

Ing. Oldřich K l i m e c k ý, VÚHU
Ing. Helena V e v e r k o v á, VÚHU

Rozbor problematiky transportu skalních hornin pásovými dopravníky

1.0 Úvod

Kontinuální způsob transportu skalních hornin (resp. rud) pásovými dopravníky se v poslední době velmi rozšiřuje. Uvedené lze dokumentovat některými příklady použití.

1. Přísun materiálu na stavbu hráze přehrady Tarbela v Pakistánu se provádí pásovými dopravníky (obr. 1). Dopravuje se kamenitý materiál, drcený ve stabilních čelistových drtičích s předřazenými třídiči, vytríděný pro dopravu na velikost kusů o hraně 250 - 400 mm s 5 % balvanů nadměrné velikosti (obr. 2). Pásové dopravníky při rychlosti 5,82 m/s a šířce pásu 1600 mm mají max. výkonnost 12000 t/h. Maximální délka sekce s instalovaným výkonem $4 \times 825 + 2 \times 825$ kW je až 2,7 km. Provedení střední části dopravníků je s pevnými válečkovými stolicemi (pláště válečků jsou zesíleny), na přesypech speciálního provedení se používají podavače.
2. V SSSR je od ledna 1973 v provozu za účelem provozního ověření dopravy a zakládání skalních hornin pásovými dopravníky zakladač ZP 1500 a pásová linka (rychlost 2,7 m/s, šířka pásu 1200 mm) v girlandovém provedení (obr. 3). Dopravuje se kamenitý materiál s kusovitostí 300 - 600 mm, pevností (dle Protodjakonova) $f = 8$, sypnou vahou $1,6 \text{ t/m}^3$.
3. Některé příklady použití pásových dopravníků pro transport rud jsou uvedeny v tabulce 1 (/1/).
4. V roce 1979 bude v SSSR uveden do provozu na povrchovém lomu se skalním nadložím technologický komplex /2/ s následujícími parametry pásové linky: výkonnost 6600 t/h ($4000 \text{ m}^3/\text{h}$), šířka pásu 2000 mm, rychlost 3,15 m/s, délky dopravních sekcí 380-2000 m (pásky St 4000,

Tabulka 1

	Délka dopravní linky (m)	Šířka pásu (mm)	Dopravní rychlost (m/s)	Výkonnost (t/h)
Carmen (Chile)	12 000 (13 sekcí)	610	2,75	550
Marcona (Peru)	15 350 (cca 16 sekcí)	914	3,1	2 000
Nimba (Liberie)	3 200 (4 sekce)	1 200	3,0	3 000
Sierrat (USA)	3 448 (3 sekce)	1 370	4,0	5 000

St 5000). Provedení dopravníků se uvažuje s kloubovými girlandami zavěšenými na laněch (tříválečkové ve střední části, pětiválečkové v místech přesypů). Vlastnosti dopravovaného kamenitého materiálu - kusovitost 300-500 mm, pevnost (dle Protodjakonova) $f = 9$, objemová váha $2,56 \text{ t/m}^3$, koeficient nakypření 1,5.

5. V závodě Vápencový lom Včeláre pracuje pásový dopravník s pevnými válečkovými stolicemi v návaznosti na kuželový drtič. Doprava je úpadní (sklon 18°), vlastní dopravník je zakryt. Základní parametry: šířka pásu 1200 mm, rychlost 2,0 m/s, max. výkonnost až 1400 t/h, délka 790 m. Vlastnosti dopravovaného materiálu (vápence): kusovitost 150-250 mm, pevnost v tlaku (krychelná) $620-890 \text{ kp/cm}^2$, objemová váha $2,7 \text{ g/cm}^3$. Použitý pryžový pás PA 700 byl v provozu 7 roků, vyměněn v důsledku havárie.
6. Další případy použití pásových dopravníků pro transport skalních hornin a rud jsou uvedeny v rešerši /3/.

Současný stav a vývoj v oblasti pásové dopravy pro transport skalních hornin (rud) lze obecně charakterizovat následovně:

- základní parametry se používají v poměrně širokém rozmezí hodnot (tabulka 2)

Tabulka 2

Výkonnost (t/h)	Šířka pásu (mm)	Rychlost (m/s)	Délka sekce (km)
550 - 12 000	610 - 1 600	1,5 - 5,82	0,3 - 2,7

- obecná tendence je zvyšovat výkonost použitím vyšších rychlostí (od hodnot 1,5 - 2,5 m/s se přechází na 3,1 - 5,0 m/s)
- prodlužují se délky dopravních sekcí (linek) v důsledku použití ocelokordových pásů (dále v textu pásů OK) při současném instalování vyšších výkonů (max. až 5000 kW)
- rozšiřuje se použití girlandového provedení dopravní trasy (girlandy zavěšené v pevné konstrukci resp. na lanech)
- dosahované hodnoty životnosti dopravního pásu jsou poměrně vysoké (viz tabulku 3 /4/ - rozmezí hodnot závisí na vlastnostech těživa, délce a provedení dopravníku, konstrukci pásu aj.).

Tabulka 3

Šířka pásu (mm)	přepravené množství kamenitého těživa (mil. t)
750	3,6 - 14,2
1050	3,1 - 28,1
1200	10,6 - 24,0

- dopravovaný materiál se zpravidla upravuje drcením na kusovitost v

rozmezí 200 - 400 mm (dané šířkou pásu).

Na základě nejnovějších výzkumů (u nás i v zahraničí), praktických zkušeností a návrhů z oboru dopravy skalních hornin (rud) je možno přehodnotit dřívější návrhy technologie dopravy podkrušnohorských kamenitých sutí /5, 6/, které s použitím pásové dopravy neuvažovaly.

V současné době se však jeví potřebné se touto otázkou znovu zabývat i s ohledem na dopravu velmi tvrdých kusovitých materiálů a různých proplátek (zpevněné pískovce, pelosiderity aj.), které se v dolových polích vyskytují.

Článek se v další části zabývá rozбором problematiky transportu skalních hornin pásovými dopravníky s cílem přispět k rozšíření oblasti použití pásové dopravy v SHR.

2.0 Rozbor problematiky transportu kamenitých svahových sutí pásovými dopravníky

Svahové kamenité sutě mají řadu negativních vlastností z hlediska jejich transportu pásovými dopravníky. Ve srovnání s nadložními zemínami je to především větší pevnost, objemová váha, kusovitost, ostrohrannost a abrasivnost. Eliminovat jejich nepříznivé působení a důsledky na provozní spolehlivost a životnost pásových dopravníků je v podstatě možné:

- snížením velikosti a účinků dynamického namáhání v místech přesypů a přechodu přes válečkové stolice
- snížením velikosti otěru (abrasivního opotřebení), tj. dosažení minimální velikosti relativního pohybu mezi pásem a kamenitým těživem
- zmenšením kusovitosti kamenitého těživa (resp. řešením následků).

