

RNDr. Martin Šípek, PK Vřesová, divize Družba

Využití injektáže při stabilizaci patní části výsypkových těles

Anwendung der Injektierung bei der Standfestigkeit des Fußteiles im Bereich einer Kippe

Im Brennstoffkombinat Vřesová (Revier Sokolov) wurde eine Betriebsprobe mit Injektierung des Fußteiles einer Kippe durchgeführt. Dabei wurde ein neues Injektierungsverfahren untersucht, wobei untraditionell eine schwere Penetrationsanlage für Instalierung von Injektierungsröhren eingesetzt wurde. Im Rahmen dieses Versuchsbetriebes wurden nachstehende Ziele verfolgt:

- in der Praxis die Anwendbarkeit dieses Injektierungsverfahrens zu erproben und mit dieser Technologie grundlegende Betriebserfahrungen zu gewinnen,
- die Zweckmäßigkeit der Injektierung für Fußteilkippe nachzuweisen.

Die Versuchsprobe kann man als erfolgreich bewerten, weil es betrieblich erprobt wurde, daß die Injektierung mit Einsatz einer Penetrationsanlage relativ eine schnelle und wirtschaftlich weniger aufwendige Lösung als Einsatz einer Bohranlage ist. Es wurde nachgewiesen, daß die Injektierung der Kippe zur Verbesserung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Lockergesteine und Liegendgebirge beiträgt und es ist möglich, sie als eine von Maßnahmen einzusetzen, die zur Verbesserung der Standsicherheit des Kippenbetriebes führt.

Utilization of injection at the stabilization of heel part of dump body

At Fuel combinate (PK) Vřesová was realized the operation test of injection of heel part of dump body. At the test it was tested new technology of injection when it was nontraditionally used the heavy penetration set at the installation of injection pipes. In the framework of the test there were followed these aims:

- to verify in practice the realizableness of this way of injection and gain the basic operation experience with this technology,
- to prove the purpose ability of the injection of heel part of dump bodies.

The operation test can be evaluated as successful because it was operationly verified that injection with utilization of penetration set is relatively quick and finantially less expensive than it would be the utilization of drilling set.

It was proved that injection of the dump contributes to the improving of physical-mechanical properties of bulk material and underlaying rocks and it can be so utilized as one of the measures leading to the improving of safety operation of dumps.

Использование инжектирования при закрепительном сооружении у подомвы корпуса отвала

В рамках Топливного комбината "Вржесова" (Сokolовский бурогольный бассейн) было проведено испытание в эксплуатации инжектирования подомвы отвального корпуса. Была испробована новая технология инжектирования с нетрадиционным использованием тяжеловесного пенетрационного агрегата при проводке инжектирующих труб.

В ходе испытания были преследованы следующие цели:

- на практике заверить осуществимость данного метода инжектирования и получить основной опыт работы этой технологии,
- доказать целесообразность инжектирования подомвы отвальных корпусов.

Испытание в эксплуатации можно характеризовать как успешное, так как было заверено, что инжектирование с использованием пенетрационного агрегата является сравнительно быстрым и менее дорогостоящим чем при использовании бурового станка.

Было доказано, что инжектирование отвала содействует улучшению физико-механических свойств насыпанного грунта и подстилающих пород и можно его следовательно использовать в качестве одного из мероприятий направленных на улучшение безопасности отвального хозяйства.

Využití injektáže při stabilizaci patní části výsypkového tělesa

Při PK Vřesová byla realizována provozní zkouška injektáže patní části výsypkového tělesa. Při zkoušce byla odzkoušena nová technologie injektáže, kdy byla netradičně využita těžká penetrační souprava při instalaci injektážních trubek. V rámci zkoušky byly sledovány tyto cíle:

- ověřit v praxi realizovatelnost tohoto způsobu injektáže a získat základní provozní zkušenosti s touto technologií,

- prokázat účelnost injektáže patní části výsypkových těles.

