

Ing. Ladislav H y n a i s, VÚHU

Jiří K e j ř, VÚHU

Metodika měření měrných rozpojovacích sil na lopatových
rýpadlech

Jak ukazují výsledky výzkumů, je nutno volit technologii lomového dobývání zásadně na základě vhodného nasazení dobývacích strojů. Dobývací stroje nasazené v lomově dobývacích systémech mají jako dobývací orgán jeden nebo více korečků, přičemž značnou úlohu při procesu rozpojování a nakládání má právě kinematika dobývacího procesu. Na vlastní průběh dobývání rypným orgánem je možno se dívat jako na fyzikální proces, který ovlivňují různé typy hornin a rozdílné konstrukční řešení. Složitost tohoto procesu, který v sobě zahrnuje překonání rozpojovacího odporu, odporu proti plnění korečků, ale i vlivy setrvačných sil, dala podnět k rozsáhlému výzkumu, který je i v současnosti aktuální. Tento problém je o to složitější, že je nutno rozlišovat dobývací stroje s kontinuální těžbou a stroje pracující nespojitě - cyklicky.

Rozpojovací odpor dobývaného materiálu, určený ovšem v dostatečném časovém předstihu je prvním a rozhodujícím kritériem pro volbu, respektive konstrukci vhodného dobývacího stroje, protože odráží bezprostředně souvislosti mezi dobývacím strojem a rýpanou horninou. V současné době se vypočítává rozpojovací odpor buď na základě plochy třísky nebo délky rypných hran. Vztah pro určení této délky rypných hran dává dosti přesné výsledky u jednoduchých rypných orgánů, avšak při osazení korečků jednotlivými zuby je jeho stanovení velice obtížné, takže exaktní určení okamžité hodnoty měrných rozpojovacích sil je při nejmenším velice problematické. K určení hodnot měrných rozpojovacích sil z výsledků měření na jednotlivých strojích se používají v podstatě dvě základní metody a to tzv. nepřímá, aplikovaná převážně u kolesových rýpadel a vycházející z časových diagramů průběhu příkonů poháněcích mo-

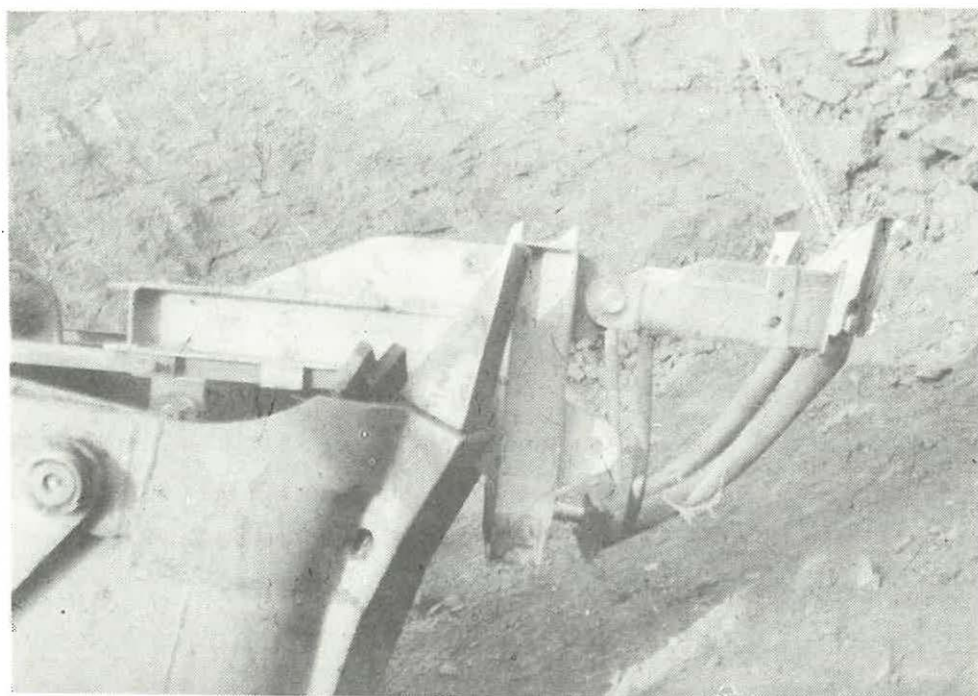
torů kola a tzv. přímá metoda vycházející z rozvahy silových poměrů na korečku zpravidla lopatového rýpadla.

V další části se autoři pokusí podat přehled těchto způsobů přímých měření s uplatněním některých nových pohledů a poznatků. Jedna z možností přímého měření na lopatových rýpadlech je použití tzv. měrného korečku. Tato metoda byla vyvinuta ve VÚHU Most a využívána pro stanovení velikosti měrné rozpojovací síly v revírech SHD a HDBS.

