

**POZNATKY Z ŘEŠENÍ PROJEKTU NAVRŽENÍ NOVÉHO TYPU
UZAVÍRACÍCH HRÁZÍ Z HLEDISKA KONSTRUKCE A POUŽITÝCH
MATERIÁLŮ, BEZPEČNOSTI PRACOVNÍKŮ V HLUBINNÝCH DOLECH
A V PODMÍNKÁCH PODZEMNÍHO STAVITELSTVÍ**

Anotace :

Projekt řeší použití nových rychle tuhoucích hmot pro stavbu výbuchuvzdorných uzavíracích hrází jednak z hlediska teoretického matematického modelování (zeštíhlení hrází na základě kvalitativních mechanických vlastností), tak i praktickým odzkoušením technologie stavby hrází z těchto hmot s aplikací lehkých peření při následném zatížení dynamickým tlakem jednoho MPa.

Návrhy výstupů zásadně snižují dopravované množství materiálu a časovou náročnost stavby, což se příznivě projevuje mj. ve snížení rizika pobytu záchranářů v ohroženém prostoru. Nové materiály mají použití i v podzemním stavitelství.

Abstract :

The project solves the use of new high-early-strength substances for construction of anti-explosive closing dams from the viewpoint of theoretical mathematic modelling (making the dams thinner on the basis of qualitative mechanical properties), so as by means of a practical testing of the technology concerning the construction of the dams from these substances with an application of light supporting constructions while subsequently loaded by a dynamic pressure of one MPa.

Output proposals essentially reduce the transported amount of material and construction demand on time, which favourably manifests i.a. in reduction of risks of rescue workers staying in an endangered area. New materials can be used also in underground engineering.

Úvod

Jedinou u nás schválenou technologií s použitím rychle tuhnutí hmoty pro stavbu výbuchuvzdorných uzavíracích hrází (dále jen VVUH) je v současné době aplikace sádry s proměnlivým počátkem doby tuhnutí a určenou minimální pevností v tlaku dle způsobu dopravy této sádry (rmutu) do prostoru mezi dvojicí klasických (těžkých) opěrných peření.

Technologie stavby sádrových hrází byla na Pokusných štolách Štramberk odzkoušena v letech 1963 až 1964, v roce 1965 byla provedena první aplikace v OKD na Dole Dukla v „mírových“ podmínkách a v roce 1966 byly sádrové hráze poprvé použity při havarijním zásahu na Dole Zárubek. Sádrové VVUH se od té doby staly neodmyslitelnou technologií havarijního, ale i nehavarijního uzavírání důlních děl v uhelném hornictví. Počty staveb plavených a sádrových uzavíracích hrází v OKD v letech 2001 až 2005 jsou shrnuty v tabulce 1.

OKD	VVUH				
	Plavené popílkové	Sádrové nehavarijní	Sádrové havarijní	Sádrové celkem	Spotřeba sádry [kt]
2001	140	75	21	96	3,6
2002	110	80	17	97	3,9
2003	191	80	20	100	4,2
2004	190	59	20	79	3,5
2005	158	88	11	99	4,4
Celkem	789	282	89	471	19,6

Tabulka č.1 Počty uzavíracích hrází v OKD

Nevýhody staveb sádrových VVUH, - tj. především velký objem materiálu pro dopravu, stavbu i likvidaci, technologie těžkých peření, délky průchozích armatur, nedokonalá vazba sádry s okolní horninou, netěsnosti narůstající s časem, nedokonalé ztuhnutí (plasticita) materiálu a obtížná likvidace - vedou v současnosti k hledání nových rychletuhnoucích materiálů pro navrzení nového typu uzavíracích hrází z hlediska konstrukce a použitých materiálů.

Výchozí analýzy a vstupní podmínky

Po komplexní analýze poznatků ze staveb VVUH včetně havarijních uzavíracích hrází bylo provedeno posouzení stávajících stavebních a těsnících materiálů používaných v podzemí ve vazbě na strojní zařízení (čerpadla, směšovací a čerpací agregáty) na zpracování a hydraulickou dopravu stavebních směsí.

