

Ing. Jan Žďárský, VÚHU

Vybrané problémy a hlavní směry výzkumu v oblasti rozpojování nadloží se zvláštním zřetelem na výskyt zpevněných poloh

Využívám příležitosti konání tohoto semináře k 35. výročí založení VÚHU, abych shrnul poznatky v oblasti technologie rozpojování nadloží a naznačil pro tuto oblast další směry výzkumu a technického rozvoje. Souhrnně jsme se touto problematikou zabývali v roce 1978 při příležitosti 25. výročí založení ústavu, kdy hlavní téma konference bylo orientováno na technologii odklizu zemin při výskytu tvrdých proplástků a zemin náchylných ke kvádrování.

Při tom hlavní těžiště zájmu bylo orientováno na řešení nadměrné kusovitosti těživa dopravovaného pásovými dopravníky. Můžeme s uspokojením konstatovat, že následně byla této problematice věnována soustředěná pozornost, a to ve 2 základních směrech:

- v rozvoji technologie trhacích prací se zvláštním zřetelem na rozpojování zpevněných poloh i na snížení fragmentace těživa, kde značný vklad přinesly práce pracovníků našeho ústavu
- ve vývoji drtičů skrývky, umísťovaných přímo na dobývacích strojích i drtičů, umísťovaných mezi rýpadlo a dálkovou pásovou dopravu. Byly zkonstruovány drtiče pro výkonnost 5000 - 10000 m³/h zásluhou vývojových pracovníků VZMA - k.p. KSK. Bylo tak možné zabezpečit tzv. dvoustupňové drcení, které přispělo k výraznému řešení problémů, spojených s nadměrnou kusovitostí těživa a přispělo ke zvýšení využití technologických celků na odklizu zemin.

Problematikou rozpojování se v minulosti teoreticky i prakticky zabývala celá řada vědeckých i technických pracovníků, kteří se snažili teoreticky postihnout a analyticky vyjádřit složitý vztah interakce rozpojovacího orgánu s rozpojovanou zeminou či hor-

ninou.

Připomeňme si některá jména dnes již málo vzpomínaná v této souvislosti - Leonardo da Vinci, inženýr W. S. Ottis Thompson, Osgood, Burton a další, kteří se zabývali praktickou konstrukcí prvních fungujících rýpadel. V teoretické oblasti řešení je nutné připomenout práce akademika V. P. Gorjačkina, který jako první analyticky zformuloval vztah pro odvození potřebné síly k rozpojování zeminy v následující podobě:

$$P = \mu \cdot G + k \cdot b \cdot c + e \cdot b \cdot c \cdot v^2,$$

kde

μ koeficient tření mezi zeminou a řezným nástrojem

G hmotnost řezného nástroje

k měrný řezný odpor (kg/cm^2)

c hloubka odřezávané třísky (cm)

b šířka odřezávané třísky (cm)

v rychlost řezného nástroje (m/s)

e koeficient zohledňující odpory vznikající na plochách řezného nástroje při odvalování odebírané třísky

Tento analytický vztah byl sice odvozen pro práci zemědělského pluhu, ale interakce mezi nástrojem a rozpojovanou zeminou je vyjádřena natolik komplexně, že naprostá většina dalších teoretických prací vycházela právě z tohoto vztahu. Jsou to zejména práce prof. Dombrovského v SSSR, prof. J. Bahre v NDR, prof. J. Pajera a inženýra Mercelliho v ČSSR, které přispěly k formulaci matematických vztahů pro stanovení řezného či rypného odporu v rozpojovacím procesu. V současné době se procesem rozpojování zabývají celé instituce - výzkumné ústavy, výzkumná pracoviště vysokých škol i Československé akademie věd.

Poznání v této oblasti dospělo k formulaci interakce mezi zemínou a rozpojovacími orgány kolesových rýpadel soustavou definovaných matematických vztahů, jak jsou uvedeny v dosud platné ČSN 27 7013. Jsou to zejména vztahy pro měrnou rypnou sílu, měrnou rozpojovací sílu, měrný rypný odpor, střední délku rypných hran a optimální poměr rozměrů třísky. Tyto vztahy jsou všeobecně známé a proto je neuvádím.