2.1 Dynamické účinky

Maximální dynamické účinky při dopravě kamenitého těživa jsou v místech dopadu a přechodu přes válečkové stolice. Dochází zde v podstatě k šikmému excentrickému rázu, charakterizovanému krátkodobým pů-

sobením (0,03 - 0,07 s) velké rázové síly a rotaci kusu, což vyvolává dodatečné třecí síly mezi kusem a pásem. Velikost rázové síly a doba trvání (dle obecné teorie rázu) závisí na

- tvaru a rychlosti těles
- deformačních schopnostech (elastických vlastnostech) těles
- poměru hmot těles.

2.1.1 Dopadové místa

Pádovou energií a tím rázovou sílu lze velmi výrazně ovlivnit velikostí normálové dopadové rychlosti padajícího tělesa. Vhodným konstrukčním a dispozičním řešením předávacího místa

- správným vedením a usměrněním dopadu kamenitého těžiwa pod vhodným úhlem na pás
- snížením pádové výšky,

lze velikost rázové síly podstatně snížit.

Oscilografický průběh rázové síly a síly v závěsu girlandové stolice (viz obr. 4 /7/) ukazuje, že dojde k pohybu (resp. průhybu) girlandy a tím k narůstání síly v závěsu (tj. k tlumení) tehdy, až rázová síla dosáhne své maximální hodnoty, resp. po jejím překročení. Nezávisí tedy velikost rázové síly působící v místě dopadu na způsobu zavěšení (odpružení) girlandové stolice, ale výhradně závisí na

- deformační schopnosti místa dopadu, tj. odporu proti stlačování pásu a jeho bezprostředního okolí (deformační schopnost kamenitého těžiwa je velmi malá)
- poměru hmot mezi padajícím tělesem a dopadovým místem (obr. 5 /4/).

Z uvedeného vyplývá, že pro zmenšení velikosti rázové síly je nejvýhodnější dopad na volný (nepodepřený) pás (viz graf 4 na obr.4, obr. 6 /4/). V tomto případě pak velikost rázové síly závisí především na hodnotě tahu v pásu (obr. 7 /4/) a jeho elastických vlastnostech.

Tvar kusů, který má vliv na velikost rázové síly (obr. 8 /4/), lze prakticky velmi obtížně ovlivnit.

Působením rázové síly vznikají velké deformace dopravního pásu. Vlastní poškození pásu není však dáno těmito maximálními deformacemi, ale závisí především na tom, jestli je při rázu vyčerpaná dynamická kapacita v podélném nebo příčném směru (tj. velikost deformační energie v jednotce objemu deformovaného pásu do okamžiku porušení) /8/. Velikost dynamické kapacity a tím i pevnost (odolnost) proti rázu lze zvětšit konstrukčním provedením vlastního dopravního pásu. Platí zde následující obecné zásady a závěry /8, 9, 10/:

- pevnost proti rázu se zvětšováním tloušťky horní krycí vrstvy vzrůstá; existuje mezní tloušťka, po jejímž překročení nedochází již k podstatnému zvýšení (obr. 9 /8/),
- podstatné zvýšení pevnosti proti rázu lze dosáhnout umístěním vhodného textilu do krycí vrstvy na dopadové straně pásu /8/,
- pásy OK mají přibližně stejnou pevnost proti rázu jako pásy textilní. Zvýšení lze dosáhnout také zvětšením tloušťky krycí vrstvy, umístěním vhodného textilu do krycí vrstvy (na dopadové straně) a dále použitím ocelových lanek s menším modulem pružnosti.

Pásy se zvýšenou pevností proti rázu (textilní, OK) pro dopravu skalních hornin (rud) se podle údajů firemních katalogů běžně vyrábí /11, 12, 13, 14/.

Účinky rázové síly na girlandové válečkové stolice (klouby, závěsy, pláště válečků, ložiska aj.) v místě dopadu, použité z důvodů pe-
depření pásu, resp. vymezení jeho průhybu, lze snížit jejich pružným zavěšením (diagram na obr. 10 /7/).

2.1.2 Přejít přes válečkové stolice

Vlastní průběh rázu při přechodu kusu přes válečkové stolice je patrný z oscilogramů na obr. 11 /15/. Velikost rázové síly, kromě deformačních schopností místa rázu aj., závisí především na hmotě válečkových stolic - m , rychlosti - v , tahu v pásu - T . Vliv jednotlivých veličin je dán dle Suskeho /15/ empirickým vztahem

$$(1) \quad P_r \sim \frac{m \cdot v^2}{T}$$

Poznámka: Měření na základě kterých byl stanoven tento empirický vztah, byla prováděna při malé rychlosti v a její vliv nebyl proto plně postihnout. Jak ukázaly výsledky výzkumu VÚHU, je tento vliv při větších rychlostech již značný - ovlivňuje především velikost jmenovatele (viz rov. 2).

Pro danou velikost rychlosti v lze tedy snížit velikost rázové síly

- zvětšením tahu v pásu T (viz obr. 12/16/).
- snížením hmoty válečkových stolic použitím girland (obr. 13 /15/).

Doplňujícím účinkem snížení velikosti rázových sil v místech přechodu přes válečkové stolice je zlepšení klidnosti (přímosti) běhu dopravního pásu /15/.

Na velikost rázové síly má vliv úhel náběhu kusu na váleček (úhel α - obr. 13), který je funkcí tvaru kusů (obr. 14 /16/).

Pro snížení účinků rázového namáhání pásu a válečkových stolic platí zásady uvedené v kapitole 2.1.1.

2.2 Otěr (abrasivní opotřebení) dopravního pásu

Pro snížení velikosti otěru (abrasivního opotřebení) dopravního pásu platí základní podmínka - dosažení minimální velikosti relativního pohybu mezi pásem a těživem. V podstatě se jedná o řešení problematiky urychlení na předávacích místech a klidnosti toku těživa ve střední části dopravníku. Účinky dodatečných třecích sil vznikajících při šikmém excentrickém rázu a mající vliv na otěr pásu lze částečně eliminovat snížením velikosti vlastních rázových sil.

2.2.1 Urychlení těživa

Těživo na přesypu v důsledku změny směru toku a polohy místa dopadu zpravidla nedosáhne ihned rychlosti následujícího dopravníku v_2 .

ale na tuto rychlost se urychluje z počáteční rychlosti v_1 . V důsledku rozdílu rychlosti $\Delta v = v_2 - v_1$ (může dosáhnout v mezních případech až hodnot $\Delta v \geq v_2$, například pro $v_1 \leq 0$), vznikne relativní pohyb a tím třecí síly mezi těživem a pásem, které jsou příčinou otěru (abrasivního opotřebení).