Nové rychletuhnoucí hmoty pro stavbu VVUH v báňské technologii, musí být posouzeny podle zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů a nařízení vlády. Vedle posouzení shody výrobků je, mimo jiné, součástí zákona č. 22/1997 Sb., také certifikace, kterou se v rámci zákona rozumí činnost nezávislé autorizované osoby, která vydáním certifikátu osvědčí, že výrobek nebo činnosti s výrobkem související jsou v souladu s technickými požadavky na výrobky (Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky).

Na základě stanovených podmínek a po vyhodnocení laboratorních zkoušek skutečných materiálů byly vytipovány pro zkoušky havarijních hrází dva materiály, a to Tekblend v modifikaci Tb-P11-1 a Jetblend v modifikaci Jb-P31-1; obě tyto rychletuhnoucí hmoty plně odpovídaly stanoveným požadavkům kromě certifikace. Třetí materiál Izolitex C vykazoval nižší hodnoty oproti stanoveným, avšak byl velmi zajímavý z hlediska napěnění vytvrzené hmoty a byl již certifikovaný. Modifikovaný materiál Tb-P11-1 byl v průběhu řešení certifikován s obchodním názvem Tekblend H.

Teoretická část

Návrh tloušťky hrází vychází jednak z analýzy výsledků provedených parametrických modelových výpočtů a dále z výsledků laboratorních zkoušek, provedených v laboratoři stavebních hmot FAST VŠB-TUO. Prostorová modelová dynamická analýza napětíodeformačního stavu hrází byla realizována pomocí dynamického modulu programového systému CESAR-LCPC využívající metodu konečných prvků.

Výchozí matematický model byl kalibrován z hlediska tuhosti materiálu hráze dle výsledků realizovaného monitoringu posunů na vzdušné straně hráze při zkušebních odstřelech in – situ realizovaných ve zkušební štole Štramberk. Na základě

monitorovaného časového vývoje deformační odezvy tělesa hráze byla rovněž provedena dílčí inverzní analýza pro stanovení tlumících charakteristik materiálu hráze.

Geometrie analyzované hráze obloukového příčného průřezu se zářezem po celém obvodu je uvedena na obrázku č.1. V modelu byly zohledněny dva vyztužené průlezné otvory o průměru 600 resp. 800 mm, jejichž středy jsou umístěny ve vzdálenosti 400 až 800 mm od spodní hranice hráze s meziotvorovým pilířkem o šířce ve velikosti průměru otvorů (600 a 800 mm).

Modelová analýza byla provedena za předpokladu izotropního prostředí a pružného materiálového modelu. Celkově byl návrh mocnosti hráze proveden pro tři typy materiálů s tržními názvy Tekblend, Jetblend a IzoliteX. Nejproblematičtějším vstupním parametrem se ukázalo stanovení modulu pružnosti materiálu hráze při dynamickém namáhání. Tento parametr nebyl laboratorně stanoven zcela jednoznačně, výsledky různých laboratorních metod se dosti podstatně lišily. Byla tedy přijata koncepce stanovení tohoto modulu pružnosti na základě kalibrace modelu, založené na srovnání posunů získaných modelem a posunů na vzdušné straně hráze naměřených při experimentálních odstřelech.

Provedenou upřesňování kalibrací modelu po třetím experimentálním odstřelu byl tedy stanoven modul pružnosti materiálu Tekblend $E_b=530$ MPa, který velmi dobře koresponduje s hodnotou získanou při dynamickém zatížení vzorků. Lutnové průlezy lokalizované v tělese hráze byly ocelové. Parametry analyzovaných materiálů hráze jsou uvedeny v tabulce č. 2.

	objemová tíha [kN/m ³]	modul pružnosti při dynamickém zatěžování [Mpa]	Poissonovo číslo	tlaková pevnost po 8 hodinách tvrdnutí [Mpa]	tahová pevnost po 8 hodinách tvrdnutí [Mpa]
materiál hráze	16	530	0.25	Tekblend:8.9	Tekblend:2.08
				Jetblend: 6.56	Jetblend:1.65
				IzoliteX 3.67	IzoliteX:1.1

Tab. č.2 Základní charakteristiky analyzovaných materiálů hráze

Charakteristiky dynamického zatížení vycházejí z podkladů dodaných firmou VVUÚ a.s.. - maximální hodnota zatížení odpovídá hodnotě 1.1 MPa (obr.2).

