

Josef ALDORF¹, Eva HRUBEŠOVÁ², Petr JANAS³

VYUŽITÍ 3D MODELOVÁNÍ PRO DIMENZOVÁNÍ DŮLNÍCH BEZPEČNOSTNÍCH HRÁZÍ

Abstract

The paper deals with the utilizing of the 3D - mathematical modelling (software CESAR LCPC) for the new design of the emergency dam in the drift. On the basis of the realized analysis there were formulated the recommendations for the thickness of the dam with respect to the construction material (Tekblend, Jb, Izolitex), the shape of the dam (conical or non-conical shape) and external stabilization of the dam in the rock mass.

1 ÚVOD

Metody matematického modelování jsou v současné době stále více rozšířeným nástrojem používaným pro návrh a posouzení různých typů konstrukcí, charakterizovaných jak tvarem a materiálovými vlastnostmi, tak i charakterem zatížení. V rámci řešení úkolu ČBÚ č. 48-06 „Navržení nového typu uzavíracích hrází z hlediska konstrukce a použitých materiálů, bezpečnosti pracovníků v hlubinných dolech a v podmínkách podzemního stavitelství“, na němž se fakulta stavební VŠB-TU Ostrava v současné době podílí, byla provedena prostorová modelová dynamická analýza napětíodeformačního stavu bezpečnostní hráze pomocí dynamického modulu programového systému CESAR-LCPC (Francie). Cílem této numerické analýzy, založené na metodě konečných prvků, bylo stanovení minimální mocnosti hráze pro zajištění její bezpečné funkce.

2 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA POUŽITÉHO SOFTWARE A VÝPOČETNÍ METODY

K modelování uvedené prostorové úlohy byl využit dynamický modul softwarového systému CESAR –LCPC, distribuovaný francouzskou firmou ITECH, pracující na základě metody konečných prvků. Výpočetní dynamický modul vychází z následující soustavy rovnic, která je rozšířením základní soustavy rovnic odpovídající řešení statických úloh metodou konečných prvků:

$$Mu'' + Cu' + Ku = F \quad (1)$$

u – vektor posunů v uzlových bodech (časově závislý)

u' – vektor rychlostí v uzlových bodech (časově závislý)

u'' – vektor zrychlení v uzlových bodech (časově závislý)

M – hmotnostní matice

C – matice tlumení

K – matice tuhosti

F – vektor známých sil a zatížení (časově závislý)

¹ Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875, Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 944, e-mail: josef.aldorf@vsb.cz.

² Doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875, Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

³ Doc. Ing. Petr Janas, CSc., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875, Ostrava-Poruba, tel.: +420 597 321 308, e-mail: petr.janas@vsb.cz.

Aplikovaný dynamický výpočetní modul DYNI předpokládá, že matice M , C a K jsou konstatní v čase. Matice tlumení C je lineární kombinací matice tuhosti a hmotnostní matice a lze ji vyjádřit pomocí Rayleighových parametrů tlumení α_R, β_R následovně:

$$C = \alpha_R K + \beta_R M$$

Při řešení výchozí soustavy rovnic s časově proměnnými hodnotami posunů, rychlostí a zrychlení je aplikována tzv. Newmarkova implicitní metoda přímé integrace. Tato metoda vychází z následujících vztahů pro stanovení posunů a rychlostí v čase $t+\Delta t$:

$$u^{t+\Delta t} = u^t + u'^t \Delta t + \left(\left(\frac{1}{2} - \alpha \right) u''^t + \alpha u''^{t+\Delta t} \right) \Delta t^2$$

$$u'^{t+\Delta t} = u'^t + \left((1 - \beta) u''^t + \beta u''^{t+\Delta t} \right) \Delta t$$

kde Δt je časový krok, α, β jsou integrační konstanty implicitní metody. Pro standardní volbu integračních konstant α, β platí: $\alpha=0.25, \beta=0.5$.

S využitím Newmarkova implicitního algoritmu a po úpravě lze základní soustavu rovnic (1) pro neznámé složky vektoru Δu zapsat ve tvaru:

$$(c_0 M + c_1 C + K) \Delta u = F_{ext}^{t+\Delta t} + M(c_2 u''^t + c_3 u''^{t+\Delta t}) + C(c_4 u'^t + c_5 u'^{t+\Delta t}) - F_{int}^t$$

$$\Delta u = u^{t+\Delta t} - u^t$$

kde koeficienty $c_i, i=1, \dots, 5$ jsou závislé na časovém kroku Δt a na integračních konstantách Newmarkovy metody, $F_{ext}^{t+\Delta t}$ je vektor vnějších sil v časovém kroku $t+\Delta t$, F_{int}^t je vektor vnitřních sil (reakcí) v časovém kroku t .