Pro snížení velikosti otěru pásu v místech přesypu musí být splněny požadavky, které lze i konstrukčně realizovat /17/:

- minimální dráha potřebná k urychlení (uklidnění) těživa
- správné vedení pásu na přesypu.

Uvedené lze splnit dosažením maximální počáteční rychlosti těživa v_1 (ovlivněna - výškou přesypu, způsobem vedení těživa na přesypu, dispozicí přesypu a jiným) a zvýšení unášecí schopnosti pásu (vedením ve křivce).

Lze konstatovat, že provedením zásad pro zmenšení otěru pásu se dosáhne i snížení velikosti rázových účinků.

2.2.2 Klidnost toku těživa

Těživo při přechodu přes válečkové stolice není ve stálém kontaktu s dopravním pásem, ale dochází k jeho odpoutání a zpětnému dopadu na pás. Vzniká tak relativní pohyb mezi těživem a pásem, což je příčinou vzniku otěru (abrasivního opotřebení). Velikost mezní rychlosti, při které dojde k odpoutání těživa od pásu, se pohybuje pro běžně používané průměry válečků (132 až 194 mm) a tloušťky pásu (18 až 27 mm) kolem 1,0 m/s. Měřítkem velikosti relativního pohybu mezi těživem a pásem (tím i otěru) je klidnost toku, která je definována jako max. výška Δh (m), o kterou se odpoutá těživo od dopravního pásu při přechodu přes válečkové stolice. Pro velikost Δh platí pro osamělý kus rovnice /18/

$$(2) \quad \Delta h = \frac{v^2 g^2}{2g} \left(\frac{a \cdot g}{T \cdot a \cdot g - 2G \cdot v^2} - \frac{c}{a} \right)^2 - G \cdot c \quad (m)$$

kde: v (m/s) - dopravní rychlost

T (kp) - tah v dopravním pásu

- a (m) - rozteč válečkových stolic
- c (m/kp) - konstanta pružnosti válečkových stolic
- G (kp) - váha osamělého kusu

Z uvedené rovnice, která byla ověřena i experimentálně je patrné, že velikost klidnosti toku těživa lze ovlivnit konstrukčním provedením dopravní trasy válečkových stolic a velikostí tahu v pásu (tj. napínací síly). Je proto nutno přistoupit k řešení problematiky otěru (abrasivního opotřebení) pásu s následujícími zásadami /19/:

- použít odpružené válečkové stolice v girlandovém provedení (dvě girlandy v úseku zavěšené na volném nosném laně)
- pokud je to možné používat takovou velikost tahu v pásu, při kterém dojde k uklidnění pohybu kusů po pásu (v podstatě používat max. tahy v pásu).

Uvedené je v souladu i s požadavky na snížení velikosti rázových sil.

2.3 Kusovitost těživa

Doprava kusovitého těživa především o délkách hran větších než dovolují technické provozní podmínky, resp. norma, je u dálkové pásové dopravy velmi složitým technickým problémem. Negativní důsledky velké, resp. nadměrné kusovitosti, které při transportu skalních hornin ještě vzrostou ve srovnání se zeminami, projevují se ve

- zvětšení velikosti rázových sil a otěru pásu (tj. snížení životnosti prvků pásové dopravy)
- závalech na přesypech a nakládacích místech
- přepadávání kusovitého těživa na předávacích místech a dopravní trase
- snížení kapacity ložného profilu aj.

Při dobývání svahových kamenitých sutí lopatovými rypadly kusovitost i při použití sekundárního rozpojení bude podstatně převyšovat dovolený rozměr hran kusů pro danou šířku pásu. Základní podmínkou technické reálnosti a použití pásových dopravníků pro dopravu kamenitých svahových sutí je proto drcení a úprava těživa na normou přípustnou ku-

kusovitost (viz tabulka 4).

Tabulka 4 (dle ČSN 26 3102)

Materiál	Šířka pásu (mm)					
	1000	1200	1400	1600	1800	2000
	Největší délky hrany materiálu (mm)					
tříděný	250	300	350	400	450	500
netříděný	400	500	600	675	750	800

(Poznámka: největším rozměrem netříděného materiálu se podle této tabulky rozumí ojedinělý výskyt kusů těchto rozměrů v množství do 5 % z dopravovaného materiálu).

Pro řešení následků kusovitosti (především nadměrné velikosti) platí v podstatě stejné zásady jako v kapitole 2.1 a 2.2.

3.0 Závěr

Nasazení pásové dopravy pro transport kamenitých svahových sutí, jak vyplývá z provedeného rozboru, je reálné za předpokladu:

- provedení konstrukčních úprav předávacích míst a dopravní trasy
- použití vhodného typu dopravního pásu
- dodržení normované kusovitosti materiálu (drcením, tříděním aj.).

V současné době probíhá v TRA vývoj intenzifikovaných dopravníků š. 1600 mm (2000 mm) a dopravníku pro použití pásu OK (š. 1200 mm, Bar-bora III) /20/. Jejich konstrukční řešení v podstatě splňuje požadavky kladené na dopravu skalních hornin.

Je však nutné dořešit:

- průchodnost přesypů (v horní části)
 - snížení pádové výšky přesypů
- a zajistit použití vhodného typu dopravního pásu.

Životnost pásového dopravníku včetně pásu je nutno zjistit provozním odzkoušením.

Závěrem lze konstatovat, že není nutno provádět rozsáhlý výzkum a vývoj dopravy skalních hornin, pásovými dopravníky, ale pouze provést dílčí konstrukční úpravy a ověření provozní spolehlivosti a životnosti.

Literatura:

- /1/ Primenenie ciklično- potočnoj technologii pri razrobotke krepkich porod na razrezach. Obzor, Moskva 1972.
- /2/ Ing. Klimecký: Cestovní zpráva ze SSSR, VÚHU 8/1973
- /3/ Doprava skalnatých hornin a rud pásovými dopravníky, Rešerše VÚHU č. 1/72
- /4/ Potočnaja technologija otkrytoj razrobotki skalnych gornych porod, Nedra, Moskva 1970
- /5/ Studie možností pro dobývání tvrdých kamenitých sutí s případným použitím trhací práce, VÚHU Most, 1966
- /6/ Řešení dobývání suťových svahů, BP Teplice, 1967
- /7/ Dipl. Ing. S. Suske: Einsatz von Girlandenträgrollen unter besonderer Berücksichtigung der Gutaufgabestellen. Bergbautechnik 10/1965
- /8/ Prof. Dr. Ing. Vierling: Untersuchungen zum Beaufschlagungsverhalten von Gummifördergurten (Teil II). Förder und Heben, 12/1964
- /9/ Dipl. Ing. Quaas: Prüfung von Gummifördergurten mit Gewebeseinlagen. Bergbautechnik, 12/1965
- /10/ Dr. Ing. Lubrich: Betrachtungen über Tragrollen in Bandanlagen, Braunkohle, 7/1969
- /11/ Katalog fy Continental
- /12/ Katalog fy Yokohama
- /13/ Katalog fy Mitsuboshi
- /14/ Katalog Gumárne 1. mája Púchov
- /15/ S. Suske: Betrachtungen über den Einsatz von Gurtbandförderern mit Girlandenträgrollen, Bergbautechnik 12/1967
- /16/ H.Oehmen: Stoßkraftmessungen an Förderbandtragrollen und Untersuchungen der Durchgangsform von Fördergurten