Obdobné vztahy jsou uplatněny i v ostatních zemích RVHP s tím, že se nepatrně liší ve vyjádření střední délky současně odebírané třísky a ve vyjadřování měrného rozpojovacího respektive rypného odporu.

V ČSSR a v NDR měrné hodnoty vztahujeme na jednotku délky řezné hrany, zatímco v SSSR jsou měrné hodnoty vztahovány na jednotku odebírané plochy třísky.

Souběžně s vývojem teoretického poznání vztahů v procesu rozpojování se vyvíjely i techniky zjišťování či měření rozpojovacích respektive rypných odporů. Tyto snahy se rozvíjely ve dvou základních oblastech:

- stanovit rozpojovací respektive rypný odpor měřením in situ
- stanovit měrný rozpojovací či rypný odpor rozbořem vlastností odebíraných vzorků zemin nebo hornin, případně doplněný některými laboratorními zkouškami a měřeními.

Měření in situ se orientují v podstatě na 2 základní skupiny měření:

- nepřímá měření
- přímá měření

Nepřímá měření vycházejí ze stanovení dvou základních hodnot, a to ze stanovení celkové síly na rýpání a střední délky řezných hran. Měrný rypný odpor stanovíme:

$$K_L = \frac{P_c}{L} \quad \text{KN/M}$$

kde

P_c celková síla potřebná k rypání

L střední délka řezných hran (m).

Celkovou sílu k rypání pak zjišťujeme změřením odebíraného příkonu na pohonech kola nebo měřením napětí v některém konstrukčním prvku bezprostředně ovlivňovaném rypnou silou, např. táhlo upevnění převodovky.

Pro stanovení střední délky řezných hran je nutné změřit základní parametry odebírané třísky (S a b) a pak lze střední délku řezných hran stanovit analyticky dle vztahu:

$$L = \frac{Z}{2\pi} \left[b \cdot \beta + S_{\max} (1 - \cos \beta) + \frac{S_{\max}^2}{2D} \left(\beta + \frac{\sin 2\beta}{2} \right) \right]$$

Taková měření jsou relativně jednoduchá a pohodová, i když vedle nepřesností vlastních měření jsou ovlivněna konkrétními parametry a vlastnostmi stroje, na kterém se měření provádí. Jsou to zejména rozpojovací orgány, jejich tvar, geometrie, míra opotřebení a zcela určitě i řezná rychlost, která do analytických vztahů pro výpočet nevstupuje, ale ještě v procesu rozpojování sehrává svoji významnou úlohu.

Dalším nedostatkem nepřímých metod je skutečnost, že naměřené sílové účinky nevyjadřují skutečný stav namáhání a tedy i odporů, která tato namáhání vyvolávají, ale do určité míry zrovnomění zatížení v důsledku působení značných setrvačných sil kola včetně pohonů. Naměřené a vyhodnocené výsledky však nevyjadřují extrémní hodnoty namáhání, které jsou důležité pro dimenzování rozpojovacích orgánů (zubů, korečků), ale i ostatních konstrukčních prvků nabíracího orgánu včetně ochrany proti přetížení.

Tyto nedostatky nepřímých metod vedly k hledání možností přímých měření. Takových způsobů je aplikována celá řada. Jejich praktické uplatnění při měřeních in situ je mnohonásobně náročnější. Výrazným pozitivem však je, že při uplatnění přímé metody měření na měrném zubu nebo korečku obdržíme podstatně kontrastnější

braz průběhu zatěžovacích sil, což může přispět k přesnějšímu dimenzování rozpojovacího orgánu. Uplatnění přímých metod měření však nemůže odstranit další ze základních nedostatků nepřímých metod, a sice skutečnost, že výsledky měření jsou v určité míře ovlivněny vlastnostmi stroje, na kterém se měření provádí, jak jeho kinematikou, tak jeho dynamikou.

proto ani výsledky měření rozpojovacích odporů přímým měřením nemůžou mít charakter "etalonového" měření, ani za předpokladu uplatnění typových měrných korekcí.

