Václav C t i b o r, VÚHU
Bohumír H a a s, VÚHU

Použití trhací práce pro hloubení a čištění odvodňovacích příkopů odstřelem

Vedle těžebních odstřelů na pracovištích povrchových hnědouhelných lomů SHR nabývá stále většího významu používání výbušnin pro hloubení odvodňovacích kanálů a struh a pro čištění struh již zanesených. Tyto práce byly dosud prováděny dle rozsahu nebo terénních podmínek ručně, nebo využitím různých speciálních mechanismů. Využití trahcích prací pro tyto účely umožňuje značně univerzálnější a operativnější využití. V SHR byly tyto práce s úspěchem provedeny v řadě typů zemin i hornin. Těžební provozy, jmenovitě pak důl ČSA v Ervěnicích projevil největší zájem o čištění zanesených, někde i zarostlých odvodňovacích příkopů.

Potřebný účinek trhaviny v trase příkopu je dosahován náložemi ve vývrtech nebo odstřelem delšího úseku vhodně dimenzované táhlé nálože, která je uložena do souvislé rýhy. Při prvém způsobu jsou pro nálože používány běžně vyráběné průmyslové trhaviny. Jednotlivé nálože jsou propojovány bleskovicí nebo jsou rozněcovány samostatně rozbuškami. V naší republice se vývrtových náloží používá převážně ke hloubení příkopů v pevných a soudržných horninách nebo zeminách. Druhá metoda, která využívá táhlé nálože je s úspěchem používána v zeminách, zpravidla zvodnělých, při zemědělských melioracích. Obou metod lze po určitých úpravách stejně dobře použít pro čištění příkopů od nánosů. Uplatnění a využití všech výhod závisí především na komplexnosti řešení. Do těchto otázek je možno zařadit jak konstrukci a technologii výroby táhlých náloží, tak i správné dimenzování a ukládání nálože, mechanizaci uvedených prací včetně úpravy po odstřelu apod.

Uvedené metody jsou dále vyvíjeny a nacházejí stále širší uplatnění. Již dnes je však možno ukázat na některé výhody, které má použí-

vání trhavin při hloubení a čištění odvodňovacích příkopů:

a/ urychlení postupu prací

b/ možnost použití v terénech, které jsou nepřístupné pro těžké mechanismy

c/ možnost rychlého operativního zásahu při odvádění jarních vod a hloubení odtokových nebo provizorních kanálů.

Proti mechanickému nebo ručnímu hloubení je velkou výhodou při použití trhavin větší rychlost postupu prací. Hloubení nebo čištění příkopů se provádí v kratších lhůtách a s menším počtem pracovních sil. Pro široké a hospodářsky významné uplatnění trhavin bylo nutno hledat obecné zákonitosti působení výbuchu trhavin na zeminy a vypracovat vývojově obecně použitelné pracovní postupy.

Význam parametrů zemin pro hloubení příkopů trhavinami

Z obecně známých zákonitostí teorie rozpojování výbuchem vyplývá zásadní důležitost parametrů rozpojovaného materiálu. Charakteristika šíření vln napětí v zeminách je však mnohem složitější, než u homogennějších materiálů, jako např. u hornin. Je to dáno fyzikální mnohotvárností tohoto prostředí. Zeminy všeobecně jsou třísložkové systémy, složené z pevných nerostných součástí, vody a vzduchu s proměnlivým podílem všech těchto tří základních komponent. Povaha a způsob šíření vln napětí v zeminách jsou výrazně závislé na vzájemném poměru tří základních složek, zejména pak na obsahu vlhkosti. Výrazný vliv vlhkosti je tak zásadní, že z hlediska šíření vln napětí bývají zeminy děleny na nasycené vodou a nenasycené vodou. Toto rozdělení je sice nepřesné, nebo lépe řečeno je obtížné vést přesnou hranici mezi oběma kategoriemi, ale má své dobré kvalitativní zdůvodnění: všeobecně se totiž přimyká charakteristika zemin nasycených vodou k samotné vodě, zatímco zeminy nenasycené vodou se chovají odlišně a vlny napětí procházející jimi jsou velmi intenzivně tlumeny. Je tedy zřejmé, že s rostoucím obsahem vzduchu a s klesajícím obsahem vody parametry maximálního napětí výrazně klesají. Při posouzení vhodnosti té které metody hloubení příko-

pů je proto potřeba brát v úvahu nejen specifickou váhu zeminy, ale i objemovou váhu, pórovitost, vlhkost a úhel vnitřního tření.