Měrný koreček představuje spojení tenzometrického měření dvou reakcí na siloměrech spolu s vyhodnocením velikosti akční síly na řezném orgánu měrného korečku. Jak je patrné z funkčního schématu na obr. č. 1 je toto měřicí zařízení sestaveno z rámu a bandáže korečku. Tato bandáž je shodná s bandáží korečků se čtyřmi standartními zuby, která je používána u rýpadel řady K - 300.

Způsob upevnění měrného korečku na lopatu rýpadla je zřejmý z obr. č. 2, kde jsou též znázorněny tenzometrické dynamometry.

Upevnění měrného korečku
na lžici rýpadla



Obr. č. 2

Tahový a tlakový dynamometr dovoluje stanovit síly označené na obr. č. 1 jako T a V , z nichž je možno určit složky F_V a F_H síly F , která představuje rozpojovací sílu působící na rypnou hranu.

Složky F_V a F_H je možno stanovit ve vztahu :

$$F_V = K_1 V - K_2 T$$

$$F_H = K_3 T - K_4 V$$

kde konstanty K_1 a K_4 jsou vypočteny z poměru ramen měrného korečku.

Výsledná síla je vektorovým součtem obou složek :

$$F = \overbrace{F_V + F_H} \text{ /vektorově/}$$

Složka F_H je závislá na tom, zda lopata je do těženého materiálu zatlačována či nikoliv. Naproti tomu složka F_V reprezentuje v pravém slova smyslu rozpojovací sílu, která je reakcí na měrnou rozpojovací sílu. Výslednice F představuje sílu namáhající lopatu rýpadla.

Měrná rozpojovací síla F_{MR} je pak dána vztahem :

$$F_{MR} = \frac{F_V}{l_n} \quad / \text{ kNm}^{-1} /$$

kde l_n je délka rypné hrany.

Délka rypné hrany se určuje fotograficky podle počtu zubů v záběru během průchodu korečku odebíranou štěpinou.

Zesílený signál z tenzometrických dynamometrů je zaznamenán přímopíšicím oscilografem. Tím je získáván časový průběh sil T a V .

Výhodou měrného korečku je možnost zjistit měrnou rozpojovací sílu přímo na řezném nástroji. Tímto měřením jsou vyloučeny vedlejší vlivy jako účinnost převodové skříně, elektromotoru, vrátku a hmotnost lopaty a násady.

Nevýhodou tohoto způsobu stanovování rozpojovacích sil jsou jednak značné rozměry a hmotnost měrného korečku, které omezují jeho častější používání a dále i to, že měrný koreček přesahující přes lopatu rýpadla vyžaduje opatrnější manipulaci. Při průchodu proplástkem dojde k napružení celého systému a po odlehčení k destrukci zařízení. Po změření několika štěpin není možno provést úpravu řezu a odstranění spadaného materiálu.

Pro ilustraci uvádíme některé výsledky z měření měrným korečkem uskutečněném na uhelném cca 5 m vysokém řezu dolu Družba v HDBS a na VI. skrývkovém řezu dolu Jiří rovněž v HDBS. Skrývkový řez měl v době měření výšku cca 10 - 12 m a byl tvořen šedým až šedozeleňým jílovcem. V jedné třetině řezu se vyskytoval pelokarbonátový proplástek o mocnosti přibližně 0,1 m. Výsledky jsou seřazeny do tabulek č. 1 a 2. Na obrázcích č. 3 a 4 jsou pak znázorněny charakteristické průběhy zaznamenaných rozpojovacích sil.

Stanovení řezné síly ze silových poměrů na lopatovém rýpadle

Na základě požadavku Uholných a lignitových baní, Bane Nováky, k.p. Nováky bylo nutné provést komplexní měření na lopatových rýpadlech řady E 303 nasazených na povrchovém lomu Lehota s cílem získat dostatek podkladů o silových a elektrických poměrech, které by umožnily analyzovat příčiny vysoké poruchovosti rýpadel a posoudit dobývací podmínky této lokality.

Z těchto důvodů vyplynula nutnost zjistit měrné rozpojovací síly v různých částech lomu. Jelikož použití měrného korečku nebylo možné z důvodu dopravy a charakteru měření bylo použito nové metodiky měření měrných rozpojovacích sil.

Tato metodika vychází z rozboru silových poměrů na lopatě rýpadla a příslušné délky rypné hrany. Pro možnost aplikace tohoto způsobu měření bylo nutno vytvořit určité modelové podmínky. Pro začištění měřeného řezu bylo nutné, aby řidič rýpadla pracoval pouze zdvihem, tedy bez manipulace s výsuvem

a otočí, protože bylo třeba, aby trajektorie měla tvar kruhového oblouku.