Provozní zkoušku lze hodnotit jako úspěšnou, neboť bylo provozně ověřeno, že injektování s využitím penetrační soupravy je relativně rychlé a finančně méně nákladné než by bylo využití vrtné soupravy.

Bylo prokázáno, že injektování výsypky přispívá ke zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností sypaniny a podložních hornin, a lze je tedy využívat jako jedno z opatření vedoucí k zlepšení bezpečného provozu výsypek.

a) Injektování patních částí výsypkových těles

Z hlediska stability výsypkového tělesa je vhodné umísťovat max. množství hmot na patu výsypky. Tento záměr však platí pouze v případě, že únosnost podložních hornin a sypaniny na bázi výsypky je ve vztahu k působícímu svislému zatížení dostatečná. V případě nedodržení této podmínky je třeba provést vhodnou sanaci paty výsypky, při níž by došlo ke zlepšení mechanických vlastností jílovité sypaniny a podložních zemín, které by se promítlo do zvýšení stability této části výsypky.

Na PK Vřesová došlo v minulosti k několika závažným haváriím výsypkových těles. Při sanaci havárie Loketské a Vintířovské výsypky byla úspěšně odzkoušena aplikace kamenných lavic, kdy byla jasně prokázána jejich účinnost při stabilizaci výsypkových těles. Tento způsob sanace je však značně nákladný a vyžaduje velké praktické zkušenosti.

Využití klasických stavebních způsobů stabilizace je vzhledem k rozměrům výsypkových těles nevhodné, neboť je opět finančně velmi nákladné.

Jako alternativní řešení, finančně únosné, ale přitom účinné, se jeví injektování patních částí výsypkových těles. Za účelem odzkoušení účinnosti tohoto způsobu sanace byla na PK Vřesová realizována provozní zkouška.

Při injektáži sypaniny a podložních zemín se principiálně jedná o umělé urychlení procesu konsolidace. Předpokládá se kombinovaný účinek injektování, kdy při injektáži dochází k odvodnění mezer a pórů a jejich vyplnění vhodnou hmotou (výplňová injektáž), vytvoření sítě umělých trhlin v okolí injektážních sond, jejich vyplnění pevným injektážním materiálem a propojení sousedních sond (klakážní injektáž). Dále dochází k vytěsňování vody ze zeminy tlakem injektážního média v klakážních trhlinách, změně konzistence, a tím k dosažení vyšší smykové pevnosti zeminy (konsolidační injektáž). Současně je možno využít pozitivní chemické reakce jílovitých minerálů s použitou stabilizační hmotou. Ke zvýšení stability přispívá také armování zeminy sloupci pevného injektážního materiálu v místech injektážních sond.

Obdobnou stabilizaci lze provést prakticky v kterékoliv části výsypkového tělesa s výskytem nebezpečných poloh nebo oblastí.

Při aplikaci tohoto způsobu stabilizace je třeba dbát na to, aby byla zachována funkce odvodňovacího systému a možnost přirozeného odvodnění výsypky.

b) Provedení provozní zkoušky

Provozní zkouška byla realizována v patní části výsypky Smolnice nad obcí Božičany. Daná lokalita byla vybrána na základě penetračních měření, jejichž výsledky potvrdily vhodnost této lokality pro odzkoušení injektování patní části výsypky. Místo provozní zkoušky bylo situováno mimo drenážní systém výsypky, aby nedošlo během injektování ke ztrátě funkčnosti tohoto systému.

Geologicko-úložní poměry byly na uvedené lokalitě následující:

- 0 - 6 m výsypka z cyprisových jílovců
- 6 - 10 m podloží - kvartér, měkké tufitické jílovce
- nad 10 m vulkanodetritické souvrství a slojové pásmo Josef

Situování injektážních sond a sond s následnou penetrací a rozměry zkušebních polí A,B jsou patrné z obr. 1.