Působení výbuchu trhaviny na zeminu

Mechanismus působení výbuchu trhaviny na okolní prostředí je v posledních letech předmětem rozsáhlých výzkumů. Nejlépe je propracována teorie rozpojování výbušninami pevných hornin. Aplikace této teorie i na zeminy o větší plasticitě a nižší soudržnosti dosud není dořešena. Důvody jsou jednak rázu praktického, protože oblast trhacích prací v pevných horninách při těžbě průmyslových nerostů soustřeďuje hlavní zájem výzkumu, jednak rázu zásadního, protože studium účinku výbuchu a jeho fyzikálně matematická interpretace je v tomto případě ještě obtížnější.

Pro zjednodušení si lze představit, že působení výbuchu trhaviny v zemině je rozloženo na dvě fáze. V prvé fázi vzniká v bezprostředním okolí detonující nálože dutina a současně se vytváří vlna napětí, která po dostižení volného povrchu se odráží s obrácenou fází, takže způsobuje rozrušení materiálu nad náloží. Zemina se začíná pohybovat vertikálním směrem. V této fázi odevzdávají výbuchové zplodiny zemině podstatnou část energie. Doba trvání prvé fáze je závislá i na hloubce uložení nálože; tlak výbuchových zplodin musí být větší než statický tlak obklopujícího prostředí.

Ve druhé fázi pokračují zplodiny v expanzi, přičemž předávají pohybující se zemině další část své energie. Předpokládáme, že kinetická energie výbuchem uvolněné zeminy je určována jak energií akumulovanou v tlakové vlně, tak i energií předávanou expandujícími zplodinami. Energetická účinnost procesu závisí i na hloubce uložení nálože. S rostoucí hloubkou uložení se zvyšuje podíl energie akumulované v plynných zplodinách a snižuje se podíl energie připadající na vytvoření rázové vlny. S klesající hloubkou uložení však roste podíl energie připadající na rozhoz zeminy a vznik tlakové vlny v atmosféře.

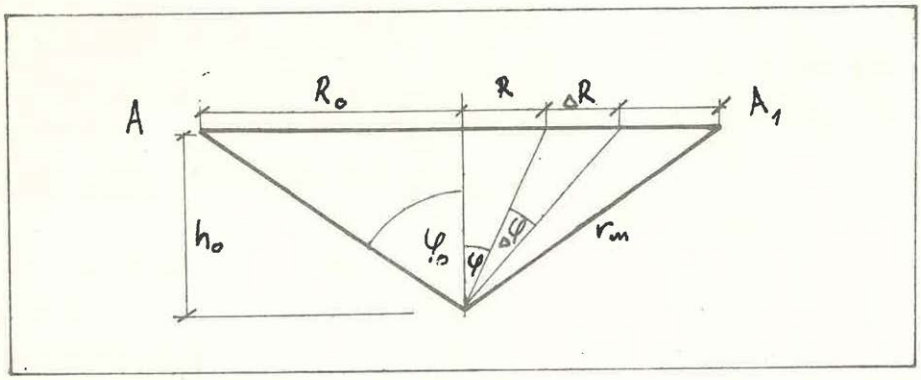
Výpočet účinku výbuchu táhlé nálože

Hledáme vztah mezi hloubkou uložení nálože, úhlem stěn výtrže a energií trhaviny pro případ, že nálož je umístěna tak hluboko, aby vznikla výtrž. Působením soustředěné nálože vzniká kuželová výtrž, působením táhlé nálože vzniká výtrž tvaru trojbokého hranolu. Nálož je umístěna v hloubce h_o, výbuchem vzniká kuželová výtrž o hmotě M s poloměrem R_o a úhlem stěn φ_o (viz obr.). Při řešení tohoto problému vycházíme z údajů a výpočetní metodiky Pokrovského.

Energie potřebná k přemístění částí hmoty dM z hloubky h do roviny $A-A_1$ (viz obr.) je určena výrazem:

$$dE_g = \gamma (h - h_o)\, dM_h = 2\pi \gamma g \frac{\sin\varphi \, d\varphi}{\cos^3 \varphi} (h_o - h)\, h^2\, dh \qquad /1/$$

kde g je gravitační zrychlení, γ hutnota, význam ostatních symbolů je zřejmý z obrázku.