3 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY ANALYZOVANÝCH MODELOVÝCH VARIANT

3.1 Základní modelové faktory

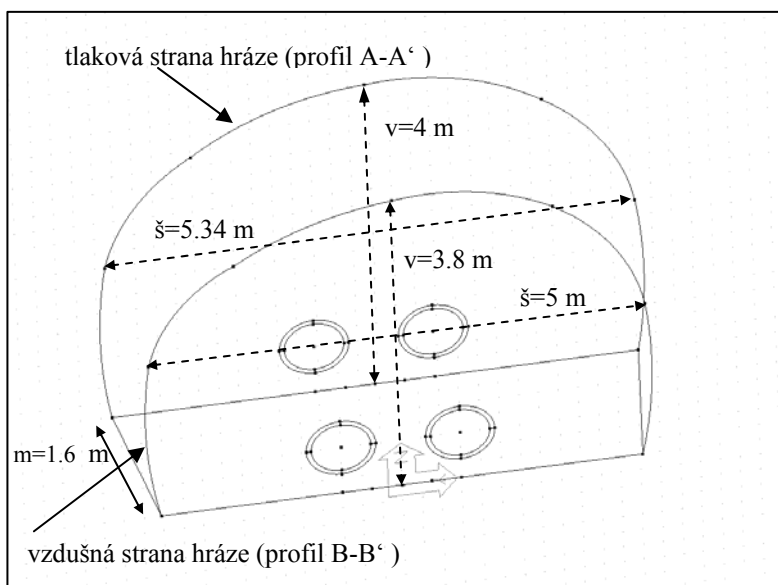
Obecně je napěťo-deformační stav hráze závislý na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou materiál hráze, tvar hráze, velikost příčného průřezu hráze, mocnost hráze, pevnostní a přetvárné vlastnosti okolního prostředí hráze, způsob uchycení hráze v okolním horninovém prostředí, charakter a velikost dynamického zatížení. Doposud nebylo možno z časového hlediska v rámci tohoto výzkumného úkolu modelově analyzovat vliv všech těchto faktorů, v této fázi řešení byl vyhodnocen vliv materiálu hráze (tři typy materiálu), tvaru hráze (kónický nebo nekónický podélný tvar, tvar příčného průřezu obloukový), způsobu uchycení hráze v okolním prostředí (se zářezem a bez zářezu) a tuhosti okolního prostředí hráze (vápenec, uhlí). Velikost maximální amplitudy dynamického zatížení byla uvažována konstantní (1.1 MPa), modelově byly analyzovány dvě varianty časového průběhu dynamického zatížení. První z nich odpovídala experimentálně naměřeným hodnotám velikostí zatížení v čase, druhá varianta odpovídala „trojúhelníkové“ aproximaci tohoto časového záznamu skutečného naměřeného průběhu dynamického zatížení.

Návrh mocnosti hráze vychází tedy jednak z analýzy výsledků provedených parametrických modelových výpočtů a dále z výsledků laboratorních zkoušek, provedených pracovníky Laboratoře stavebních hmot FAST VŠB-TUO pod vedením Ing. Lukše, Ph.D. V této souvislosti bylo dílčím cí-

lem řešení projektu rovněž stanovení určujících kritériálních charakteristik pro stanovení mocnosti hráze, což umožňuje upřesnit jednak požadavky na typ modelových výstupů a jednak základní požadavky na typy nutných laboratorních zkoušek a přesnost a objektivitu jejich výsledků. Výchozí matematický model byl dále kalibrován z hlediska tuhosti materiálu hráze dle výsledků realizovaného monitoringu posunů na vzdušné straně hráze při zkušebních odstřelech in – situ realizovaných ve zkušební štolě Štrambersk. Na základě monitorovaného časového vývoje deformační odezvy tělesa hráze byla rovněž provedena dílčí inverzní analýza pro stanovení tlumících charakteristik materiálu hráze.

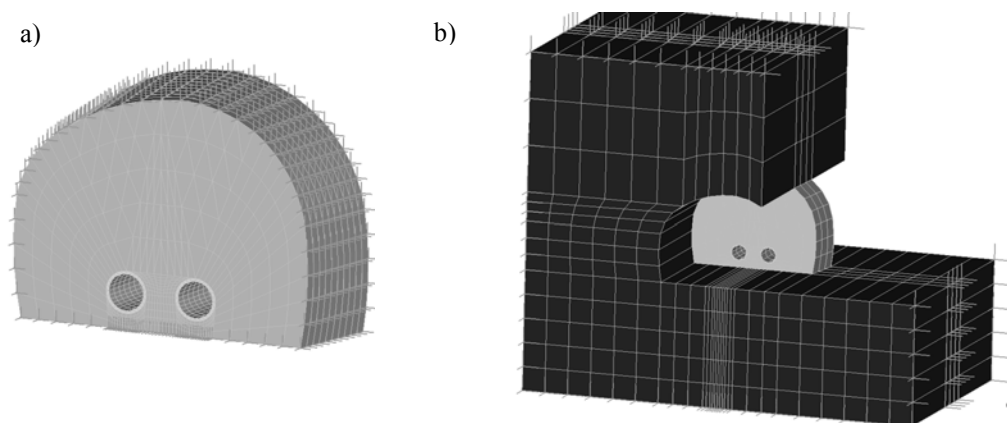
3.2 Charakteristika geometrie analyzovaných tvarů hrází