Před realizací provozní zkoušky byla pod vedením prof. ing. J. Aldorfa, DrSc., provedena na VŠB v Ostravě série laboratorních zkoušek vhodnosti jednotlivých injektážních směsí vzhledem k vlastnostem sypaniny vyskytující se ve východní části sokolovského revíru. Na základě doporučení prof. Aldorfa byla vybrána k odzkoušení vápenno-popílková směs (pole A) a cemento-popílková směs (pole B).

Složení injektážních směsí bylo následující:

Pole A (vápenno-popílková směs)

- 80 % - dolomitický hydrát jemně mletý (Vápenice Hydčice)
- 10 % - portlandský cement tř. 325
- 10 % - popílek (elektrofiltry Tisová)

Pole B (cemento-popílková směs)

- 60 % - portlandský cement tř. 325
- max. 40 % - popílek (elektrofiltry Tisová)

Situování sond bylo u obou polí identické z důvodu, aby mohla být posouzena účinnost jednotlivých směsí.

Při realizaci provozní zkoušky byla netradičně využita těžká penetrační souprava GMS Praha, divize Tuchlovice, pomocí níž byly zatlačeny injektážní trubky o průměru 50 mm do hloubky 10,2 m (pole A), resp. 10,8 m (pole B). Doba zatlačování sondy činila cca 30 minut, což je způsob instalace oproti klasickému vrtání rychlejší a finančně méně nákladný. S ohledem na max. vtlačovací sílu soupravy (100 - 120 kN) je možno soudit, že zatlačování tímto průměrem může být použito do hloubky cca 20 - 30 m.

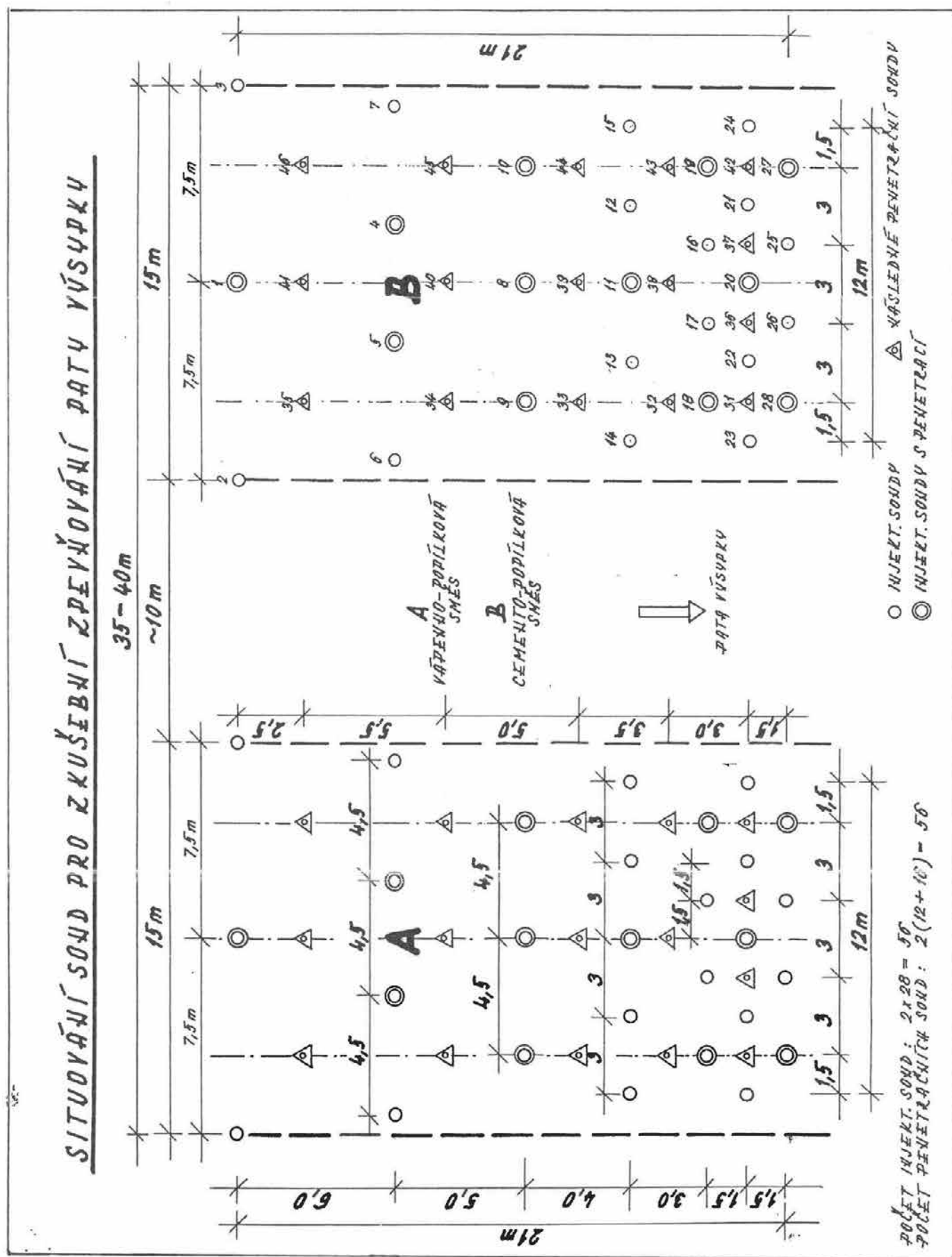
Vlastní injektáž byla realizována bez použití obturátoru. Při vzestupném způsobu injektování byla injektážní směs pod tlakem vedena vnitřkem trubek, a po zatlačení předem daného množství směsi do injektovaného prostředí byly trubky pomocí hydrauliky posunuty vzhůru.