Vyhodnocení výsledků modelování ukázalo, že rozhodujícím kritériem dimenzování mocnosti hráze z hlediska její vnitřní stability je kritérium tahových napětí na vzdušné straně hráze. Z hlediska vnější stability hráze byl pak dále posuzován způsob uchycení hráze v okolním horninovém prostředí (zásek, kotvení), a to s ohledem na velikosti smykových napětí vznikajících na kontaktu tělesa hráze s okolním prostředím.

Na základě komplexního vyhodnocení modelových výpočtů a s využitím regresní analýzy pak byla stanovena výsledná regresní funkce (1) pro požadovanou tloušťku hráze v závislosti na tahové pevnosti materiálu hráze a na důlním profilu, v němž je hráz budována. Byly rovněž zkonstruovány návrhové grafy pro stanovení tloušťky tělesa hráze v profilech 00-0-10 až 00-0-16 pro materiál Tekblend H a IZOLITEX C: Jeden ze stanovených návrhových grafů pro materiál Tekblendu je uveden na následujícím obrázku č. 3.

$$l = \frac{0,8 \ln (PROFIL) + 0,7947 - \ln R_{TAH}}{0,0973 \ln (PROFIL) + 1,2408} \quad (1)$$

Realizovaná dynamická modelová analýza přispěla k objektivnější představě o chování tělesa bezpečnostní hráze v průběhu referenčního dynamického zatížení s maximální amplitudou 1.1 MPa. Výsledky modelování a jejich komparace s dostupnými výsledky měření a dalšími reálně pozorovanými projevy odezvy experimentálních hrází dokumentují dobrou vypovídací schopnost numerického modelu a jeho použitelnost pro formulovaná doporučení dimenzování výbuchuvzdorných uzavíracích hrází.

Experimentální část

Praktické velkorozměrové zkoušky všech pěti experimentálních hrází s opakovaným dynamickým zatížením 1 MPa (standardně po osmi a 24 hodinách od ukončení stavby) proběhly na Pokusných štolách ve Štramberku podle akreditovaných pracovních postupů, vypracovaných na základě metodik schválených ČBÚ v Praze.

U všech staveb hrázových objektů byly průběžně odebírány a vyhodnocovány vzorky materiálů.

Všechny hrázové objekty byly vybaveny dvojicí hrázových luten průměru 630 mm, trojicí potrubí průměru 100 mm pro umístění snímačů tlaku a plamene a dvojím průchozím potrubím průměru 50 mm, které bylo volné pro odfuk a pro průchody kabelů. Hrázové lutny nebyly kotveny řetězy ani svorníky. Na těchto lutnách byly v roztečích 500 mm (na základě výpočtů) navařeny skružené plocháče odpovídající přírubám.

První čtyři hrázové objekty byly zkoušeny v jednostranném záseku (plocha peření z přístupové strany 10 m², ze strany výbuchu 16 m²; interpretace kónického tvaru), pátý v klasickém záseku v profilu 10 m².

Kromě prvního odpalu první hráze byly všechny další zatěžovány po odstranění peření.

Výbušný systém byl tvořen metanovzdušnou komorou (koncentrace 9% metanu) s plošnou iniciací bleskovicovou sítí a prachovzdušnou komorou (koncentrace 120 gm⁻³ hnědouhelného multiprachy a 2% metanu). Měřeny byly náběhy plamene a tlaku a plamen a reflexní tlak na hrázi, který dosahoval absolutních hodnot 0,97 až 1,23 Mpa.

První hráz byla vystavěna v září 2006 z modifikovaného materiálu TB-P11-1. Nejmenší tloušťka hráze L v metrech byla určena v souladu s vyhl. ČBÚ č. 4/1994 Sb. podle klasického vzorce pro sádru.