V rámci řešení projektu byla analyzována hráz s obloukovým příčným průřezem, a to ve dvou tvarových variantách v podélném směru. V prvním případě se jednalo o hráz kónického tvaru s klesající průřezovou plochou ve směru od strany tlakové (strana hráze, na níž je aktivováno dynamické zatížení) ke straně vzdušné. Druhá varianta pak uvažovala nekónický tvar hráze v podélném směru. V modelu byly zohledněny dva vyztužené průlezné otvory o průměru 600 mm, jejichž středy jsou umístěny ve vzdálenosti 600 mm od spodní hranice zátky, středová vzdálenost průlezných otvorů je 1200 mm. Výchozí modelová geometrie samotného tělesa hráze pro kónickou hráz o mocnosti 1.6 m (mocnost hráze a tvar hráze při prvním experimentálním odstřelu), včetně uvažovaných průlezných otvorů je uvedena na následujícím obrázku č.1.



Obr. 1: Výchozí geometrie kónické hráze bez záseku o mocnosti 1.6 m

V modelové analýze byla mocnost hráze ve směru podélné osy štoly uvažována variabilně – mocnost 1.6 m, 1.3 m, 1.1 m, 0.9 m a 0.6 m s tím, že referenčním profilem v těchto variantách zůstává u kónických typů hrází profil A-A' (tlaková strana hráze). Celkem tedy bylo modelováno 5 variant mocností hráze. Dynamická odezva byla analyzována za předpokladů dvou typů okrajových podmínek. V prvním případě byl model řešen pouze pro samotnou hráz s podmínkami vetknutí na pomyslných kontaktech s okolním prostředím (obr. 2a), ve druhém případě byla uvažována deformační spolupráce hráze s okolním horninovým prostředím při eliminaci přetížení hráze horninovým prostředím (obr. 2b). Z hlediska uchycení tělesa hráze v okolním horninovém prostředí (zajištění větší stability hráze) byla uvažována jednak nejméně příznivá varianta uchycení – varianta bez záseku (plošný kontakt s horninovým prostředím) a dále varianty s pravoúhlým zásekem hlubokým 40 cm, a to buď po celém obvodu tělesa hráze (včetně počvy) nebo varianta bez záseku v počvě.



Obr. 2: a) Model hráze s podmínkou vetknutí. b) Model hráze zohledňující deformační spolupráci s okolním prostředím.

3.3 Materiálové charakteristiky modelu

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, Jb a Izolitex. U všech těchto typů materiálů se vycházelo při samotném modelovém výpočtu pro stanovení napěťo-přetvárného stavu z předpokladu přibližně identických hodnot objemové tíhy i přetvárných charakteristik (modulu pružnosti a Poissonova čísla), materiály se však lišily hodnotami tlakových a tahových pevností, z čehož plyne i rozdílný návrh mocnosti hráze pro různé typy testovaných stavebních materiálů. Nejproblematictější 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. První kalibrace modelu byla provedena na základě naměřených posunů 2.5 mm na vzdušné straně hráze odpovídající prvnímu zkušebnímu odstřelu hráze o mocnosti 1.6 m (materiál Tekblend) a vycházela z předpokladu, že k maximálnímu posunu ve směru podélné osy hráze dochází v čase maximálního dynamického zatížení. V průběhu dalšího upřesňování modelového řešení této úlohy se však ukázalo, že tento předpoklad nebyl správný a že maximální posuny nastávají až v čase cca 10 ms po výbuchu. Další upřesňující kalibrace, zohledňující tento poznatek, pak byla realizována po naměření posunů při třetím odstřelu hráze o mocnosti 1.2 m z téhož materiálu, kdy se použilo přesnější monitorovací zařízení pro měření posunů a bylo tedy možno předpokládat vyšší vypovídací schopnost tohoto měření. Relativně vysoká hodnota naměřených posunů 13 mm v případě hráze s nižší mocností byla pravděpodobně způsobena oslabením tělesa hráze tahovými trhlinami na vzdušné straně hráze. Tyto trhliny hloubky cca 10-15 cm byly indikovány vizuální kontrolou tělesa hráze po provedeném odstřelu a jejich lokalizace velmi dobře koresponduje s výsledky získanými numerickým modelem. Provedenou upřesňovací kalibrací modelu po třetím experimentálním odstřelu byl tedy stanoven modul pružnosti $E_b = 530 \text{ MPa}$, který velmi dobře koresponduje s hodnotou získanou při dynamickém zatížení vzorků (Petroš, 2007). Lutnové průřezy lokalizované v tělese hráze byly ocelové.