Při délce zatlačovaných trubek 10,2 m, resp. 10,8 m a při posunu trubek vždy o 2 m po každé dílčí injektáži se v případě naší provozní zkoušky jednalo o pětifázovou injektáž, při níž bylo do každé sondy postupně zatlačeno celkově 5 m³ injektážní směsi.

Hodnoty použitého injektážního tlaku byly nižší než se předpokládalo. Běžně se pohybovaly v rozmezí 0,1 - 0,2 MPa a maximální použitý tlak dosahoval hodnot do 0,5 MPa.

Postup injektáže v každé skupině - A,B - byl veden ve směru ven z výsypky, aby voda mohla volně odtékat.

Injektážní sondy byly seskupeny do řad, jejichž vzájemná vzdálenost se postupně měnila, viz. obr. 1, aby mohla být sledována závislost velikosti výsledného zpevnění na vzdálenosti od injektážní sondy.



c) Vyhodnocení penetračního měření

V rámci vyhodnocení úspěšnosti provozní zkoušky byla před a po injektáži realizována geoelektrická měření metodou odporového profilování. Tato měření však nebyla příliš průkazná a k vyhodnocení provozní zkoušky příliš nepřispěla.

Po zatuhnutí směsi byly provedeny následné penetrační sondy. Umístění těchto sond ve zkušebních polích je patrné z obr. 1. Na základě těchto penetračních měření bylo provedeno vyhodnocení úspěšnosti provozní zkoušky.

Výsledné zpevnění bylo počítáno podle vzorce:

$$Z = \frac{a_2 - a_1}{a_1} \times 100 (\%),$$

kde a_1 - hodnota odporu penetračního hrotu na kontaktu výsypky s podložím před injektáží (injektažní sonda s penetrací)
 a_2 - hodnota odporu penetračního hrotu na kontaktu výsypky s podložím po injektáži (následná penetrační sonda)

Ze všech hodnot výsledného zpevnění, počítaných podle výše uvedeného vzorce, byl zjištěn výběrový a vážený průměr (jako váha byla vzata vzdálenost jednotlivých řad injektažních sond) reprezentující celkové zpevnění polí A a B.