Integrujeme rovnici /1/ v mezích od h_o do nuly a od nuly do φ_o za těchto předpokladů: energie výbuchu se šíří izoentropicky, ztráty energie na rozrušení zeminy jsou zanedbatelné. Přemístění zeminy nastane při podmínce, že energie potřebná na pouhé přemístění z prostoru výtrže /E_g/ je rovna nebo menší než celková energie trhaviny E_v. (Nutno přihlédnout k tomu, že z celkového energetického potenciálu trhaviny lze prakticky využít jen malou část, obvykle jen asi 10 %). Pro tento případ platí:

$$\frac{\pi \gamma g h_o^4}{3 \cos^3 \varphi} = E_v \qquad /2/$$

$$\cos \varphi = \cos \varphi_o \geq \left[\frac{\pi \gamma g h_o^4}{3 E_v} \right]^{\frac{1}{3}} \qquad /3/$$

Uvedené rovnice definují základní vztah mezi energií výbušniny, úhlem stěn výtrže a hloubkou uložení nálože.

S ohledem na nevratné ztráty, tj. především na rozrušení zeminy, budou hodnoty h_o a φ_o ve skutečnosti menší, než takto vypočtené. Prakticky bude také energie výbušniny E_v značně větší, než minimální energie E_g, protože musí dojít i k odhozu vytržené zeminy.

Vztah obou veličin lze odvodit na základě zákona o zachování energie:

$$\frac{1}{2} a^2 \, dM + dE_g = dE_v ,$$

kde a je rychlost částice hmoty pohybující se z výtrže pod úhlem od normály.

Po integraci a dosazení výrazu pro $\cos \varphi_o$ z rovnice /3/ vypočteme, že

$$\frac{E_g}{E_v} = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi \gamma g h_o^4}{3 E_v} \right)^{\frac{1}{3}} \left[1 + \left(\frac{\pi \gamma g h_o^4}{3 E_v} \right) \right]^{\frac{1}{3}} =$$

$$= \frac{1}{2} \cos \varphi_o (1 + \cos \varphi_o) \qquad /4/$$

Při maximu výbuchem uvolněné zeminy bude hodnota tohoto podílu maximální. Lze vypočítat, že tento případ nastane, když

$$\frac{E_g}{E_v} = 0{,}1 \qquad \cos \varphi_o = 0{,}58 \qquad \frac{R_o}{h_o} = 1{,}4$$

Teoreticky by měla být energie trhaviny nejlépe využita v případě, že $tg\, \varphi_o = 1{,}4$, tedy při sklonu svahů kanálu 1: 1,4.

Při odvozování výše uvedených vztahů nebylo počítáno s podílem energie rázové vlny na vzniku výtrže. V uvažovaném případě, kdy je náloží uložena v takové hloubce, aby vznikla výtrž, se odraz rázové vlny od volného povrchu projeví zvětšením úhlu φ_o na φ_{om} a zvětšením poloměru výtrže R_o na R_{om}.

V případě, že $h_o \leqq h_{om} \leqq R_{om}$ a $\varphi_{om} > \varphi_o$, je možné úhel stěny výtrže počítat ze vztahu /3/ a poloměr výtrže ze vztahu

$$R_o = h_o\, tg\, \varphi_o$$

Protože vlastnosti zeminy mohou ovlivnit odraz a útlum rázových vln tak, že v určitém případě může být R_o větší než R_{om} a φ_o větší než φ_{om}, byl pro tento případ odvozen vztah:

$$\cos \varphi_{om} = \frac{h_o}{r_v} \left(\frac{\gamma}{\rho_o A_1} \right)^{\frac{1}{3}}, \qquad /5/$$

kde ρ_o je hutnota trhaviny, A_1 konstanta charakterizující vlastnosti zeminy a r_v poloměr nálože trhaviny.

O tom, který případ nastane, lze rozhodnout podle hodnoty bezrozměrného kriteria, určeného vztahem:

$$\eta \varphi_o = \frac{\cos^3 \varphi_o}{\cos^3 \varphi_{om}} = \frac{A_1\, g\, h_o}{4\, Q} \qquad /6/$$

Při $\eta \varphi_o \leq 1$ je $\varphi_{om} < \varphi_o$ a $R_o > R_{om}$, pak použijeme pro výpočet úhlu φ_o rovnici /5/.

Na základě těchto vztahů je možné určit závislost mezi objemem výtrže, tedy množstvím uvolněné zeminy, vahou trhaviny a jejím výbuchovým teplem. Můžeme určit i optimální hloubku, při které je množství uvolněné zeminy maximální.