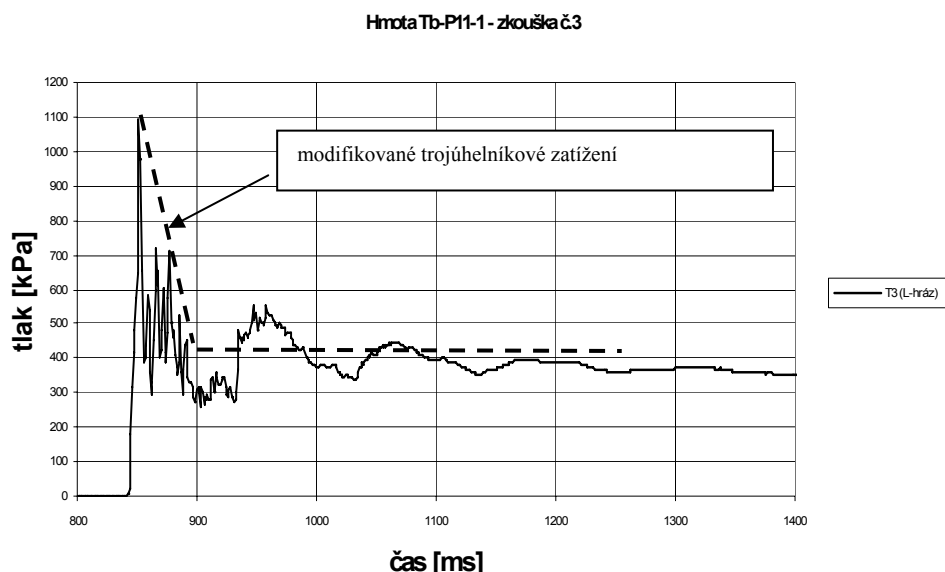
Obklopující horninové prostředí bylo uvažováno ve dvou variantách – první z nich odpovídala realizaci hráze v uhlí, druhá ve vápencovém prostředí pokusné štolý Štramperk. Parametry materiálu hráze uvádí následující tabulka:

Tab. 1: Základní charakteristiky analyzovaných materiálů hráze

	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
				Jb: 6.56	Jb:1.65
				Izolitex 3.67	Izolitex:1.1

3. 4 Charakteristika dynamického zatížení

Časový vývoj dynamického namáhání (monitorovaný in-situ a modifikovaný trojúhelníkový) je uveden na obr. 3 Charakteristiky dynamického zatížení vycházejí z podkladů dodaných firmou VVUÚ a.s.. Na základě vyhodnocení monitorovaného časového záznamu dynamického zatížení bylo do výpočtu zavedeno dynamické zatížení hráze charakterizované hodnotami napětí v sedmi časových řezech 840 až 900 ms s časovým krokem 10 ms (max. hodnota napětí 1.1 MPa), což odpovídá průběhu dominantní primární dynamické vlny. Vliv dalšího průběhu dynamického zatížení, odpovídajícího odražené dynamické vlně, nebyl ve výpočtu zohledněn. V případě varianty s modifikovaným trojúhelníkovým zatížením byl vyhodnocován vliv dynamického zatížení v delším časovém úseku (840 – 1300 ms). Zatížení přírub výztuže průlezných otvorů bylo navýšeno až na maximální hodnotu 3.1 MPa, což odpovídá velikosti reakce pod přírubou, při zatížení uzávěru lutny tlakem výbuchu ve výši 1,1 MPa.

**Obr. 3:** Časový záznam dynamického zatížení (monitorovaný a modifikovaný trojúhelníkový).

4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MODELOVÉ ANALÝZY A ZÁKLADNÍ DOPORUČENÍ PRO DIMENZOVÁNÍ HRÁZE

Parametrická modelová analýza napěťo-deformační situace v bezpečnostní hrázi, následné vyhodnocení parametrických modelových výsledků pro různé konstrukční typy hrází zhotovovaných z jednoho ze tří analyzovaných materiálů a stanovení doporučené mocnosti hráze probíhala v několika fázích, v jejichž průběhu byl model kalibrován a upřesňován, byla vyhodnocována citlivost odezvy hráze na vstupní parametry úlohy, formulována základní kritéria pro dimenzování hráze a provedeno jejich vyhodnocení pro tři materiály (Tekblend, Jb, IzoliteX) a různé konstrukce hráze (kónický tvar, nekónický tvar, hráz s pravoúhlým zásekem, hráz bez záseku).