Braunkohle, 12/1972

- /17/ Ing. Drobný, Ing. Klimecký: Urychlení materiálu na přesypech, Zpravodaj VÚHU 6/69
- /18/ Ing. Drobný, Ing. Klimecký: Výzkum parametrů dlouhých stabilních a přesuvných dopravníků. Výzkumná zpráva VÚHU 11/70
- /19/ Ing. Drobný, Ing. Klimecký: Experimentální výzkum válečkových stolic pro vysoké rychlosti do 8,7 m/s
- /20/ Ing. Klimecký, Ing. Veverková: Základní podmínky pro použití pásu s ocelovým kordem u zkušebního dopravníku š. 1200 mm, VÚHU, červen 1971.

S h r n u t í

Rozbor problematiky transportu skalních hornin pásovými dopravníky

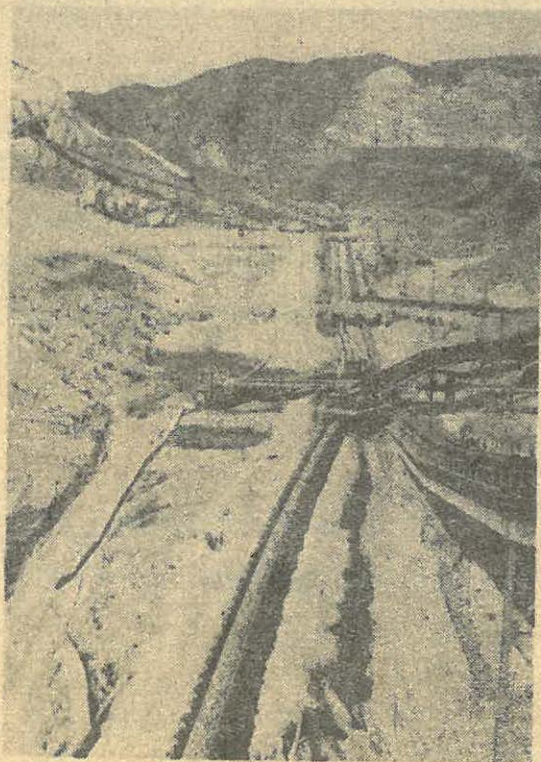
Článek se zabývá rozбором problematiky dopravy kamenitých svahových sutí pásovými dopravníky. Zaměřuje se především na problém dynamických účinků při dopravě kamenitého těživa, abrazivního opotřebení dopravního pásu a kusovitosti těživa. Dále jsou v článku uvedeny některé příklady použití pásových dopravníků pro transport skalních hornin (resp. rud).

Р е з ю м е

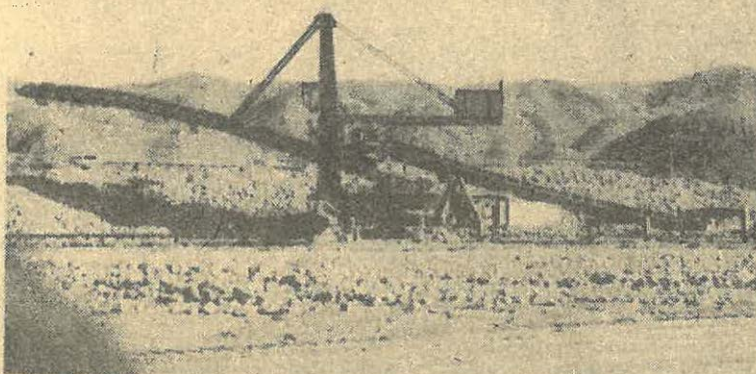
Анализ проблематики конвейерного транспорта скальных пород

В статье излагается и анализируется проблематика конвейерного транспорта материала каменистых осыпей залегающих под склонами горного хребта. В центре внимания стоят вопросы изучения динамических усилий воздействующих на ленту при транспорте каменистого материала, вопросы абразивного износа ленты и вопросы кусковатости горной массы. Приводятся несколько практических примеров эксплуатации конвейеров для транспорта скальных пород и руд.