Výsledkem byla pro materiál pevnosti v tlaku 5,0 MPa po osmi hodinách (při vodním součiniteli 1,2) tloušťka hráze 1,6 metru.

Bylo použito klasické těžké dřevěné peření (polygony, stojky, odkory, juta). Hráz byla zatížena celkem třikrát, třetí odpal byl proveden po 28 dnech. Při druhém odpalu bylo provedeno orientační měření průhybu o velikosti 2,5 mm. Na tělese hráze se objevily pouze povrchové vlásečnicové trhliny, které se při opakovaných zatíženích mírně zvětšovaly.

Druhý hrázový objekt byl postaven z modifikovaného materiálu Jb-P31-1 v květnu 2007 s pevnostními parametry přibližně odpovídajícím prvnímu materiálu s mírně vyšší dobou tuhnutí.

Tloušťka hráze byla stanovena na základě laboratorních zkoušek a matematického modelování 1,35 metru pro vodní součinitel 0,8.

Konstrukci peření pro vymezení šířky hrázového objektu 1,35 m tvořily lehké betonářské stojky „PERI“, mřížovina 3 × 2 m s okatostí 100 × 100 mm z drátu průměru 5 mm (ve vrchní části předního peření byla částečně ověřena okatost 150 × 150 mm s tloušťkou drátu 4 mm) a speciální antistatická textilie „Schulte“. Při stavbě bylo pro jednoduchost a rychlost provedení ověřeno použití nosných kabelových pásků pro

spojování dílů (s velmi dobrým výsledkem) a těsnění použitím důlní montážní pěny. Použitá textilie se příliš neosvědčila.

Druhá hráz byla zatížena pouze jednou, došlo k destrukci přístrojů pro měření průhybu. Vlastní hrázové těleso vydrželo dynamické zatížení.

Třetí hráz byla postavena z materiálu Tekblend H v listopadu 2007. Na základě upřesněných výsledků matematického modelování byla stanovena tloušťka 1,2 metru pro vodní součinitel 1,2.

Konstrukci peření (viz obrázek č. 4) pro vymezení šířky hrázového objektu tvořily lehké betonářské stojky „PERI“, mřížovina 3 × 2 m s okatostí 100 × 100 mm z drátu průměru 4 mm. Mřížovina byla vyztužena výškově po 50 cm odkory, uvnitř potažena a utěsněna jutou. Technologie tohoto peření se nejlépe osvědčila.

Hráz byla zatížena třikrát, třetí zatížení bylo provedeno po 19 dnech. Průhyby hráze postupně činily 13,0 mm, 15,5 mm a 9,2 mm. Hrázový objekt šířky 1,2 m, trojnásobně namáhán dynamickým zatížením 1 MPa, odolal tomuto zatížení bez výrazného poškození a zachoval si těsnost. Porušení objektu se projevilo vznikem nekomunikujících trhlin a mikrotrhlin.

Stavba čtvrté hráze z materiálu Izolitex C proběhla v květnu 2008. Tento materiál dosahoval nižších pevnostních parametrů a oproti dříve odzkoušeným materiálům byl napěněný. Na základě modelu byla tloušťka hráze stanovena 2,1 metru pro vodní součinitel 1,5. Spotřeba materiálu Izolitex C při této šířce byla pouze o šest tun vyšší než u třetí hráze z Tekblendu H při tloušťce 1,2 metru. Použitá technologie lehkého peření byla stejná.

Hráz byla zatížena dvakrát a při průhybu 2,6 mm neměla ani stopy po trhlinách.

Pátý hrázový objekt byl postaven z již ověřeného materiálu Tekblend H v červnu 2008.

Na základě zpětného vyhodnocení byla stanovena limitní tloušťka 1,1 metru (pro vodní součinitel 1,3) v plném záseku hloubky 0,4 metru. Zároveň byla použita jedna hrázová lutka bez mezikroužků s kotvením na dva svorníky pomocí řetězů D 16.