K vyloučení působnosti tíhové složky odrýpaného materiálu bylo během měření odklopeno dno lopaty. Každý měřicí záběr vycházel ze základní polohy, kdy byla lopata u paty svahu. Kromě této přímé metodiky měření byla prováděna kontrola ještě nepřímým způsobem a to tak, že rozpojovací odpory byly vypočítány ze vztahu :

$$F = \frac{P \cdot \eta}{v} = \frac{P \cdot t \cdot \eta}{s}$$

kde F průměrná hodnota tečné složky síly na rypném ogránu lopaty /N/

P střední hodnota příkonu elektromotoru zdvihu v průběhu měřené štěpiny /W/

η celková účinnost pohonu zdvihu

v průměrná rychlost lopaty v průběhu štěpiny /m.s⁻¹/

s délka trajektorie v jedné štěpině /m/

Při stanovení měrné rozpojovací síly F_{MR} ze silových poměrů na rýpadle se předpokládá, že síla F_0 působí na špičku zubu ve směru kolmém na násadu. Celková silová rovnice je na obr. č. 5.

Z rovnováhy na násadě platí, že síla F_0 je :

$$F_0 = \frac{Z [\cos \beta \cdot c + \sin \beta / m + d] - Q_L [m + d + k / \sin \alpha - n \cdot \cos \alpha] - Q_1 \sin \alpha / m - i}{m + d + e}$$

kde F_0 síla působící na špičku zubu

Z změřená síla ve zdvihových lanech

c hmotnost lopaty

k hmotnost násady

Úhel β je vypočten ze vztahu:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sin \varphi}{\frac{v}{u} + \cos \varphi}$$

při čemž platí, že $\varphi = \alpha + \gamma$

kde α - sklon násady

γ - sklon výložníku

Se silovou složkou W ve směru osy násady nebylo počítáno, protože nebylo možno stanovit velikost třecí síly ve vedení násady.

Jako kontrolní výpočet bylo stanovení velikosti síly P_0 provedeno z rovnováhy na násadě, kde pak P_0 je :

$$F_0 = \frac{V n + Z / c \cdot \cos \beta + d \cdot \sin \beta + Q_L [n \cos \alpha + d + k / \cdot \sin \alpha]}{d + e} \quad / \text{ kN } /$$

kde V změřená velikost síly ve vzpěře lopaty / kN /

Měrná rozpojovací síla F_{MR} vyjadřuje rovnoměrné zatížení zubů a bandáže korečků mezi zuby a je vyjádřena vztahem :

$$F_{MR} = \frac{F_0}{l} \quad / \text{ kNm}^{-1} /$$

kde l je délka řezné hrany / m /

Délka řezné hrany se určuje stejným způsobem jako z měrného korečku.

Pro výpočet výsledné síly P_0 je nutné znát sílu v lanech, sílu ve vzpěře lopaty, polohu výložníku a násady lopaty. Celkové umístění snimačů je na obr. č. 6.

Velikost síly Z v lanech zdvihu násady lopaty byla zjišťována průvlekovými dynamometry uchycenými na lana v blízkosti jejich zakotvení. Dynamometry byly propojeny do serie, aby bylo možno zjistit velikost síly v obou větvích lana, bez oh-

ledu na jejich nerovnoměrné zatížení způsobené řeznou silou na zubech lopaty.

Na vzpěru lopaty byly přitmeleny tenzometry od výrobce Hottinger a výsledné snímané napětí bylo buď tlakové nebo tahové. Abychom získali výslednou sílu V , bez ohledu na rozložení sil v jednotlivých vzpěrách lopaty bylo provedeno vzájemné zapojení do serie.

K měření sklonu a výsuvu násady lopaty bylo použito aripotu s lineárním odporem při deseti otáčkách.

Příkon motoru pohonu zdvihu byl zjišťován tak, že do přívodu byly zapojeny průvlekové měřicí transformátory proudu 300/5 A a napájecí napětí 500 V bylo transformováno napěťovým transformátorem s převodem 500/100 V. Vlastní příkon byl měřen pomocí měřicího převodníku Metra v trojfázovém zapojení se stejnosměrným výstupem 5 mA. Tento výstup spolu i se zesílenými signály pomocí tenzometrické aparatury z tenzometrických snímačů na vzpěře a průvlekových dynamometrů včetně signálů z aripotů byly zavedeny na vstupy oscilografu RFT a zaznamenány na fotografický papír.