	pole A	pole B
	zpevnění	
výběrový průměr	71 %	130 %
vážený průměr	59 %	138 %

Hodnoty výsledného zpevnění byly vztaženy k jednotlivým řadům injektažních sond (vzdálenost injektažních řad 6 m, 5 m, 4 m, 3 m, 1,5 m) a byl vypočten jejich průměr. Tyto hodnoty reprezentovaly výsledky zpevnění v úsecích, kde byla dána neměnná vzdálenost od injektažních sond. Podle tohoto rozdělení bylo možné si učinit představu o vhodné vzdálenosti injektažních sond pro použité injektažní směsi.

pole A - zpevnění se pohybovalo v intervalu 39 % - 115 %

pole B - zpevnění se pohybovalo v intervalu 106 % - 170 %

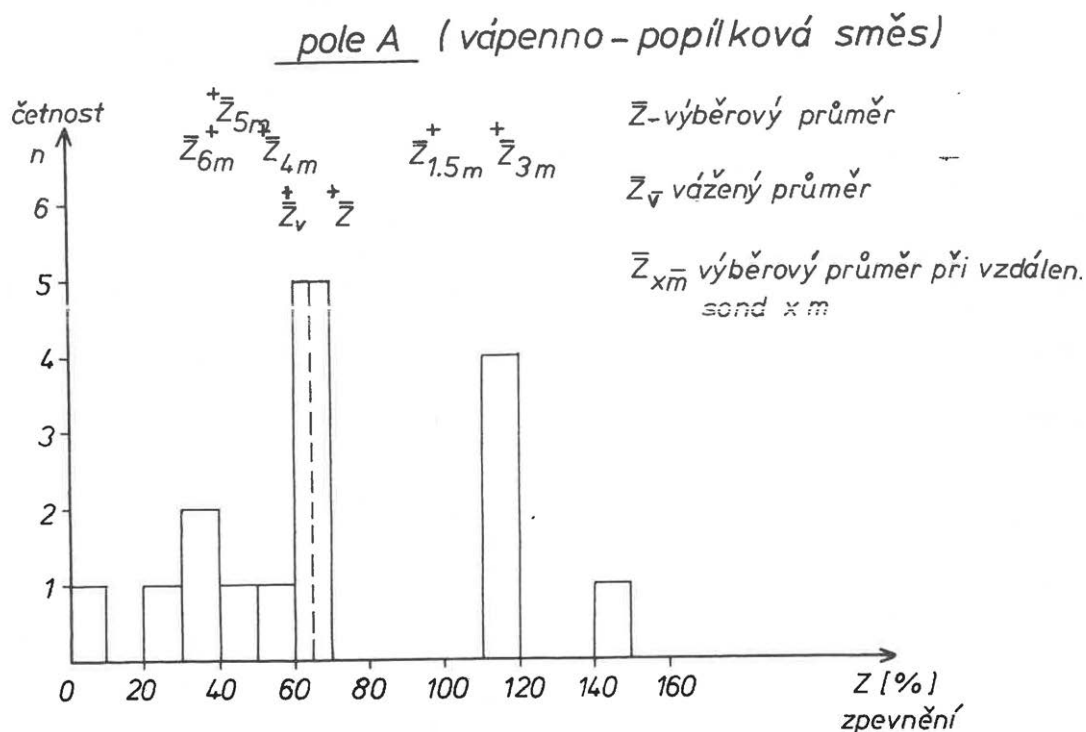
Grafické vyjádření výše uvedených výsledků zpevnění je zachyceno na obr. 2 a 3.

Zajímavé bylo rozdělit hodnoty výsledného zpevnění podle velikosti původních hodnot odporu penetračního hrotu na kontaktu výsypky před zpevňováním, resp. injektáží. Výsledkem bylo podle předpokladů zjištění, že injektování přináší výsledky především v místech, kde jsou zhoršené výchozí fyzikálně-mechanické vlastnosti jílovité sypaniny a podložních zemin.