Společným nedostatkem přímých i nepřímých měření rozpojovacích odporů je skutečnost, že při jednotlivých měřeních se nám nedaří zabezpečovat měření při respektování podmínky, aby měření odporu proti rozpojení byla ve všech případech zabezpečována při parametrech odebírané třísky, které by odpovídaly jmenovité výkonosti stroje pro dané podmínky nasazení. Také není dodržován optimální poměr mezi hloubkou a šířkou třísky ($S : b = 1,46$), při kterém je odpor proti rozpojení minimální. S tímto poměrem odebírané třísky uvažuje vztah pro stanovení měrné rozpojovací síly, kde platí ČSN 27 7013. Tyto skutečnosti působí potíže při porovnání výsledků jednotlivých měření na jednom a téže stroji a samozřejmě i při porovnávání výsledků z měření na rozdílných strojích. Je nanejvýš žádoucí tento nedostatek při našich měřeních odstranit.

Také v souvislosti s trvalým tlakem na úspory elektrické energie bude nutné podstatně více pozornosti věnovat dodržování poměru hran odebíraných třísek, aby se alespoň přibližovaly optimálnímu poměru. Povede to ke snížení odporu proti rozpojování. Tuto skutečnost prokázala řada autorů i naše vlastní měření.

Otázkami energetické náročnosti rozpojovacího procesu se budeme muset soustavněji zabývat. K tomu by měla přispět soustavná měření a vyhodnocování energetické náročnosti prováděná odborem báňské technologie s využitím měřicí a registrační aparatury, vyvinuté ve VÚHU, která umožňuje na základě změřených hodnot stanovit

- celkový a efektivní příkon pohonů kola (KW)
- celkovou a efektivní měrnou energetickou spotřebu (kWh/m³)
- míru výkonového využití instalovaných pohonů kola (%)

Tímto zařízením je nutné osadit urychleně všechna rýpadla TC 2 a zabezpečit soustavné vyhodnocování takto získaných hodnot dle programů zpracovaných ve VÚHU.

Při stanovování odporu proti rozpojení se někteří autoři pokusili oprostít se i od vlastního stroje a technické náročnosti měření in situ. Řada odborníků a výzkumných pracovišť se pokusilo o analytickou predikci rozpojovacích odporů, vycházející z fyzikálně-mechanických parametrů nadložních zemin a rozboru vzorů získaných z vrtného průzkumu. Tak byly v různých zemích navrženy a uplatněny různé závislosti mezi vybranými fyzikálně-mechanickými parametry, případně petrografickým složením a odporem proti rozpojení:

tak např. v BLR byl navržen vztah:

$$K_F = 2,92 + 0,65 \cdot 20 \cdot \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right), \text{ kde}$$

c smyková soudržnost (MPa)

φ úhel vnitřního tření

v PLR je uplatňována empirická závislost pro jílovité zeminy:

$$K_F = 0,08 J - 0,008 W, \text{ kde}$$

J obsah jílovité frakce v zemině (%)

W vlhkost zeminy (%)

později přepracováno na vztah:

$$K_L = K_1 + K_2 F, \text{ kde:}$$

$$K_1 = 2,79 W - 0,057 W^2 - 1,24 J + 0,018 J^2 + 7,37 V - 7,424$$

$$K_2 = (0,533 W + 0,029 W^2 + 0,136 J + 0,0013 J^2 - 2,15 V + 18,3) \cdot 10^{-3}$$

V rychlost řezání

v ČSSR byla uvažována následující závislost:

$$K_f = 10 c (0,725 + 0,0252) \sigma \cos \varphi \quad (\text{MPa/cm}^2)$$

σ úhelné řezné hrany ($^\circ$).