Výhody této metody:

- 1/ možnost úpravy a začistištění řezu během měření rozpojitelností
- 2/ pro řidiče rýpadla stejné podmínky při manipulaci
- 3/ možnost měření rypné síly i namáhání při normálním provozu stroje

V tab. č. 3 jsou hodnoty naměřených veličin včetně velikosti měrné rozpojovací síly z měření na odlehčovacím řezu lomu Lehota. Měření bylo provedeno ve čtyřech postaveních rýpadla, při čemž měrné rozpojovací síly rýpaných hornin narůstaly od postavení I k nejvyšším hodnotám v postavení IV, kde byly horniny daným rýpadlem prakticky netěžitelné.

Horniny v místě měření I. až III. lze charakterizovat jako hlíny, případně jíly se značným obsahem audezitových úlomků,

jejichž obsah se zvětšuje až do postavení III. V postavení IV. přecházely audezitové úlomky ve valouny, které byly netěžitelné. Na obr. č. 7 je znázorněn průběh sil při rozpojování horniny ve IV. postavení.

Další variantou měření rozpojovacích sil na lopatových popřípadě i kolesových rýpadlech je měření přímo na zubu pomocí tzv. měrného zubu. Měrný zub je v principu prostý nosník s převislým koncem, při čemž obě podpory splňují hledisko statické určitosti a jsou provedeny jako měřicí body. Jako měřicích bodů je použito tenzometrických čepů, které současně spojují dvě části zubu. Jednu tvoří dřík zubu a druhá část je vlastní břit zubu. Tenzometrické čepy umožňují stanovení dvou navzájem kolmých reakcí, z kterých je možno určit směr a velikost výslednice.

Provedení zubu je tvarově shodné s původním zubem instalovaným na lopatě rýpadla E 303 a jeho vyzkoušení bude provedeno ještě v letošním roce na některém rýpadle E 303 nebo E 2,5.

Výhody :

- 1/ možnost zjistit velikost síly přímo na zubu, což dříve popsané metody neumožnily
- 2/ pro řidiče jsou stejné podmínky při manipulačních pohybech
- 3/ možnost měření při normálním provozu
- 4/ neměnná délka řezné hrany
- 5/ možnost vyzkoušení různé šířky břitu popřípadě různé řezné úhly nože

Závěrem lze konstatovat, že především prognóza rozpojovacího odporu vzhledem k výběru dobývacích strojů, resp. technologických celků vyžaduje rozsáhlá přímá měření v závislosti na typu zeminy či horniny, typu dobývacího stroje a vlastních rozpojovacích nástrojů, při čemž je nutno uvést tyto výsledky do souvislosti s rozhodujícími geotechnickými parametry. Zásadním

cílem pak je zvolit na základě těchto geotechnických veličin nejvhodnější tvar rypného nástroje a s ohledem na efektivní výkonnost i optimální dobývací stroj.

S h r n u t í

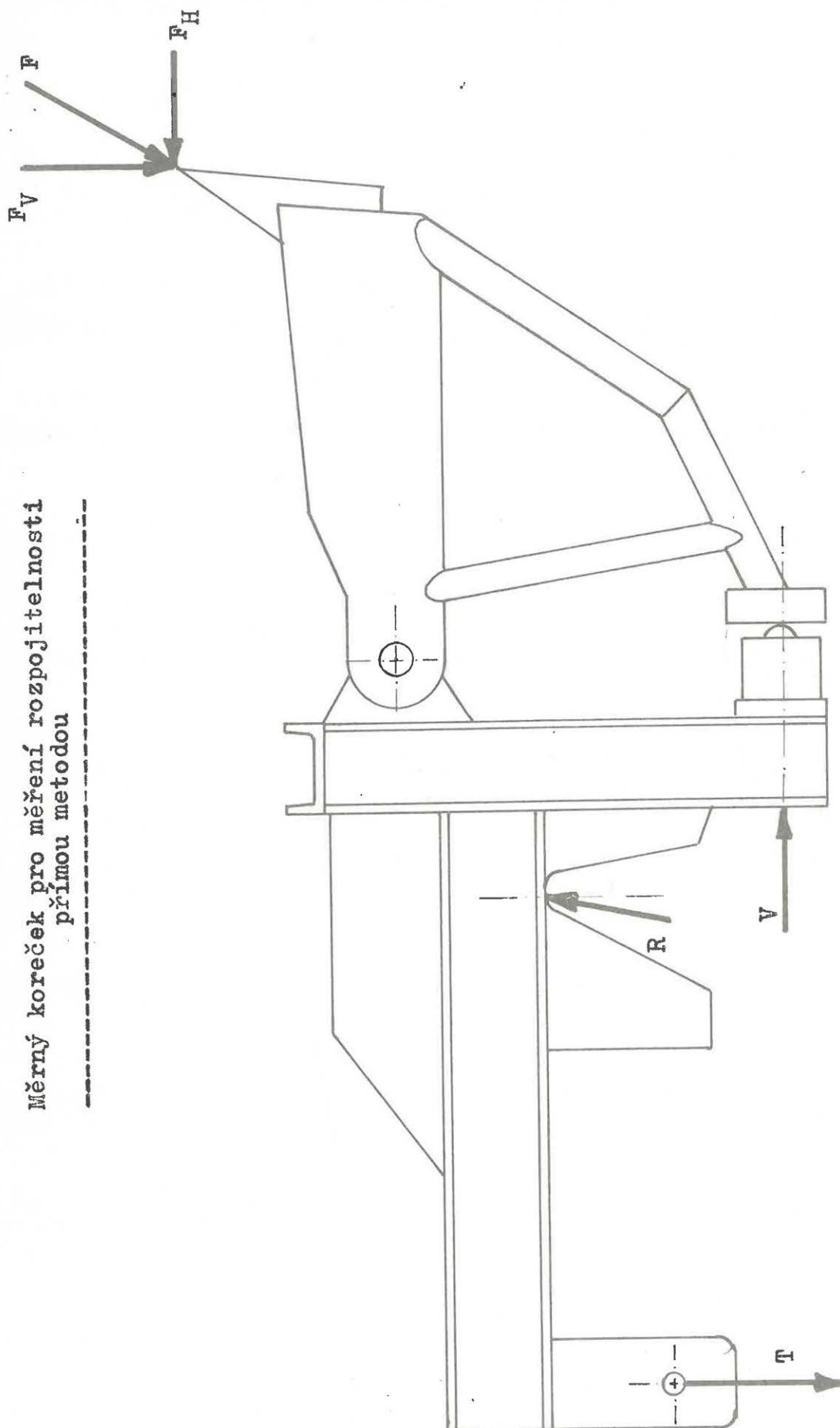
Metodika měření měrných rozpojovacích sil na lopatových rýpadlech