V případě, že $\eta \varphi_o > 1$ platí:

$$M = \frac{\pi}{3} \gamma h_o^3 \cdot tg^2 \varphi_o = \frac{\pi}{3} \gamma h_o^4 \left[\left(\frac{3 E_v}{\pi \gamma g h_o^4} \right)^{\frac{2}{3}} - 1 \right] \qquad /7/$$

Maximální výtrže bude dosaženo při sklonu stěn $\varphi_o = 70^o$.

V případě, že $\eta \varphi_o < 1$ bude

$$M = \frac{\pi}{3} \gamma R_{om}^2 \; h_o \left(1 - \frac{h_o^2}{R_{om}^2}\right) \qquad /8/$$

Pro optimální množství uvolněné a odhozené zeminy platí v tomto případě vztah:

$$M' = \frac{2\pi}{3} (h_o')^3 \qquad /9/$$

kde h_o' je optimální hloubka uložení nálože.

Optimální úhel sklonu stěny výtrže se pohybuje v závislosti na vlastnostech zeminy mezi 55° až 70°. Běžně je u melioračních kanálů požadován sklon stěn 1:1,5 až 1:2,5.

Pokusné odstřely táhlými náložemi

Pro ověření správnosti teoretických závěrů i údajů z dostupné literatury bylo provedeno několik pokusných odstřelů, zaměřených na žádost těžebního závodu (VČSA) na čištění, event. prohlubování odvodňovacích příkopů na území závodu. Jednalo se v tomto případě o silně zvodnělé zeminy, případně bažinatý terén.

Pro pokusné odstřely byby vybrány vedením dolu Čs. armády odvod-

ňovací příkopy podél pevných kolejí v prostoru hradla A 10 v úseku cca 150 m a odvodňovací příkop v terénu v prostoru hradla A 6 na úseku cca 300 bm.

Odvodňovací příkopy u hradla A 10 přiléhají oboustranně bezprostředně ke štěrkovému loži kolejí. Protože na uvedené trati je elektrická trakce, je napájecí vedení trolejí, troleje samotné i elektrické zabezpečovací zařízení trati v dosahu účinků trhací práce, zejména pak rozletu materiálu. Příkopy byly před použitím trhací práce zcela zaneseny hlinitým materiálem, při čemž odváděná povrchová voda stékala po povrchu nánosu. Požadavkem závodu bylo trhací prací vytvořit příkop o hloubce 40 - 50 cm, při čemž nesměla dojít k poškození elektrického zařízení trati.

Jelikož nebyla k dispozici speciálně upravená trhavina ve formě táhlé nálože (Semtinit 40 TV), byla vzhledem k tomu, že šlo o uložení trhaviny pod hladinou vody, použita běžná plastická průmyslová trhavina Perunit 20 v kombinaci s bleskovicí NP-5. Náložky o jednotkové váze 200 g, event. 150 g byly k bleskovici připevněny textilní lepicí páskou a sice tak, že jednotlivé náložky byly vzájemně vzdáleny 20 cm. Koncentrace trhavin tedy byla podle jednotkové váhy použitých náložek 0,6 kg/bm, resp. 0,45 kg/bm. Takto upravená táhlá nálož v délce 50 m (svitek bleskovice) byla pak uložena do rýhy o hloubce cca 30 cm předem ručně vyhloubené v ose zaneseného odvodňovacího příkopu. Nálož pak byla odpálena rozbuškou AL 8, iniciovanou zápalnicí. Hloubkový účinek nálože 0,6 kg/bm byl cca 0,8 m, šířka příkopu v úrovni terénu cca 1 m. Jelikož pro zadaný účel bohatě postačoval menší průřez příkopu, byla nálož snížena použitím náložek á 150 g na 0,45 kg/bm. Za tohoto uspořádání nálože byl výsledný profil příkopu průměrně 0,5 m hluboký a 0,8 m široký v úrovni terénu.