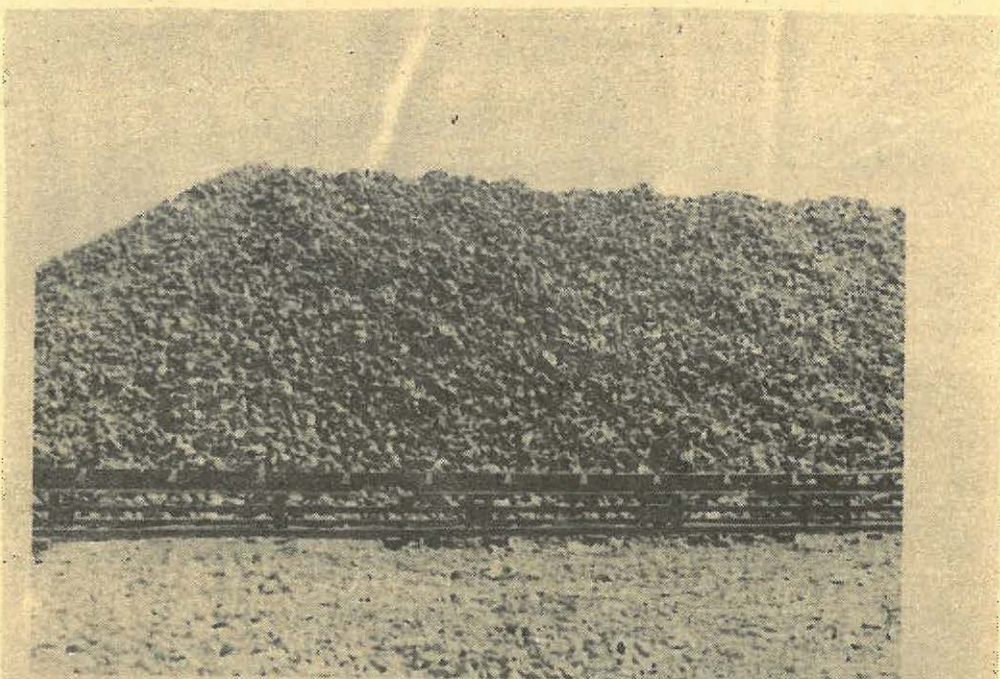
Levá přehrada Jarbela v Pakistánu



*celkový pohled na uspořádání pascových
dopravních linek*



Situace na zakládací straně



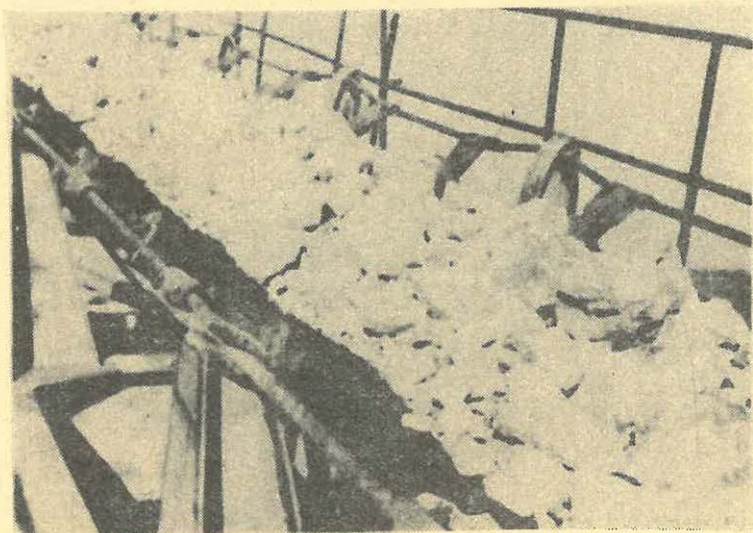
Stavba přehrady Tarbela v Pakistánu



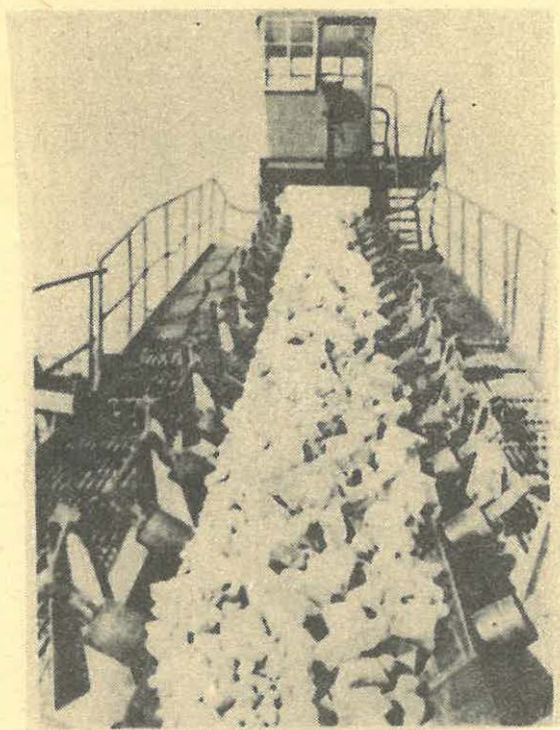
Dopravovaný kamenitý materiál

obr. 2

*Girlandové provedení dopravních cest pro
dopravu skalních kusovitých hornin*



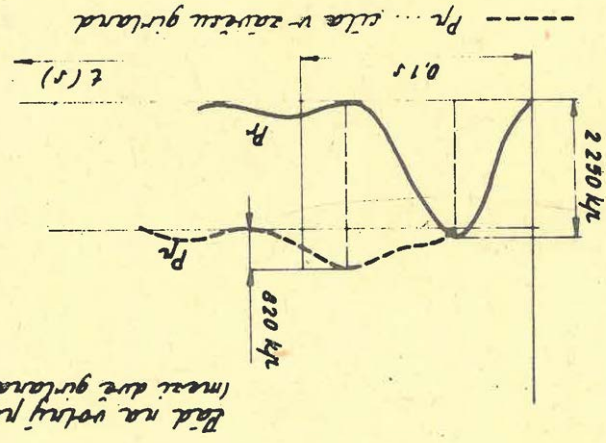
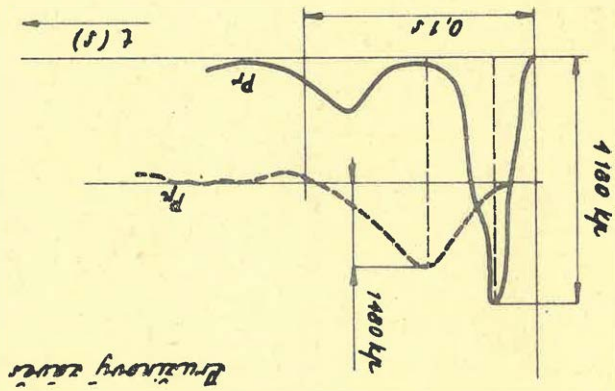
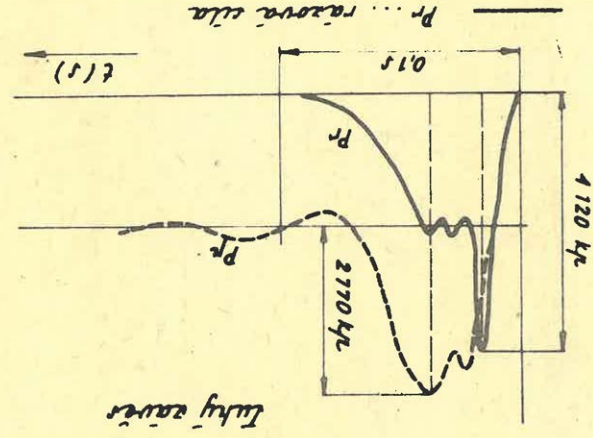
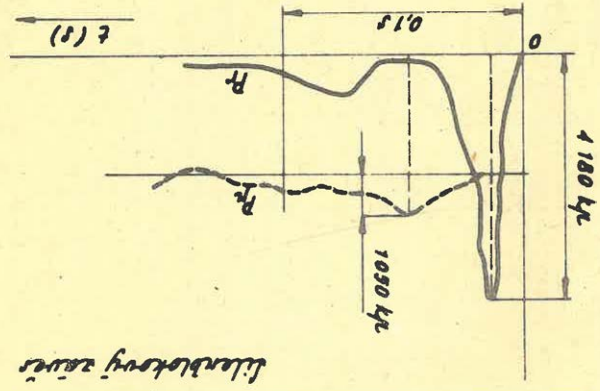
a) Výtlačník zakladače ZP 1500



b) Skazovací vůz

obr. 3.