V článku jsou konfrontovány různé metody měření rozpojovacích sil na lopatových rýpadlech. Jsou zhodnoceny výhody i nevýhody při použití měrného korečku, dále je uvedena nová metoda určování rozpojovacích sil aplikovaná na rýpadlech řady E 303. Přehledně jsou uvedeny charakteristické výsledky některých těchto měření. Samostatně je popsán způsob měření tzv. měrným zubem.

Р е з ю м е

Методика установления удельных усилий черпания одноковшовых экскаваторов

Дано сопоставление разных методов измерения удельных усилий черпания одноковшовых экскаваторов. Обсуждены преимущества и недостатки употребления в этих целях ковша-эталоны. Описан новый метод измерения, уже применявшийся на одноковшовых экскаваторах модели Э-303. Дан обзор характерных результатов некоторых из прошлых измерений. Детально описан метод измерения удельных разрывающих усилий экскаватора с помощью т. наз. измерительного зуба.



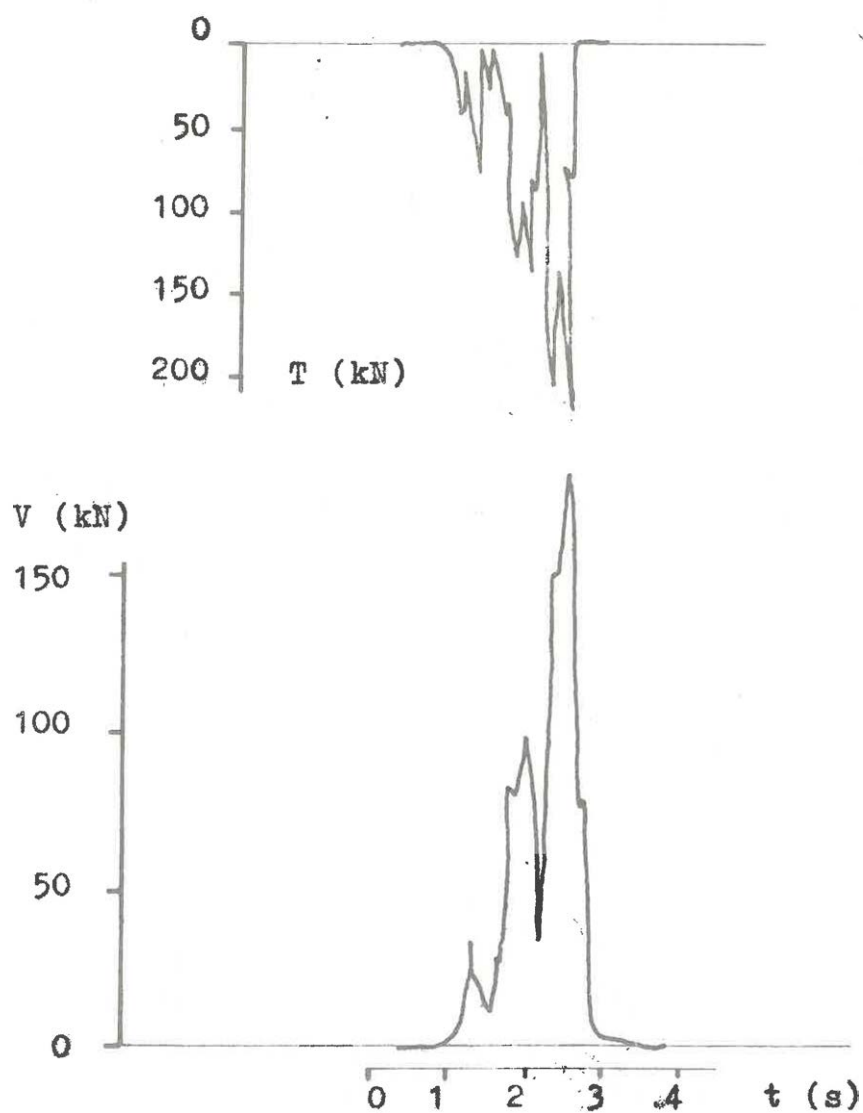
Měrný koreček pro měření rozpojitelnosti
přímou metodou