Druhým místem aplikace táhlé nálože byl zanesený a zarostlý odvodňovací příkop v prostoru hradla A 6 na katastru obce Dolní Jiřetín. Příkop zde slouží k odvodnění terénu, kterým prochází skrývkové koleje dolu Čs.armády, umístěné na náspu. Materiál nánosu byl převážně písčitý, zpevněný kořeny rákosí a vodních travin. Pro zajištění možnosti u-

ložení trhavin bylo nutno porosty rákosí odstranit a ručně vyhloubit v nánosu rýhu o hloubce cca 20 - 30 cm. Do této rýhy pak byla uložena táhlá nálož. Funkci ucpávky zde opět plnila voda. S ohledem na značně pevnější materiál nánosu byla po celé délce cca 300 m používána nálož 0,6 kg/bm. Táhlá nálož byla stejně jako v prvém případě předem připravena upevněním 200 g náložek Perunitu 20 na bleskovici NP-5 a odpalována po 50 metrových úsecích rozbuškou AL 8 v kombinaci se zápalnicí. Výsledky odpalu zde byly ve srovnání s bahnitým materiálem nánosu u hradla A 10 poněkud horší. Hloubkový účinek nálože zde byl cca 50-60cm, šířka příkopu v úrovni terénu 60 - 80 cm.

Zhodnocení pokusných odstřelů

I když rozsah pokusných prací byl omezen pouze na zmíněné dva případy, lze po vyhodnocení dosažených výsledků vyslovit několik zásad, důležitých pro zdárnou aplikaci trhací práce táhlými náložemi při čištění zanesených odvodňovacích příkopů:

a) Popsanou technologii lze s výhodou použít ve zvodnělých materiálech hlinitého až písčitohlinitého charakteru.
b) Pro uložení nálože je potřeba předem vyhloubit v ose nánosu rýhu minimálně 30 cm hlubokou. Na její hloubce do značné míry závisí i hloubkový dosah účinku výbuchu táhlé nálože.
c) Táhlou nálož je nutné pokud možno vždy utěsnit. S výhodou lze využít vody. Neutěsněná nálož má minimální pracovní efekt a navíc vytváří vzdušnou tlakovou vlnu o značné energii, což může mít za následek škody na blízkých stavebních objektech či zařízeních.
d) Jako trhaviny lze dobře použít běžných průmyslových trhavin typu Perunit 20 (nebo Permonex V 19 v suchém prostředí). Náložky je potřeba k bleskovici dobře připevnit, aby po celé délce těsně přiléhaly k bleskovici. Dobře se osvědčila textilní lepící páska.
e) Pro běžné případy čištění zanesených příkopů by se koncentrace trhaviny měla pohybovat v intervalu 0,4 - 0,6 kg/bm táhlé nálože.

Hloubení příkopů v pevných zeminách a horninách odstřelem náloží ve vrtech

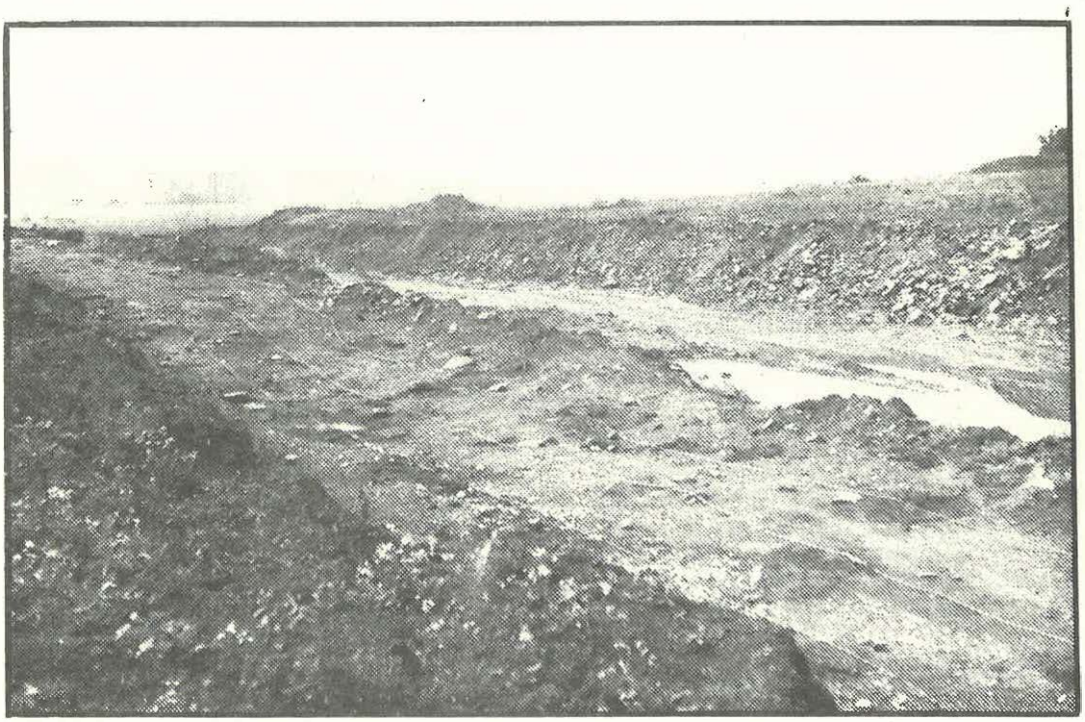
V pevných soudržných zeminách a horninách je použití táhlé nálože pro hloubení příkopů méně vhodné pro potíže s vytvořením rýhy pro uložení táhlé nálože. Proto se v těchto terénech v praxi téměř výhradně používá náloží, uložených ve vertikálních vrtech. Jejich průměr se podle žádané hloubky příkopu pohybuje v intervalu asi 60 - 150 mm. Vrty jsou organizovány v řadách, vedených paralelně s osou příkopu. Počet řad je odvislý od šířky kanálu. Další potřebné parametry pro běžně používané hloubky jsou uvedeny v následující tabulce:

Hloubka příkopu	Ø šířka v úrovni terénu	hloubka vrtů	počet řad	Rozteč řad	Rozteč vrtů v řadě
1 m	1,5 m	0,8 m	1	-	0,5
1	2	0,8	2	0,5	0,75
1	2,5	0,8	2	0,8	0,6
1	3	0,8	3	0,75	0,75
1	3,5	0,8	3	0,75	0,65
1	4	0,8	4	0,8	0,8
1,4	1,5	1,2	1	-	0,6
1,4	2	1,2	2	0,5	0,85
1,4	2,5	1,2	2	0,8	0,75
1,4	3	1,2	2	0,85	0,75
1,4	3,5	1,2	3	0,85	0,75
1,4	4	1,2	3	0,9	0,7
1,8	1,5	1,6	1	-	0,75
1,8	2	1,6	1	-	0,6
1,8	2,5	1,6	2	0,8	0,9
1,8	3	1,6	2	0,85	0,75
1,8	3,5	1,6	3	0,85	0,85
1,8	4	1,6	3	0,9	0,8

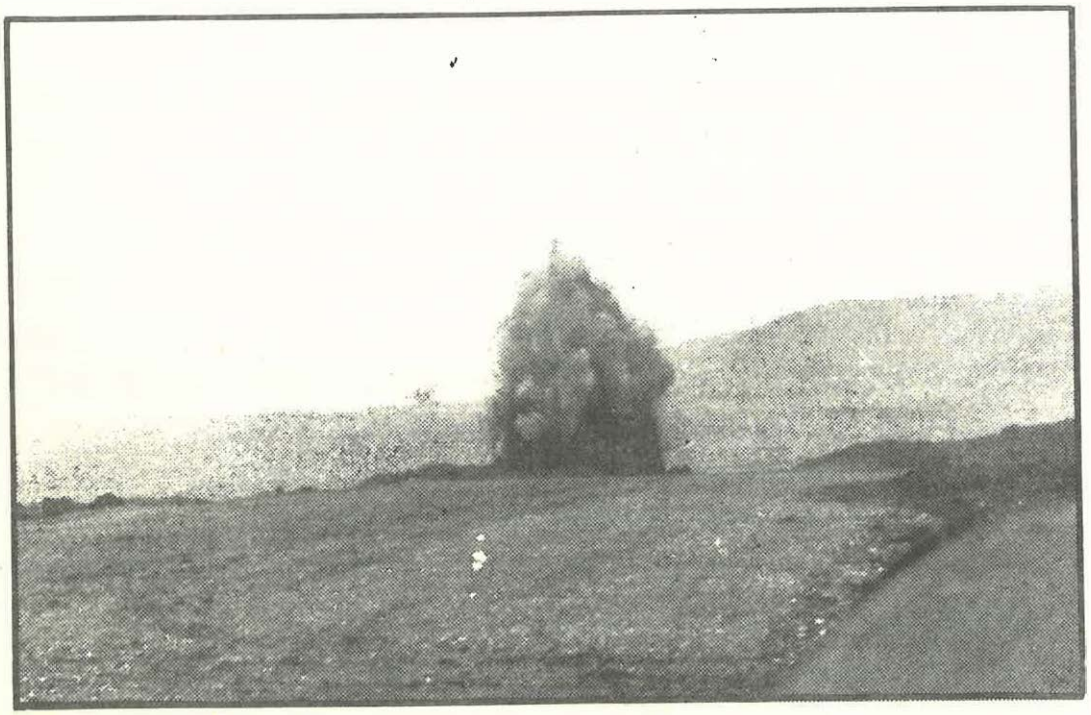
Popsaným způsobem jsme provedli odstřel zářezu pro silniční těleso a příkopů pro uložení kanalizačního potrubí při výstavbě silniční spojky Chánov - Velebudice (viz foto). Trasa spojky zde prochází terénem, kde již 0,5 m pod povrchem začíná čedičový masiv. Hloubka vrtů o průměru 75 mm činila u zářezu 1,5 - 2 m a u kanalizačního výkopu cca 2,5 - 3 m (podle sklonu a členitosti terénu). Vrty byly provedeny pneumatickou příklepnou vrtačkou GB 80. K odstřelu byla použita trhavina Perunit 20 a Permonex V 19 v náložkách, iniciovaná elektrickými rozbuškami DEM. Celkem bylo takto trhacími pracemi vyhloubeno s dobrým výsledkem cca 300 m silničního zářezu a cca 500 m kanalizačního výkopu.