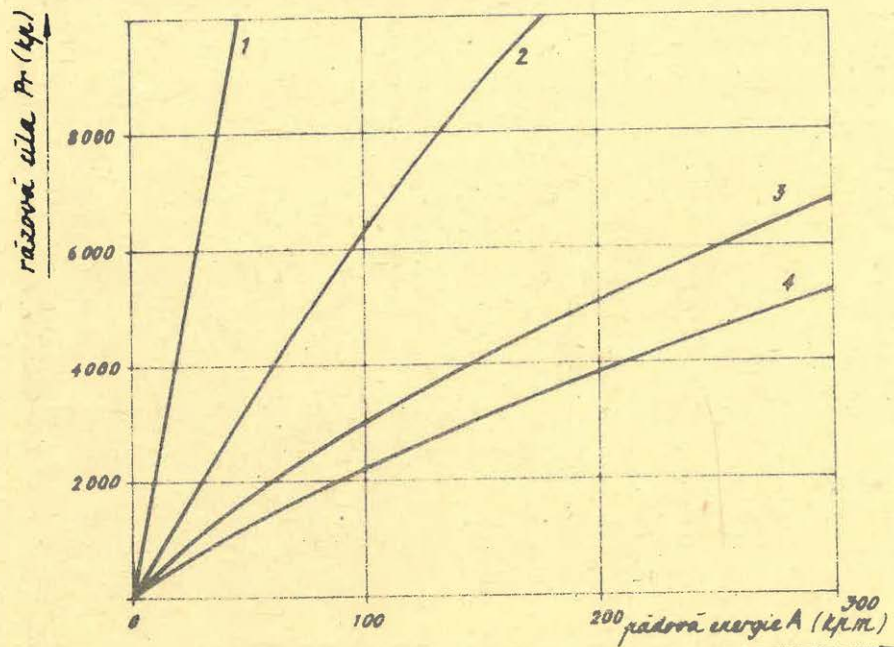
Oscillograficky záznam průběhu sil P_r a P_r pro různé typy závěsů gírlanové stolice



Bad na vlny pas
(měřené gírlanové stolice)

Abz. 4

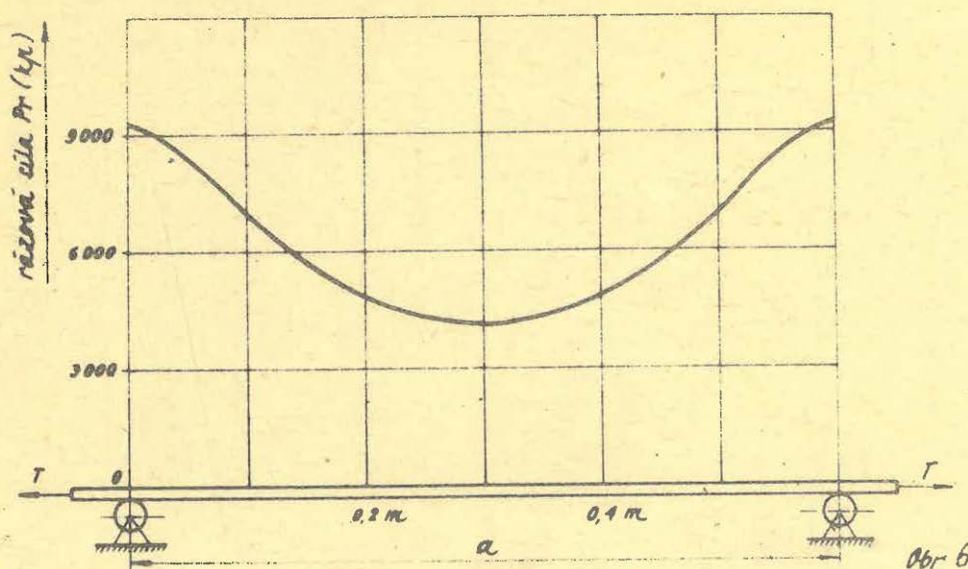
Závislost velikosti rázové síly na provedení místa dopadu a poměru hmot



- 1 - pevné válečkové stolice
- 2 - pevné pogumované válečkové stolice
- 3 - pružně zavěšené girlandové stolice $m_1/m_2 = 2$
- 4 - pružně zavěšené girlandové stolice $m_1/m_2 = 3$
- m_1 - váha kuru těžiwa; m_2 - váha válečkové stolice