Obr. č.1

Výsledky měření rozpojitelnosti uhelné
sloje dolu Družba

Délka řez- né hrany	Síly indikované v siloměrech		Měrná rozpoj. síla
	T	V	
l			F_{MR}
m	kN	kN	kNm^{-1}
0,5	38	19	110
0,95	140	126	118
0,95	252	212	128
0,85	96	55	124
0,95	233	195	114
0,95	223	119	116
0,95	141	126	118
0,95	226	195	142

Tab. č. 1

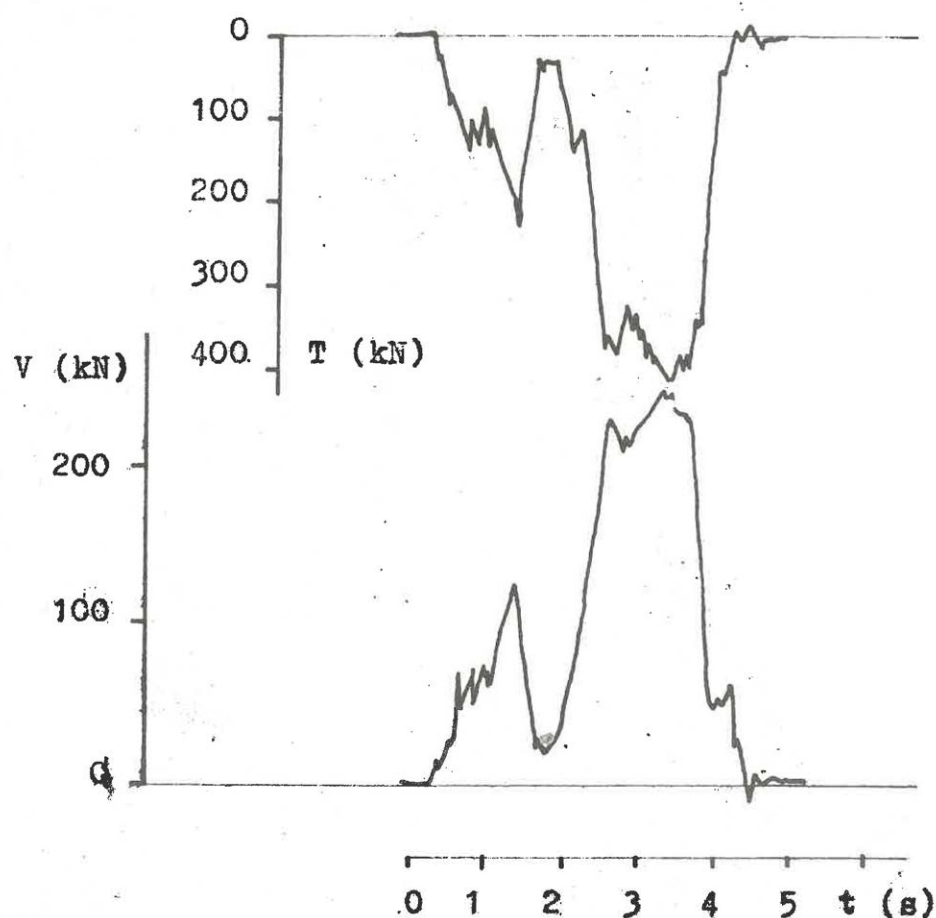


Obr. č.