Závěr

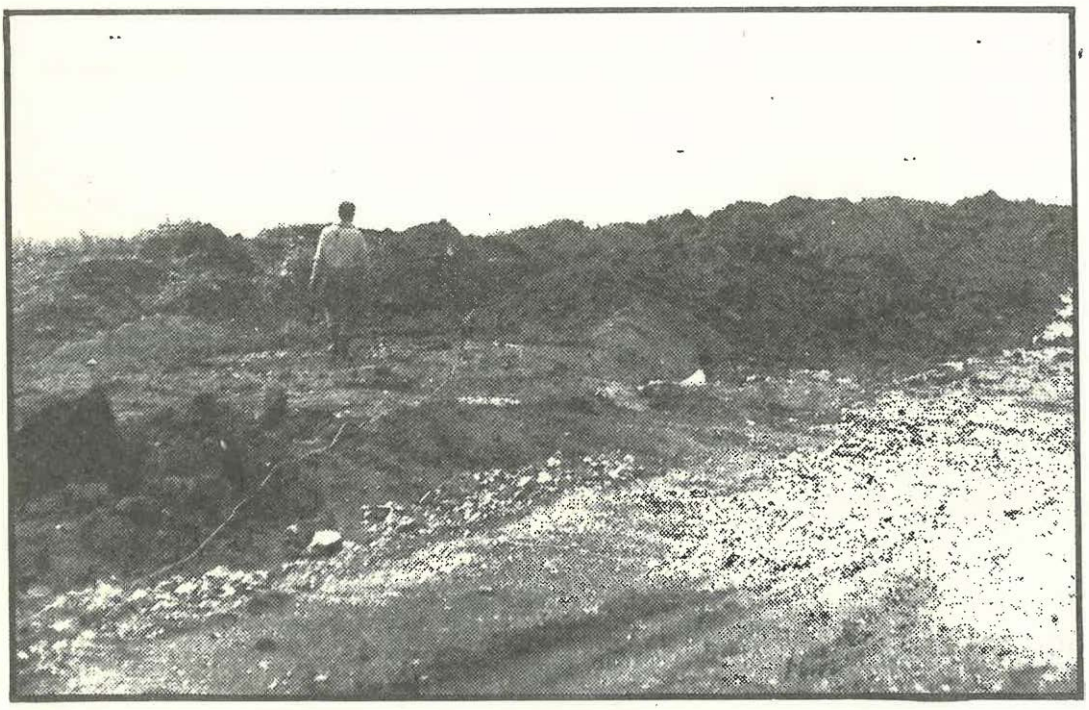
Používání trhavin pro hloubení nebo čištění odvodňovacích kanálů nachází ve stavebnictví, zemědělství a lesnictví stále většího uplatnění. V povrchovém hnědouhelném hornictví byly tyto práce s úspěchem uplatněny na dole Čs. armády v Ervěnicích při čištění odvodňovacích struh.



Obr. 1 - Situace před odstřelem rýhy na staveništi silnice Velebudice - Chánov



Obr. 2 - Odstřel rýhy



Obr. 3 - Odstřelem vytvořená rýha