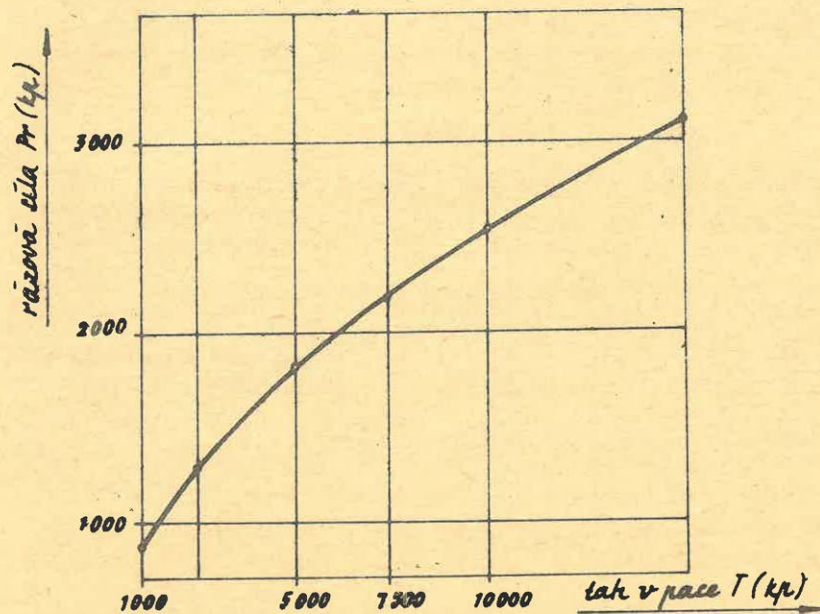
Obr. 5

Průběh velikosti rázové síly v závislosti na roztěci válečkových stolic



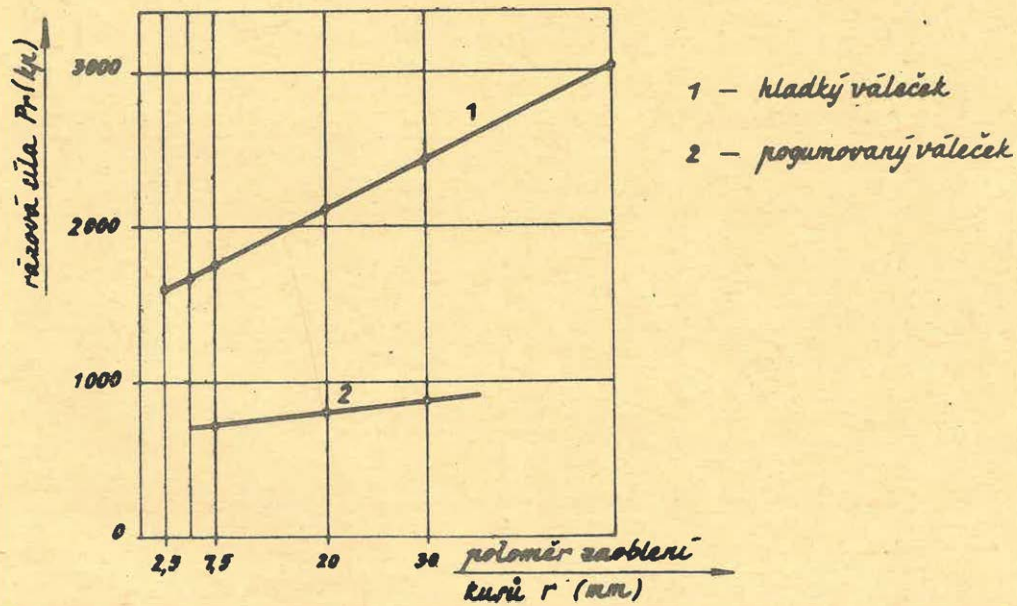
Obr. 6

Závislost velikosti rázové síly na tahu v páce



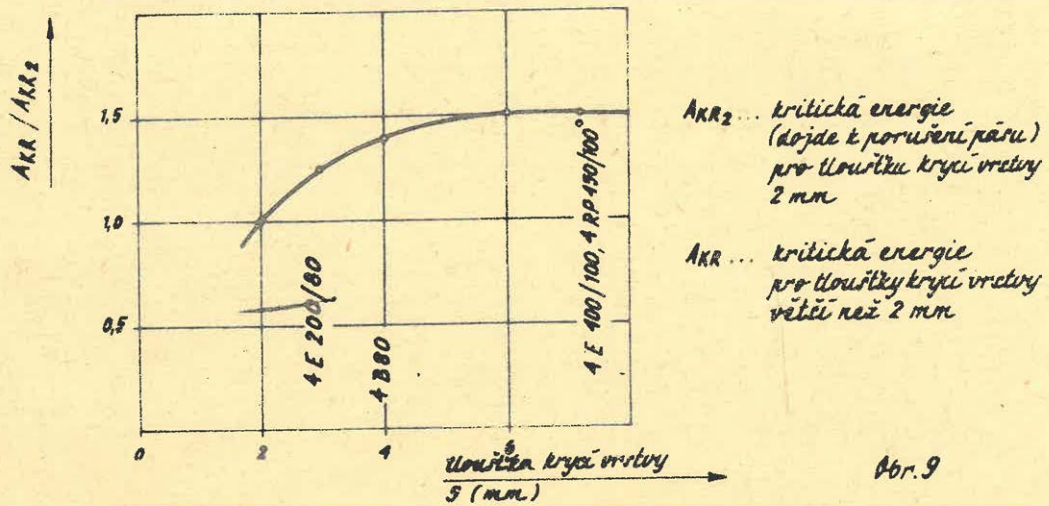
Obr. 7

Závislost rázové síly na tvaru kusovitého těžiwa



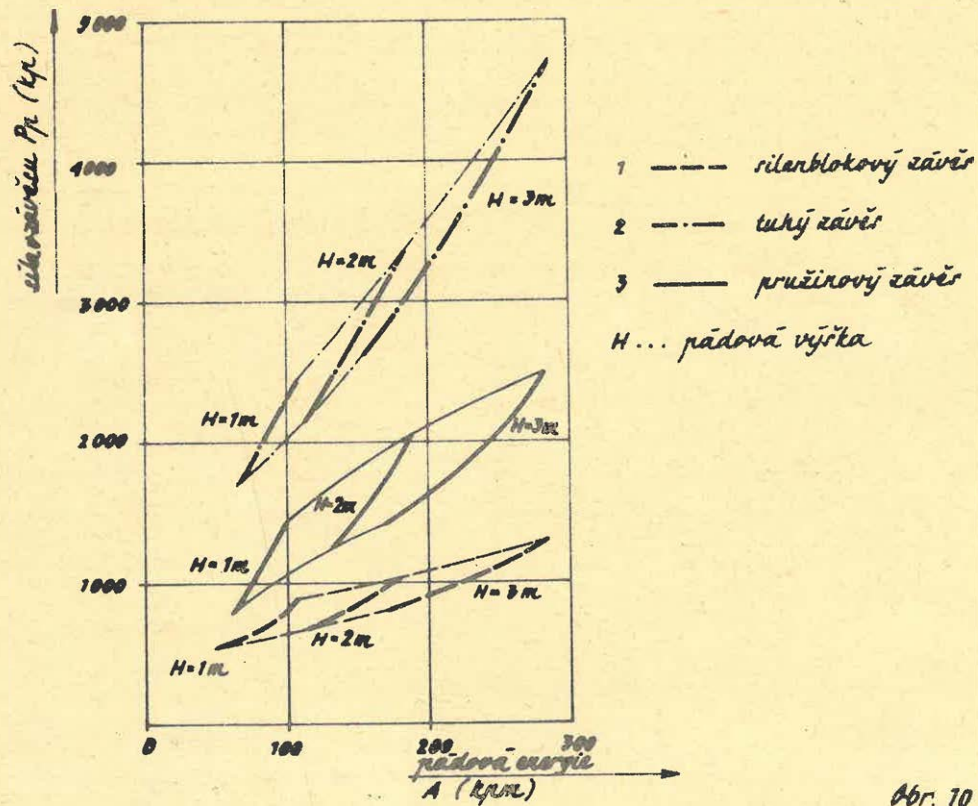
Obr. 8

Pevnost proti rázu v závislosti na tloušťce horní krycí vrstvy



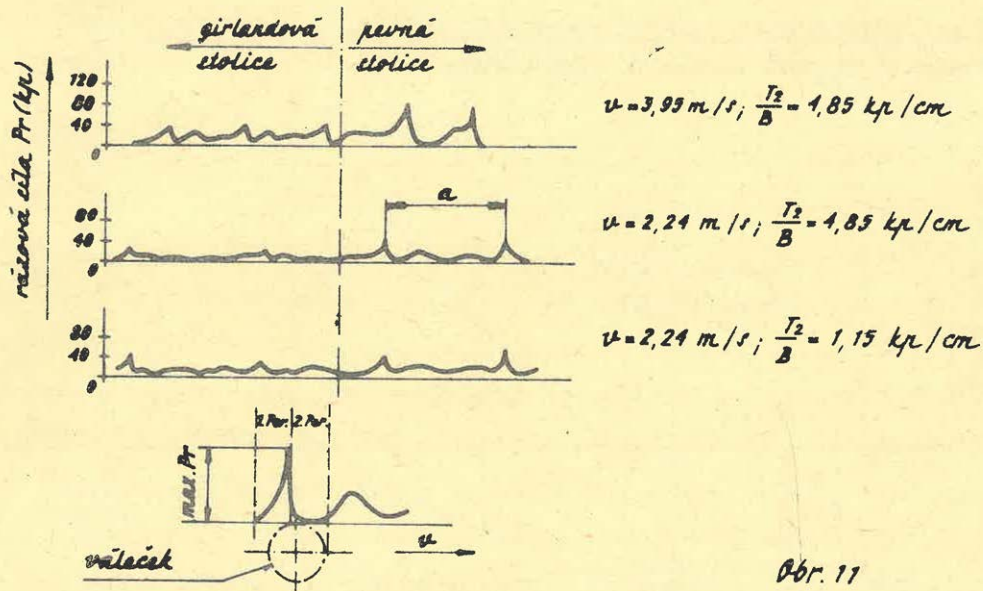
obr. 9

