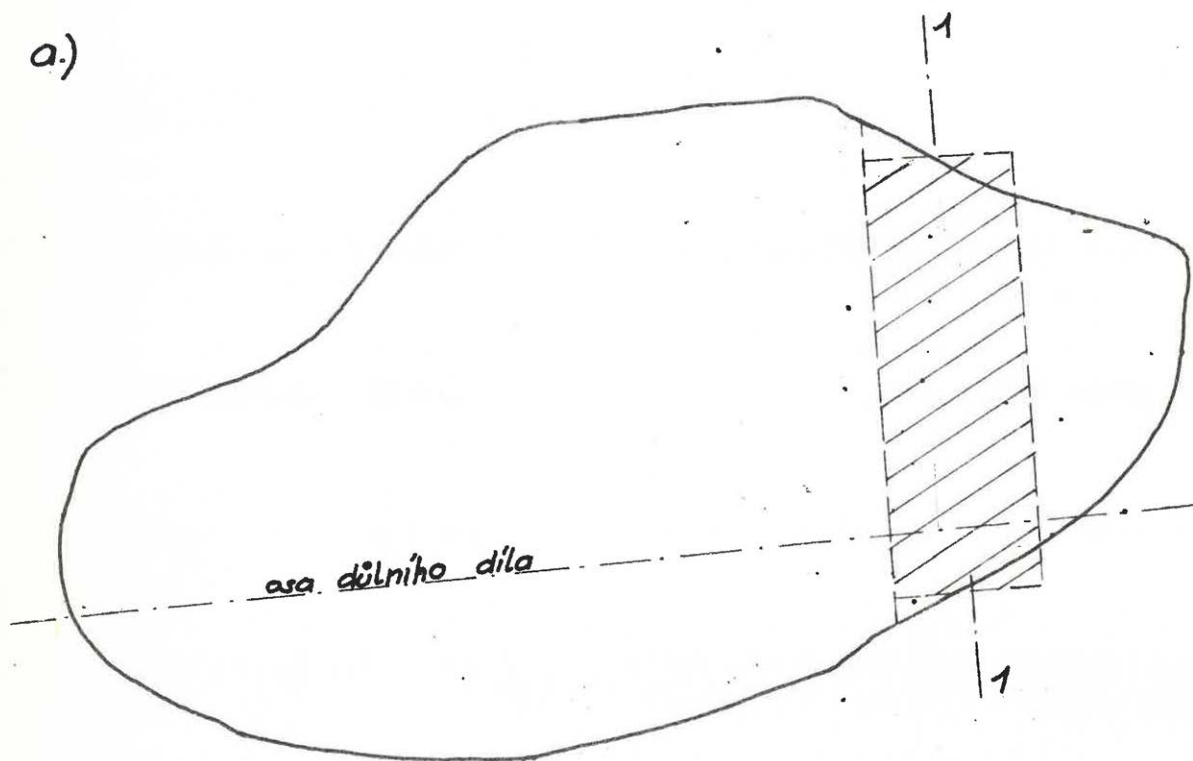
příloha č. 8.

$\Delta p (\% \rho h)$ přírůstek
tlaku na strop

16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0



a.)



b.)