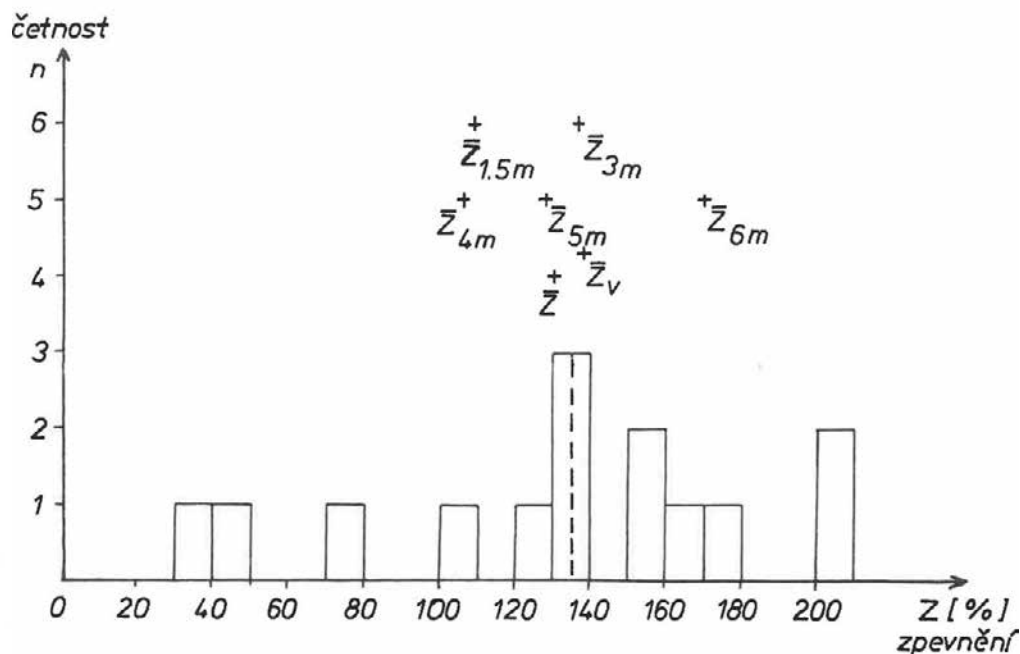
	$a_1 = 0,5 - 0,7 \text{ MPa}$	$a_1 = 0,8 - 1,0 \text{ MPa}$
zpevnění pole A	100 %	61 %
zpevnění pole B	142 %	87 %

Z výsledků injektování, viz. obr. 2 a 3, je zřejmé, že u pole A (vápenno-popílková směs) je přímá závislost velikosti výsledného zpevnění na vzdálenosti od injektážních sond. Při vzdálenosti injektážních sond 3 m dochází k výraznému zlepšení výsledků zpevnění (cca o 100 %), takže při použití této injektážní směsi lze doporučit používat právě tuto vzdálenost pro rozestup injektážních sond.

Výsledky zpevnění jsou u pole B (cemento-popílková směs) pravděpodobně podhodnoceny, jelikož dvě následné penetrační sondy nebyly dokončeny až na kontakt výsypky s podložím, neboť dosažené zpevnění ještě nad tímto kontaktem znemožňovalo pro příliš velký odpor dokončit penetraci až do požadované hloubky, a tak byly tyto sondy ze statistického zpracování vyřazeny. Při použití cemento-popílkové směsi lze volit větší vzdálenosti injektážních sond (cca 6 m), což snižuje náklady a technické nároky na provedení injektáže.



Obr. 2

pole B (cemento-popílková směs)

Obr. 3

d) Vyhodnocení provozní zkoušky odkrytím hloubkové rýhy

V rámci dalšího vyhodnocení provozní zkoušky byla obě zkušební pole protnuta rýhami o hloubce cca 5 - 6 m. Tyto hloubkové rýhy byly vedeny tak, aby procházely zhruba středem obou polí podél delších stran zkušebních polí, tj. ve směru, ve kterém se měnily vzdálenosti (rozestupy) mezi řadami injektážních sond, aby bylo možné sledovat změny kvality injektáže v závislosti na vzdálenosti od sondy.