Vliv pádové energie na namáhání girland při různých typech závěsů

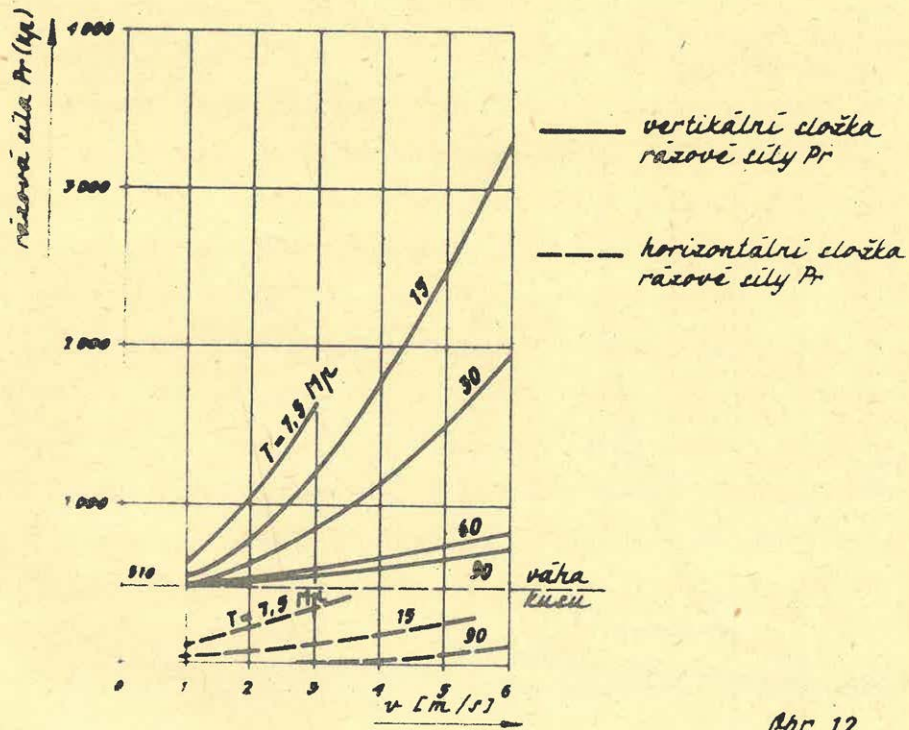


obr. 10

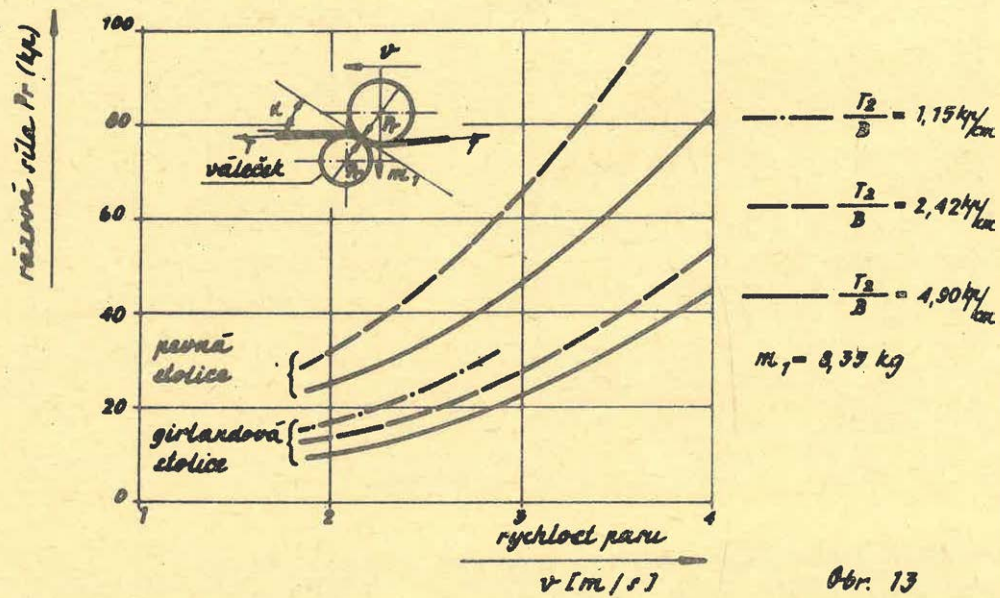
Oscilografický průběh rázové síly při přechodu přes válečkové čolice



Závislost velikosti rázové síly na tahu v pásu a rychlosti (tvar kusek krychle).

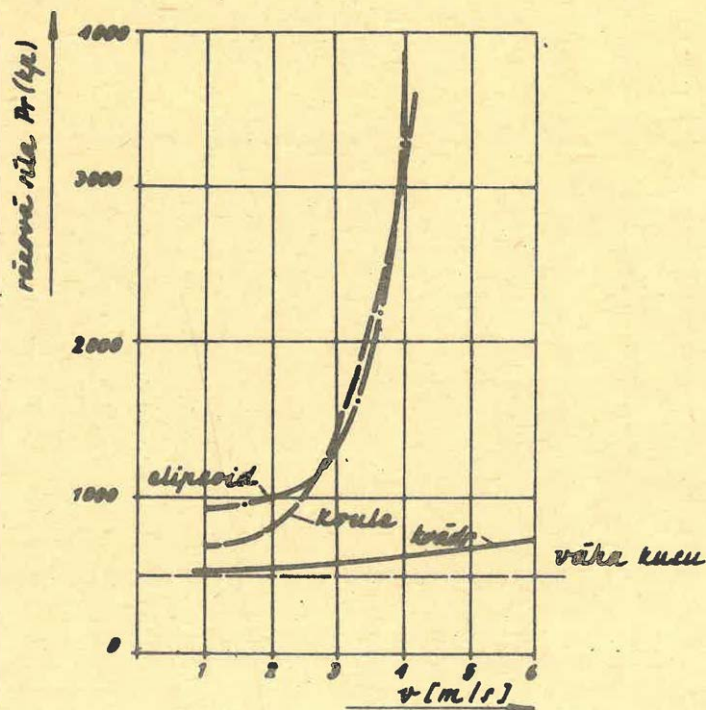


Závislost velikosti rázové síly na provedení válečkových stolic a rychlosti



Obr. 13

Závislost rázové síly na rychlosti a tvaru kusek (pro $T = \text{concl} - 30 \text{ MPa}$)



Obr. 14