Zhodnocením výsledků z mechaniky zemin v SHR i na jednotlivých lokalitách byla navržena k použití následující závislost pro výpočet středního rypného odporu:

$$K_{\text{stř}} = 15,85 + 148 c \quad (\text{KN/m})$$

a promítnutím rozpětí zjišťovaných hodnot smykové soudržnosti lze získat orientační představu o rozpětí rypného odporu. Do jaké míry jsou tyto výsledky hodnověrné je možné posoudit na konkrétních podmínkách lokalit Merkur a Březno:

Hloubka m	Merkur			Březno		
	c	rypný odpor N/m		c	rypný odpor N/m	
	MPa	$K_{\text{stř}}$	K_{max}	MPa	$K_{\text{stř}}$	K_{max}
0 - 10	0,05 - 0,1	23,0	30,0	0,05 - 0,10	23,0	30,0
10 - 20	0,07 - 0,35	27,0	67,0	0,10 - 0,35	32,0	67,0
20 - 30	0,12 - 0,50	34,0	89,0	0,16 - 0,30	40,0	60,0
30 - 40	0,16 - 0,55	40,0	95,0	0,23 - 0,45	50,0	82,0
40 - 50	0,20 - 0,75	45,0	125,0	0,27 - 0,60	57,0	104,0
50 - 60	0,30 - 0,70	60,0	115,0	0,35 - 0,70	69,0	115,0
60 - 70	0,325 - 0,65	64,0	110,0	0,42 - 0,75	79,0	125,0
70 - 80	0,36 - 0,70	69,0	115,0	0,38 - 0,60	73,0	104,0
80 -120				0,38 - 0,60	73,0	104,0
80 -140	0,45 - 0,85	84,0	140,0			

Vypočtené hodnoty rypného odporu uvedené v tabulce jsou v souladu s výsledky z měření rypných odporů s poměrně malými odchylkami, jak je patrné z měření rypných odporů, prováděných na lokalitách Merkur - Březno:

Hloubka m	Rypný odpor (střední) kN . m ⁻¹
0 - 20	měření neprováděno vzhledem k evidentně nízkým odporům proti rozpojení
20 - 40	26 - 56 (Březno) 27 - 52 (Merkur)
40 - 60	63 - 92 (Merkur)

Tyto výsledky vyplývají z řady měření rypných odporů v období 1972 - 1985.

I když uplatnění výše citovaného vztahu je pro prognózní účely dostatečně přesné, je nutné mít na zřeteli, že každý z výše uvedených vztahů má úzce regionální platnost, platí pouze pro tu oblast, pro kterou byl odvozen a hlavně platí pouze pro ty části nadloží, které mají monotónní vývoj nadloží. Takové jednoduché analytické vztahy není možné uplatnit pro většinu ploch v revíru SHR ani v HDB Sokolov, protože monotónní vývoj nadloží je porušen výskytem značně proměnným počtem zpevněných poloh různě plošně i vertikálně vyvinutých a hlavně pak s velice rozdílnými pevnostními charakteristikami.

Z hlediska procesu rozpojování příslušných částí nadloží sehrává výskyt těchto poloh významnou úlohu při negativním ovlivňování vlastního procesu rozpojování, dynamického namáhání rozpojovacího orgánu i celého dobývacího stroje, opotřebení zubů, korečků a dalších funkčních částí stroje a v neposlední řadě při ovlivňování výkonnosti stroje, a to velmi významným ovlivněním, které může představovat až 50 % oproti běžně dosahovaným výkonnostem v podmínkách bez výskytu.