Pole B - zde cemento-popílková směs vytvořila samostatné vcelku homogenní vrstvy o mocnosti několika centimetrů až decimetrů. Tyto vrstvy svým uložením sledovaly vrstevnatost původní sypaniny. Samotná sypanina nebyla mimo tyto vrstvy injektážního materiálu injektáží zasažena, tj. nedošlo k proinjektování sypaniny a vytvoření slepence sypaniny s injektážní směsí. Injektážní směs se separovala a podél vytvořených klakážních trhlin vytvářela vcelku homogenní cementové vrstvy značné pevnosti - pro použité rýpadlo byl občas značný problém tyto vrstvy porušit a pokračovat dále ve výkopových pracích.

V prostoru, kde byly původně umístěny injektážní sondy, se místy vytvářely z injektážní směsi valouny sloupcovitého tvaru o rozměrech až skoro do jednoho metru.

Zjištěním, že injektážní směs si vytvářela vlastní vrstvy, lze vysvětlit skutečnost, že velikost výsledného zpevnění získaná z penetračních měření nebyla závislá na vzdálenosti od injektážní sondy, neboť injektážní materiál byl schopen podél vytvořených klakážních trhlin pronikat daleko od sondy než došlo k jeho úplnému zatuhnutí.

Při penetračních měřeních, když penetrační hrot narazil na tuto pevnou vrstvu injektážní směsi, byly naměřeny značně vysoké hodnoty odporu. Dvě sondy nebyly ani dokončeny na kontakt výsypky s podložím, protože se nepodařilo tyto vrstvy penetračním hrotem prorazit, jednou došlo dokonce i k ulomení penetračního hrotu.

Pole A - při použití vápenno-popílkové směsi došlo k velmi dobrému proinjektování sypaniny, kdy injektážní směs obalila jednotlivé kusy sypaniny, zaplnila mezery mezi nimi, a tak došlo k vytvoření slepence sypanina - injektážní směs.

Při odkrytí hloubkové rýhy byly odebrány (a vyfotografovány) vzorky, které dokumentují zřetelné proinjektování sypaniny injektážní směsí podle požadavků, které byly na injektáž kladeny.

Při pozorování stěny odkryvu bylo patrné, že se pravidelně objevovaly vrstvy zřetelně proinjektované sypaniny, mezi nimiž byly vrstvy nezasazené injektáží. Z tohoto zjištění vyplývá nutnost zmenšit vzdálenosti mezi povytažením injektážních trubek při jednotlivých fázích injektování ze 2 m na 1 m, případně 0,5 m, aby došlo k souvislému proinjektování celého prostoru a nevytvářely se pouze proinjektované vrstvy. Při odkryvu byla také objasněna úzká závislost mezi rozestupy injektážních sond a dosaženým stupněm zpevnění. Při bezprostřední reakci injektážní směsi se sypaninou, kdy dochází k zaplnění mezer, nemůže injektážní směs pronikat daleko od sondy, neboť si nevytváří vlastní vrstvy, resp. cesty, podle kterých by pronikala daleko od sondy jako u pole B, ale bezprostředně se spotřebovává v okolí sondy. Proto při použití této směsi lze doporučit vzdálenost injektážních sond kolem 3 m (viz. obr. 1), neboť při této vzdálenosti dochází k výraznému nárůstu hodnot zpevnění.

e) Závěr

Provozní zkoušku injektáže patní části výsypky lze hodnotit jako úspěšnou:

- byla provozně odzkoušena technologie injektování tělesa výsypky a získány prvotní provozní zkušenosti využitelné při dalších injektážních pracích
- bylo jasně prokázáno, že při injektáži dochází ke zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností sypaniny a podložních zemin, a že tedy injektování přináší pozitivní účinek při sanaci paty výsypkového tělesa
- na PK Vřesová se počítá podle potřeby při sanaci paty výsypek nebo při výskytu nebezpečných oblastí v tělese výsypky s použitím injektáže jako s účinným opatřením pro zvýšení bezpečnosti provozu výsypek.