Za určující kritéria pro stanovení dolní hranice mocnosti hráze byla přijata:

- maximální posun hráze ve směru její podélné osy je menší nebo roven maximálně přípustnému posunu hráze 8.9 mm, stanovenému laboratorně na trámci 100 x 100 x 400 mm při zohlednění součinitele spolehlivosti 1.2
- maximální hodnoty tahových napětí v tělese hráze (vzdušná strana hráze) jsou menší než tahová pevnost daného materiálu stanovená laboratorně po 8 hodinách tuhnutí hmoty (doba 1 odstřelu) s respektováním součinitele spolehlivosti 1.2
- maximální hodnoty tlakových napětí v tělese hráze (tlaková strana hráze) jsou menší než tlaková pevnost daného materiálu stanovená laboratorně po 8 hodinách tuhnutí hmoty s respektováním součinitele spolehlivosti 1.2

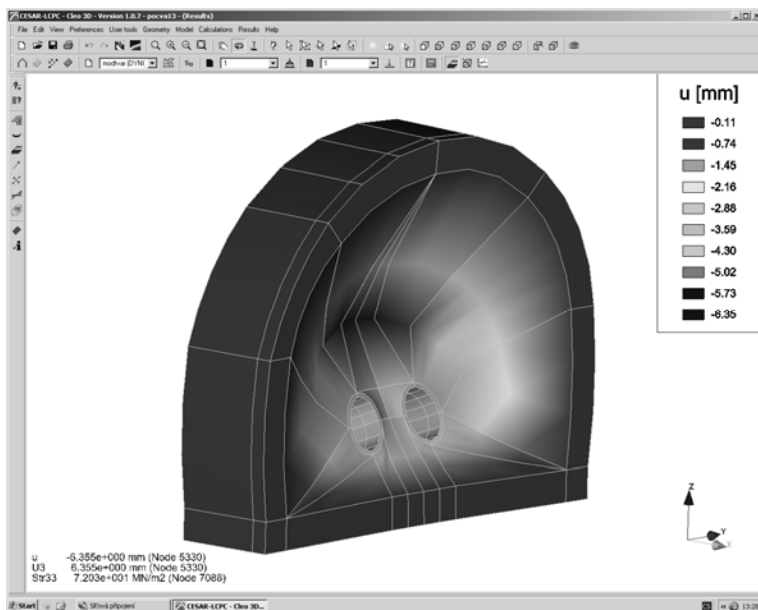
Vyhodnocení výsledků modelování ukázalo, že rozhodujícím kritériem dimenzování mocnosti hráze z hlediska její vnitřní stability je kritérium tahových napětí na vzdušné straně hráze. Z hlediska vnější stability hráze byl pak dále posuzován způsob uchycení hráze v okolním horninovém prostředí (zásek, kotvení),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

V rámci numerické analýzy byla vyhodnocována rovněž situace odpovídající opakovanému odstřelu hráze, který je charakterizován redukcí původní mocnosti hráze (odpovídající 1. odstřelu) v důsledku vlivu tahového porušení vzdušné strany hráze. První výsledky modelování ukázaly pouze minimální vliv dvou uvažovaných tuhostí okolního horninového prostředí na maximální hodnoty tahových resp. tlakových napětí ve středové části hráze. Následující závěrečná doporučení mocností hrází lze tedy považovat za platná jak pro lokalizaci hráze v uhelné sloji, tak i pro hráz ve vápencovém prostředí pokusné štoly ve Štramberku.

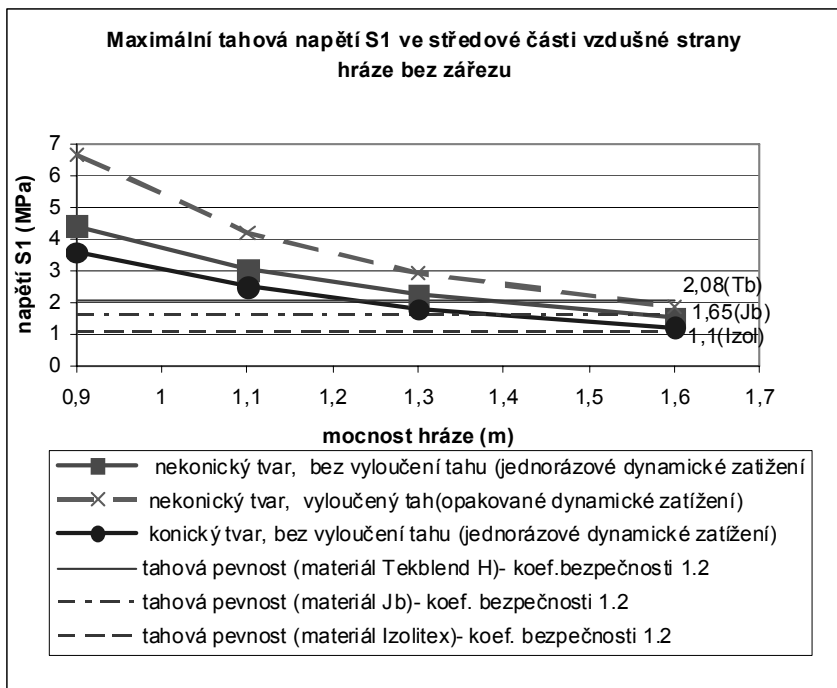
Závěrečná doporučení pro dimenzování bezpečnostní hráze, jejíž geometrické charakteristiky jsou uvedeny na obr.1 :