Výsledky měření rozpojitelnosti na
6. skryvkovém řezu dolu Jiří

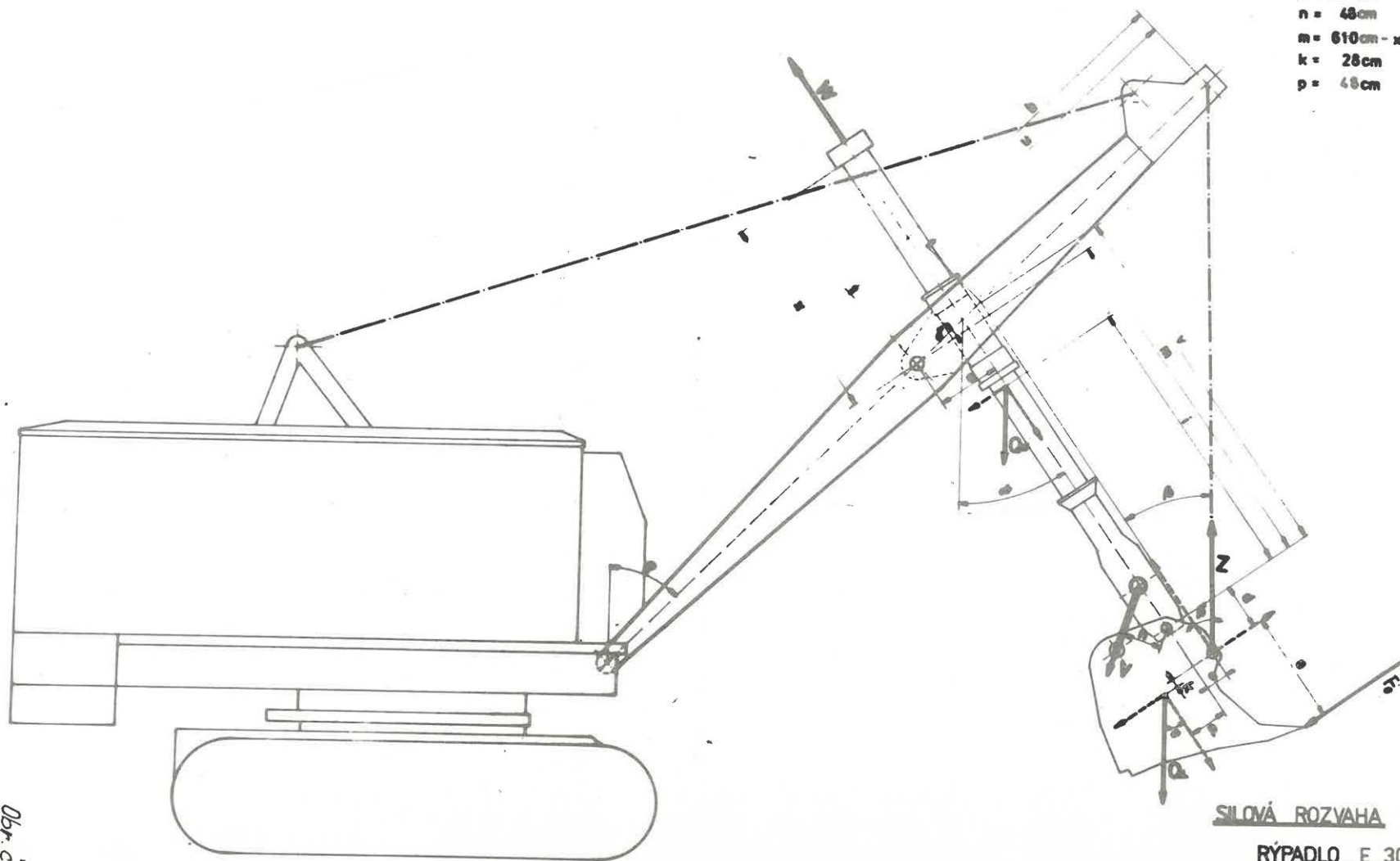
Délka řez- né hrany	Síly indikované v siloměrech		Měrná rozpoj. síla
	T.	V	
l	kN	kN	F_{MR}
m			kNm^{-1}
0,95	224	208	234
0,95	215	192	175
0,95	251	225	210
0,95	304	257	163
0,95	304	268	229
0,95	233	143	201
0,95	385	312	263
0,95	312	120	240