Abychom si uvědomili významnost anomálního postavení zpevněných poloh v celkové stavbě nadloží, uveďme si některé údaje:

- běžné jílové sedimenty mají prostou pevnost v rozmezí 1,0 - 12,0 MPa

- pevné a velmi pevné polohy mají prostou pevnost v tlaku v průměru 40 - 70 MPa, přičemž byly zjištěny i extrémní hodnoty u pískovců na Lomu Most až 127 MPa a 67 MPa u karbonátových poloh na VMG
- celkový objem pevných poloh (karbonátů a pískovců) v nadloží se odhaduje na 2 - 3 % celkového objemu nadloží, avšak celkový objem nadloží, který je výskytem zpevněných poloh ovlivněn, je podstatně větší a bude se pohybovat v širokém rozmezí 10 - 20 % objemu skrývky. Je to dáno tím, že ostrá selektivní těžba pevných proplástků není báňsko-technologicky reálná a je nutné je dobývat jako součást těžené lávky.

Ve vztahu k dobytelnosti a její kategorizaci, jako jedné z podmínek pro projektování, plánování a normování výkonnosti se pokoušíme o vytvoření kategorizace dobytelnosti. Pro tyto účely jsme navrhli jednotnou klasifikaci sedimentů (JKS) a návazně pak jednotnou klasifikaci pevných poloh (JKP), které tvoří základní strukturu pro vytvoření kategorií dobytelnosti. Podrobněji budou tyto otázky rozebrány v samostatných přednáškách.

Předpokládáme, že se nám v průběhu nejbližších 2 - 3 let podaří tuto kategorizaci dobytelnosti dopracovat, ověřit a uplatnit na všech lokalitách SHR, a to pro těžební postupy do roku 1995, maximálně pak do roku 2000. Výsledkem bude objektivizace dosažitelné výkonnosti u konkrétních technologických celků a konkrétních řezech a v konkrétních částech porubních front. Souběžně s prováděním této analýzy musíme řešit komplex opatření, kterými by se negativní dopad výskytu pevných a velmi pevných poloh na výkonnost technologických celků z větší části eliminoval.

V podstatě existují dvě základní cesty řešení:

- a) v těžebních lávkách s výskytem pevných a velmi pevných poloh uplatnit trhací práce, a to ve všech podmínkách, kde pevné polohy budou zařazeny do kategorie c) d) a e). Při jednotné klasifikaci sedimentů vlastní technologie trhacích prací musí být

volena tak, aby nedocházelo k tvorbě nadměrného podílu velkých kusů, které by nebyly zvládnutelné ani disponibilními drtiči. Podrobnější rozbor možností, které k tomuto účelu nabízí technologie trhacích prací je předmětem samostatné přednášky

- b) v těžebních lávkách s výskytem pevných a velmi pevných poloh uplatnit rýpadlo s vysokou rozpojovací schopností, a to jako autonomní technologii rozpojování v lávkách s výskytem zpevněných poloh s mocností cca 20 cm a výše a s pevností v prostém tlaku 30 MPa do maximální pevnosti odpovídající konstrukci dobývacího stroje autonomní technologie. Tuto pevnost bude nutné objektivizovat ve vztahu k rypné síle rýpadla v rozpojovacím procesu. Trhací práce pak bude nadále nutno provádět při extrémních pevnostech pevných poloh.

Jednou z podmínek pro řešení technologie rozpojování těžebních lávek s výskytem pevných a velmi pevných karbonátových a pískovcových poloh a zejména pro projektování této technologie je dokonalá znalost výskytu a uložení těchto pevných poloh ve stratigrafické stavbě nadloží i znalost pevnostních charakteristik těchto poloh. V tomto směru je stávající úroveň vrtného průzkumu nedostačující, jak z hlediska zachycení pevných poloh v jednotlivých profilech vrtů, tak z hlediska stanovování pevnostních charakteristik těchto poloh. Z podrobných rozborů na jednotlivých těžebních lokalitách vyplývá, že proti skutečnosti je vrtným průzkumem zachyceno pouze 20 - 30 % zpevněných poloh (VČSA).

Tuto skutečnost bude nutné ještě podrobněji doložit konfrontací profilů z vrtného průzkumu se skutečně zastiženými polohami při postupu porubních front na jednotlivých lokalitách.