- při použití materiálu Tekblend je doporučovanou tloušťkou vyhovující kritériu tahové pevnosti hodnota 1.3 m, a to jak pro hráze kónického tvaru, tak i hráze nekónické se zářezem po celém obvodu; vzhledem k rozptylu hodnot tahové pevnosti lze připustit tuto mocnost hráze 1.3 m jako hraniční mocnost i pro hráze nekónické bez zářezu; pro hráze kónického tvaru bez zářezu jsou pak hraniční tloušťky 1.1-1.2 m
- při použití materiálu Jb vyhovují požadavku stability hráze s mocností minimálně 1.6 m (nezávisle na konstrukci hráze)
- pro všechny analyzované konstrukce hrází z materiálu IzoliteX je doporučovaná minimální mocnost hráze 1.7 m
- opakované dynamické zatížení je dle modelové analýzy pro nekónický tvar hráze spolehlivě možné v případě hráze z materiálu Tekblend o minimální tloušťce 1.6 m, u ostatních materiálů je pro tuto tloušťku překročena při opakovaném dynamickém zatížení tahová pevnost na vzdušné straně hráze; hodnoty tlakových pevností se pro nekónický tvar hráze o této hraniční mocnosti 1.6 m sice

zvyšují ve srovnání s jednorázovým dynamickým zatížením až o 100 %, avšak tlaková pevnost všech tří posuzovaných materiálů není překročena; deformace při druhém dynamickém zatížení je o cca 20-30 % vyšší.



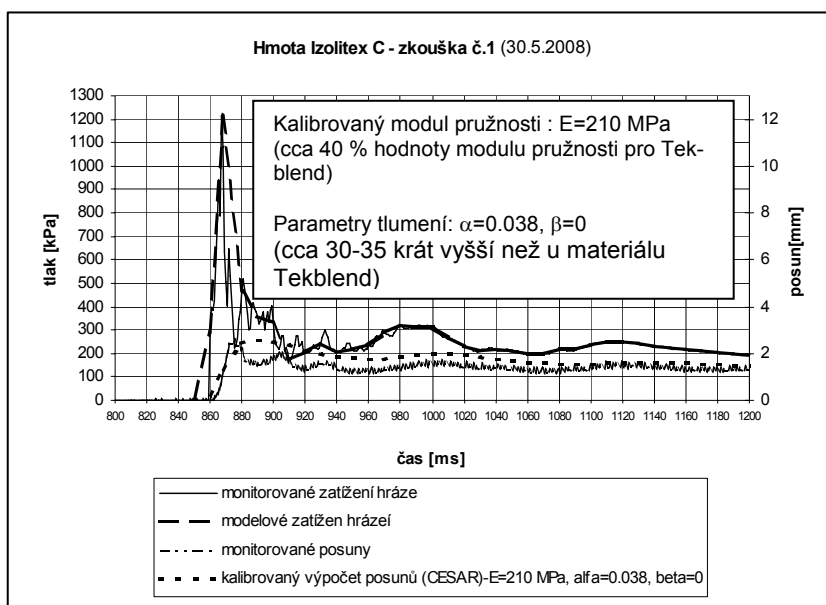
Obr. 4: Průhyb tělesa hráze při dynamickém zatížení.



Obr. 5 Vyhodnocení maximálních tahových napětí ve středové části vzdušné strany hráze.