Tab. č. 2



Obr. č. 4

Obn. č. 5



KONSTANTY

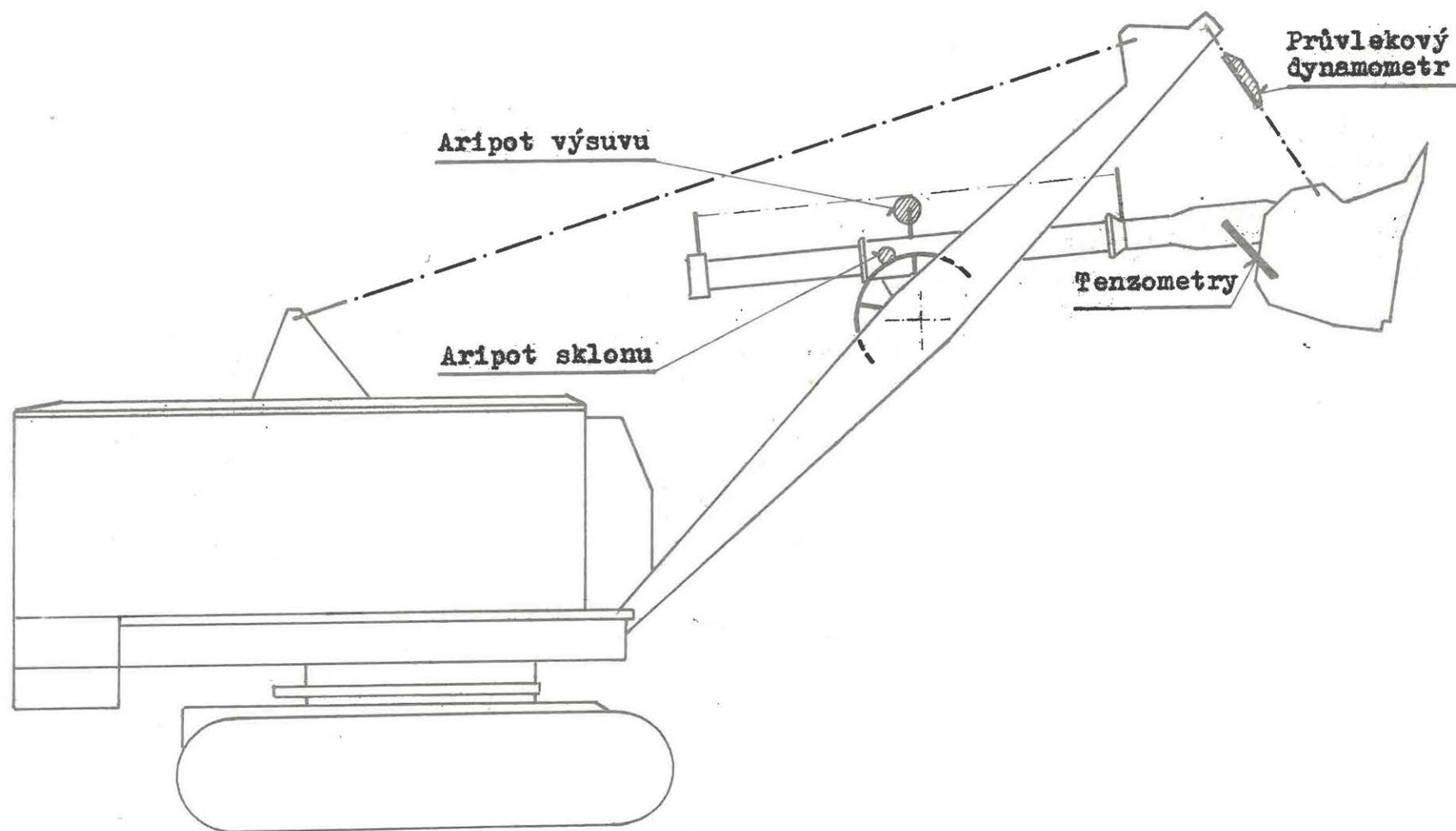
a =	75 cm
b =	485 cm
c =	28 cm
d =	58 cm
e =	135 cm
i =	300 cm
n =	48 cm
m =	610 cm - x
k =	28 cm
p =	48 cm

SILOVÁ ROZVAHA

RÝPADLO E 303

S VÝŠKOVOU LOPATOU

Schema umístění snímačů na rýpadle E - 303



Výsledky měření rozpojitelnosti na skrývkovém řezu
lomu Lehota

Délka řezné hrany	Měřené síly		Výsledné síly z rovnováhy		Měrná rozpojovací síla	
	Zdvihová lana	Vzpěra lopaty	na násadě	na lopatě	$\frac{F_{o1}}{l_n}$	$\frac{F_{o2}}{l_n}$
					$\frac{F_{o1}}{l_n}$	$\frac{F_{o2}}{l_n}$
l_n	Z	V	F_{o1}	F_{o2}	FMR1	FMR2
m	kN	kN	kN	kN	kNm^{-1}	kNm^{-1}
0,65	396	204	182	168	280	258
0,65	412	345	212	210	326	323
0,65	396	354	216	218	333	335
0,65	412	349	209	216	321	333
0,65	429	349	240	222	369	342
0,65	412	338	202	213	311	328
0,65	412	326	203	208	312	320
0,65	396	334	211	204	325	314

Tab. č. 3