V této souvislosti musíme věnovat vlastnímu průzkumu nadloží podstatně větší pozornost než dosud, a to ve 2 směrech:

- před prováděním vrtného průzkumu věnovat daleko větší pozornost vyhodnocování vrtného profilu v nadloží z hlediska fyzikálně-mechanických vlastností nadloží vůbec a výskytu zpevněných poloh

zvláště. Důsledné uplatnění gama-gama karotáže takovou možnost poskytuje, protože je schopna se značnou přesností odlišit měrné hmotnosti zemin v profilu vrtu a karbonáty i pískovce se právě značně odlišují od svého jílovitého okolí měrnou hmotností. Dále pak platí zjištěná závislost, že čím větší měrná hmotnost, tím je i větší pevnost příslušné polohy

- soustavným uplatňováním geofyzikálních metod při zjišťování výskytu a mocnosti zpevněných poloh v dostatečném předstihu před postupem porubních front a s dostatečnou věrohodností, aby tyto zjištěné údaje mohly být ve spojení s interpretací výsledků vrtného průzkumu využity pro projektování rozpojení zpevněných poloh.

Stávající přístrojové vybavení umožňuje uplatnění následujících metod geofyzikálního průzkumu:

- a) vertikální odporové profilování
- b) odporové profilování (3 - 5 délek zapojení)
- c) dipólové elektromagnetické profilování.

Pro účinné využití těchto metod platí řada omezení, z nichž nejzávažnější jsou praktický hloubkový dosah těchto měření do 20 - 30 m, a to při splnění podmínky, že jsou značné rozdíly ve zdánlivém odporu prostředí a hledané nehomogenity a také poměr mezi mocnostmi hledaných nehomogenit ve vztahu k mocnosti nadloží.

Pro tyto účely bude nutné modernizovat vybavení naší geofyziky, a to zejména pro uplatnění seismoakustických metod, které při uplatnění nejmodernějších přístrojů umožňují podstatně zvětšit hloubkový dosah i přesnost vyhledávání zpevněných poloh.

Ve svém úvodním vystoupení jsem naznačil některé problémové oblasti, kterými by se měl náš seminář zabývat. Měl by přispět k formulaci základních cílů v této důležité oblasti báňské technologie pro oblast výzkumu i pro praktickou technickou činnost v

procesu projektování, dlouhodobého plánování výkonnosti ve složitých geologicko-technických podmínkách i pro praktickou činnost při řízení procesu rozpojování, zejména v oblastech s výskytem zpevněných poloh.

Praktickým cílem by mělo být soustavné vytváření předpokladů pro zvyšování výkonnosti a kapacitního využití základní technologie na odklizu zemin a tím přispět k omezení místu nákladovosti těžebního procesu, která je vyvolávána celkovým zhoršováním těžebních podmínek na povrchových dolech, zejména pak v SHR.

Hlavní pozornost považuji za nutné soustředit na následující problémy:

- dopracování kategorizace dobývacích podmínek lokalit SHR a HDB s využitím JKS, JKP a výsledků měření odporu proti rozpojení do takové podoby, aby mohla sloužit jako objektivní kritérium pro projektování a plánování výkonnosti
- zpracování souboru technologických opatření, která budou řešit efektivní rozpojování těžebních lávek s výskytem zpevněných poloh, kde hlavní těžiště spatřujeme ve vlastní kombinaci trhačích prací pro mocné partie velmi pevných jílovců a rozpojování těžebních lávek s výskytem pevných karbonátových a pískovcových poloh pomocí rýpadel s vysokou rozpojovací schopností
- dodržování optimálních parametrů odebíraných třísek (poměr $S : b = 1,46$), které zabezpečují minimalizaci rozpojovacího odporu a také energetickou náročnost vlastního rozpojovacího procesu
- zdokonalení metod a prostředků pro zjišťování výskytu zpevněných poloh v předpolí rozvojových lomů včetně jejich mocností i pevnostních charakteristik.