5 MODELOVÁ ANALÝZA TLUMÍCÍHO EFEKTU TĚLESA HRÁZE

Výsledky modelové analýzy, uvedené v předchozí kapitole, nezohledňují tlumící efekt projevující se v průběhu dynamické odezvy hráze. Rayleighovy parametry tlumení α_R , β_R vstupující do základní soustavy rovnic (1), jsou totiž velmi obtížně stanovitelné a z tohoto důvodu byla modelová analýza z velké části provedena s nulovými hodnotami těchto tlumících charakteristik. Realizovaná monitorovací měření časového vývoje posunů v tělese hráze však dokumentovala útlum kmitání hráze, a to v závislosti na celkové hmotnosti hráze, materiálu a geometrickém tvaru hráze. Vyhodnocení těchto časových záznamů deformačního vývoje v tělese hráze, získaných při experimentálních odstřelech, a následná inverzní analýza byly za dané situace v podstatě jedinou možností pro orientační stanovení útlumových charakteristik. Primární inverzní analýza pro stanovení těchto útlumových charakteristik byla provedena na základě výsledků monitoringu získaných při 3. experimentálním odstřelu hráze z materiálu Tekblend o tloušťce 1.2 m – byly stanoveny Rayleighovy parametry tlumení $\alpha_R=0.001$, $\beta_R=0$. Detailnější inverzní analýza, jejíž výsledkem byly nejen hodnoty útlumových charakteristik materiálu, ale i další upřesnění modulu pružnosti, pak byla provedena na základě výsledků monitoringu získaných při 4. experimentálním odstřelu kónické hráze z materiálu IzoliteX o tloušťce 2.1 m. Inverzní postup vycházel v tomto případě z maximální hodnoty posunů v podélném směru osy hráze (2.54 mm), ze zbytkové hodnoty posunů (1.4 mm) a z monitorovaného časového vývoje posunů v podélném směru hráze. Výsledky ukázaly v případě hráze z materiálu IzoliteX výraznější útlumový efekt ve srovnání s hrázi z materiálu Tekblend $\alpha_R=0.038$, $\beta_R=0$ a jsou uvedeny na obr. 6.



Obr. 6: Výsledky inverzní analýzy pro stanovení parametrů tlumení (IzoliteX).

6 VLIV PŘERUŠENÍ BETONÁŽE TĚLESA HRÁZE NA JEJÍ ÚNOSNOST

V rámci realizované modelové dynamické analýzy bylo rovněž provedeno zhodnocení vlivu přerušení plnění hráze o mocnosti 1,2 m a snížení tahových pevností na pracovních sparách při přerušení betonáže na její únosnost. Při přerušení betonáže dochází ke vzniku horizontální pracovní spáry, která může snížit tahovou pevnost ve vztahu k napětí působícímu ve svislém směru rovnoběžně se svislou osou hráze.

Za tím účelem byly provedeny tahové zkoušky na trémcích s příčnou dělenou pracovní spárrou (VŠB-TU, FAST, Ing. Jiří Lukš, Ph.D., Ing. Zita Lebedová). Z těchto výsledků, bez ohledu na hodnoty dosažených pevností, lze dedukovat:

- nárůst pevnosti v tahu při přerušení betonáže lze očekávat maximálně do 1 hod. od přerušení, bude-li další plnění do této doby opětovně zahájeno
- při přerušení delším než 1 hodina dochází cca k 30 % snížení tahové pevnosti na pracovní spáře
- k porušení zkušebních vzorků dochází vždy v místě plochy přerušení betonáže
- pevnost v tlaku zjištěná po 8 hodinách odpovídá dříve zjištěným hodnotám tlakové pevnosti

Z těchto výsledků laboratorních zkoušek lze usuzovat, že přerušení betonáže ne delší než 1 hodina se na hodnotě tahové pevnosti projeví pouze v zanedbatelné míře. V případě přerušení delšího než 1 hodinu dochází k výraznému snížení tahových pevností o cca 30-35 %, což může způsobit vznik tahového porušení až do hloubky cca 0,25 m. Prodleva při přerušení betonáže delší než 2 hodiny je již z únosnostního hlediska nepřijatelná a zajištění únosnosti tělesa hráze by muselo být řešeno vyztužením hráze mřížovinou KARI 100x100/ min.6,3 mm umístěnou v ploše účinku tahových namáhání. Umístění mřížoviny by muselo být řešeno již před začátkem plnění tělesa hráze.

Na základě vyhodnocení rozložení tahových napětí na ploše vzdušného čela hráze lze odhadnout plochu účinku tahových namáhání následovně:

a) šířka plochy, ve které přerušení betonáže může mít negativní vliv na únosnost, odpovídá největšímu rozměru největších konců luhových průřezů s rozšířením cca 0,5 m na každou stranu

b) výška oblasti, ve které může přerušení betonáže ovlivnit únosnost hráze, je cca 2 m nad horní hranou průřezu

V této ploše vzdušného čela hráze může mít přerušení betonáže největší vliv na její únosnost ve vztahu ke snížení tahové pevnosti na plochách přerušení betonáže.

Hloubka tahové oblasti v tělese hráze není větší než cca 15-20 % tloušťky hráze. Zbytek průřezu tělesa hráze je namáhán buď tahovým napětím menším než činí tahová pevnost na ploše přerušení betonáže, případně je namáhán pouze tlakovým napětím nepřevyšujícím hodnotu tlakové pevnosti materiálu Tekblend.