Lehké peření odpovídalo technologii stavby třetí a čtvrté hráze.

Hráz byla zatížena jednou s projevenými viditelnými odštěpy 4 až 6 cm po obvodu takřka celé hráze s vývinem masivního trhlinového systému (při rozebírání hráze bylo ověřeno, že trhliny byly na hranici těsnosti). Došlo rovněž k protažení článků kotvicích řetězů a posunu takto kotvené hrázové lutny o cca šest centimetrů. Průhyb tělesa hráze přesahoval měřitelný rozsah (byl větší než 15 mm).

Při rozebírání hrází se nejlépe osvědčila technologie odstřelu zálohu v horní polovině hráze a dokopání sbíjecím kladivem; materiál měl dobrou lasturovitou odlučnost. O výsledky všech zkoušek byly postupně doplňovány a upřesňovány výpočtové modely.

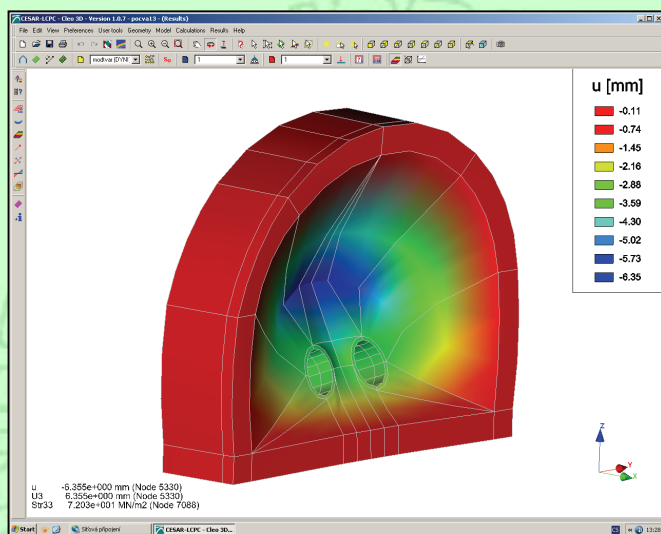
Výstupy a závěry

Byly ověřeny, odzkoušeny a definovány dvě konkrétní rychletuhnoucí hmoty pro stavbu VVUH, a to certifikované materiály Tekblend H a Izolitex C včetně technologie jejich zpracování a strojní zařízení pro hydromechanickou dopravu těchto hmot.

Byla navržena a odzkoušena technologie používání lehkých peření a systému paketizace těchto stavebních prvků. Zároveň bylo vyřešeno kotvení hrázových luten v kombinaci s používáním nových rychletuhnoucích materiálů.

Uvedené stavební hmoty rychlým dosažením pevnostních parametrů podstatně snižují množství dopravovaného materiálu pro stavby VVUH. Stavba lehkých peření je rychlejší, méně fyzicky náročná a materiál lehkých peření může být předem pakelizován dle profilů uzavíraných chodeb. Snížením tloušťek VVUH se zkracuje doba stavby, zkracují se i délky průchozích armatur včetně průlezů hrázovými lutnami. Hrázové objekty jsou těsné, mají velmi dobrou přilnavost k horninám a dobře se rozebírají. Byla prokázána úspora směn při dopravě a stavbě VVUH, která ve spojení s absolutně menším množstvím materiálu potřebným pro stavbu hráze je ekonomicky minimálně srovnatelná s technologií sádry, byť použité nové materiály jsou jednotkově více než třikrát dražší.