7 ZÁVĚR

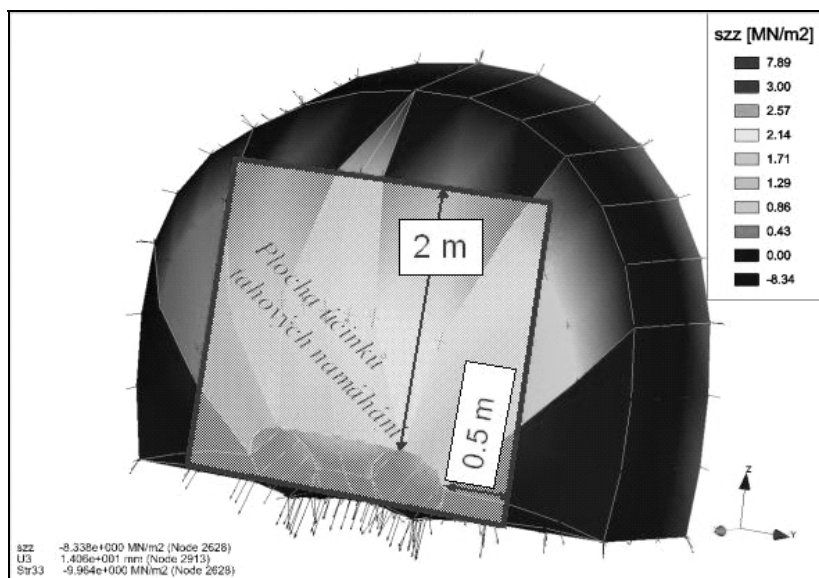
Realizovaná dynamická modelová analýza přispěla k objektivnější představě o chování tělesa bezpečnostní hráze v průběhu referenčního dynamického zatížení s maximální amplitudou 1.1 MPa. Výsledky modelování a jejich komparace s dostupnými výsledky měření a dalšími reálně pozorovanými projevy odezvy experimentálních hrází dokumentují dobrou vypovídací schopnost numerického modelu a jeho použitelnost pro formulování doporučení dimenzování bezpečnostních hrází. Na základě komplexního vyhodnocení modelových výpočtů a s využitím regresní analýzy pak byly zkonstruovány návrhové grafy pro stanovení tloušťky tělesa hráze v profilech 00-0-10 až 00-0-16 (obr. 8).

Tento příspěvek byl zpracován v rámci řešení projektu ČBÚ 48-06 „Navržení nového typu uzavíracích hrází z hlediska konstrukce a použitých materiálů, bezpečnosti pracovníků v hlubinných dolech a v podmínkách podzemního stavitelství“

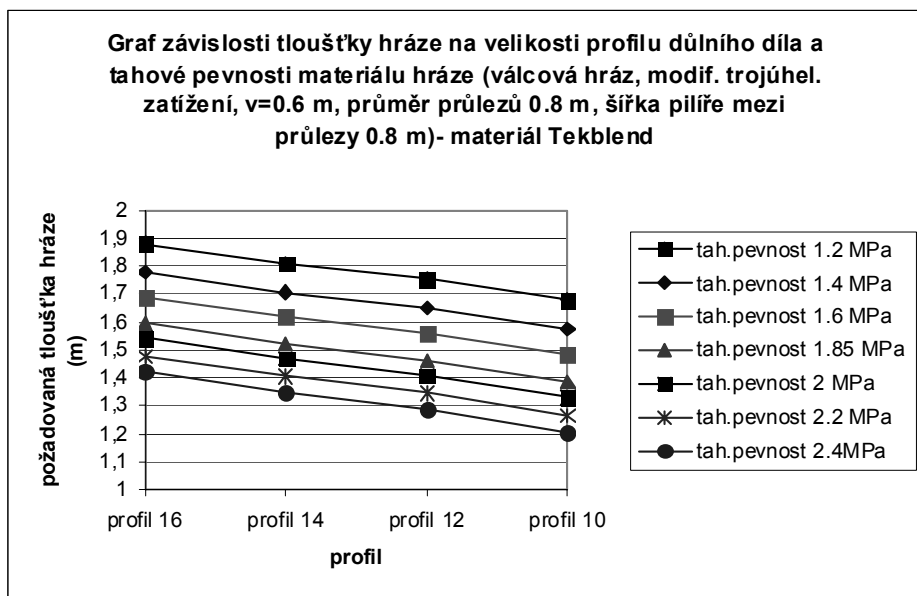
LITERATURA

- [1] Manuál programového systému CESAR LCPC
- [2] Instrukce 1/2003 pro stavbu výbuchovzdorných hrází. OKD, HBZS, a.s., Ostrava-Radvanice, 2003.

Oponentní posudek vypracoval: Doc. Ing. Petr Konečný, CSc.



Obr. 7: Modelově stanovená plocha účinků tahových namáhání na vzdušné straně hráze.



Obr. 8: Návrhové grafy pro stanovení tloušťky tělesa hráze v závislosti na profilu důlního díla a tahové pevnosti materiálu hráze.