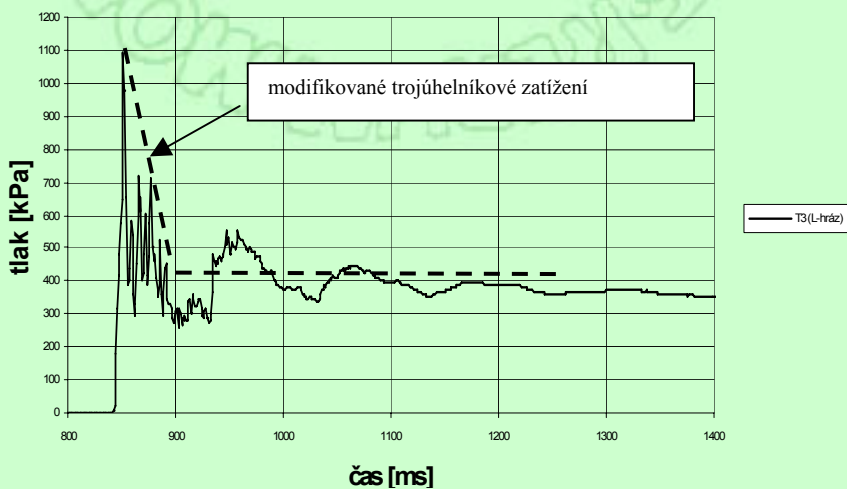
Výstupy řešení jsou promítnuty v legislativních návrzích pro novelizaci vyhlášky ČBÚ č. 4/1994 Sb. a v návrhu metodického postupu pro stavbu hráze ve vazbě na Instrukci č. 1/2003 pro stavbu výbuchovzdorných hrází, OKD HBZS, a.s..



Obr.1 Modelová tělesa hráze se

geometrie zásekem

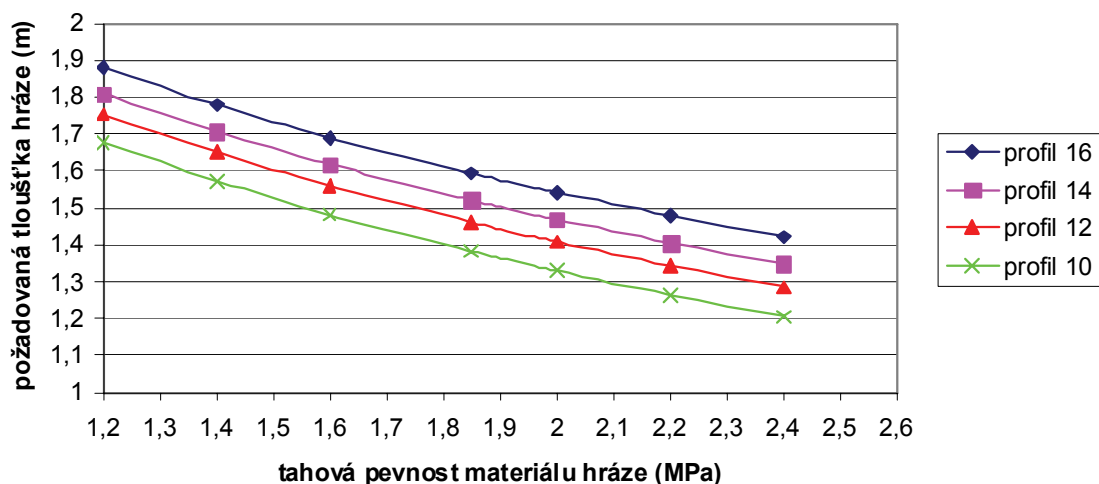
Hmota Tb-P11-1 - zkoušeč3



Obr. 2 záznam dynamického monitorovaný

Časový zatížení (a

Graf závislosti délky hráze na tahové pevnosti materiálu hráze a velikosti profilu důlního díla (válcová hráz, modif. trojúhel. zatížení, $v=0.6$ m, průměr průřezů 0,63 - 0.8 m, šířka pilíře mezi průřezy 0,63 resp. 0.8 m)- platí pro materiál Tekblend H



hráze

Obr. 4 Lehké peření



Projekt byl financován v rámci Aktivita AA „Zvýšení úrovně bezpečnosti práce v dolech a eliminace nebezpečí od unikajícího metanu z uzavřených důlních prostor“ pod číslem a názvem projektu P č. 48-06 „Navržení nového typu uzavíracích hrází z hlediska konstrukce a použitých materiálů, bezpečnosti pracovníků v hlubinných dolech a v podmínkách podzemního stavitelství“ a koordinován VaV ČBÚ Praha, pracoviště Ostrava.

Literatura : není citována