

# Certifikovaná metodika pro stanovení míry ohrožení stability likvidovaných HDD během zatápění v KDP

## Výsledek č. 1, druh výsledku Nmet

---

**Název projektu:** Výzkum vlivu postupného zatápění karvinské dílčí pánve OKR důlní vodou s vysokou salinitou na ohrožení krajiny dotčené těžbou uhlí a stabilitu HDD

**Číslo projektu:** TITSCBU908

**Řešitel projektu:** Green Gas DPB, a.s., hlavní řešitel

**Doba řešení:** zahájení projektu: 1.7.2020, ukončení projektu, vč. vypořádání (kvartály + 3M):  
30.9.2022

**Důvěrnost a dostupnost:** veřejně přístupný (URL původu: <http://www.dpb.cz>)

**Autorský tým:**

Green Gas DPB, a.s., (podíl práce 45 %)

VŠB – Technická univerzita Ostrava, FAST (podíl práce 45 %)

DIAMO, státní podnik, (podíl práce 10 %)

**Oponentní posouzení (oponentní posudky přiloženy):**

Odborník z oboru

**Doc. Ing. Petr Janas, CSc.**

Pracoviště: důchodce, znalec v oboru těžba, odvětví těžba uhlí od roku 1982, odborným zájmem mimo jiné stavební mechanika, hornická geomechanika, statika podzemních a hornických děl, autor řady znaleckých posudků, včetně znaleckých posudků k technickému postupu likvidace jam v OKR.

Odborník ze státní správy

**Ing. Martin Malíř**

Pracoviště: Český báňský úřad, vedoucí 2. oddělení oboru hornictví.

1	Cíl metodiky .....	4
2	Vlastní popis metodiky .....	4
2.1	Obecné premisy řešení stability zlikvidovaných jam .....	5
2.2	Koncepční přístup k zařazení jámy z hlediska posouzení míry ohrožení stability HDD a jejího okolí během zatápění a po zatopení .....	8
2.3	Kategorizace rizikovosti skupin jam během zatápění a po zatopení .....	8
2.4	Analytické stanovení poklesu nezpevněného zásypu v likvidovaných jámách při jejich zatápění .....	14
2.4.1	Analytické stanovení stlačení sloupce zásypu .....	15
2.4.2	Analytické stanovení maximálního objemu vytlačeného zásypu z jámového stvolu .....	23
2.4.3	Časová závislost sedání nezpevněného zásypového sloupce na výšce hladiny vody v HDD během zatápění pánve pro jednotlivé kategorie .....	26
2.4.4	Obecná opatření plynoucí z využití nezpevněného zásypového materiálu .....	33
2.5	Srovnání „novosti postupů“ oproti původní metodice, případně jejich zdůvodnění, pokud se bude jednat o novou neznámou metodiku .....	33
2.6	Popis uplatnění Certifikované metodiky .....	34
2.7	Ekonomické aspekty uplatnění Certifikované metodiky .....	34
2.8	Seznam použité související literatury .....	36
2.9	Seznam publikací, které předcházely metodice a byly publikovány (pokud existují), případně výstupy z určité znalosti, jestliže se jedná o originální práci. U jednotlivých publikací je třeba uvést dedikaci, která je v jednotlivých publikacích uvedena .....	37

## 1 Cíl metodiky

Metodický postup byl zpracován a vznikl na základě Smlouvy o poskytnutí podpory k projektu č. TITSCBU908 s názvem „Výzkum vlivu postupného zatápění karvinské dílčí pánve OKR důlní vodou s vysokou salinitou na ohrožení krajiny dotčené těžbou uhlí a stabilitu HDD“ zadaného v rámci programu BETA2 (Technologické agentury ČR).

Cílem metodiky je vyhodnocení informací a posouzení míry ohrožení stability HDD (hlavních důlních děl a jejich okolí) v karvinské dílčí pánvi (dále jen KDP) v důsledku budoucího zatápění. Rizikem mohou být deformace povrchu terénu kolem jam, nebo v nejkrajnějším případě kolaps části konstrukce jámy na úseku ústí jámy na povrch ve vztahu k veřejnému prostoru.

Za rizikové deformace z pohledu vhodnosti využití oblasti v okolí jámy je nutno považovat takové deformace, které překračují mezní hodnoty uvedené v platné normě ČSN 73 1004 (příloha B - doporučené limitní velikosti sednutí plošných základů).

KDP je pro uvedenou metodiku definována plochou dobývacích prostorů na černé uhlí, které do pánve spadají, resp. výskytem likvidovaných/činných svislých hlavních důlních děl (HDD) v těchto dobývacích prostorech.

Rozloha KDP je definována těmito dobývacími prostory (DP): DP Dolní Suchá, DP Lazy, DP Doubrava, DP Karviná – Doly I, DP Karviná – Doly II, DP Horní Suchá, DP Stonava, DP Louky a DP Darkov.

Seznam likvidovaných a činných HDD a dobývacích prostorů, na které lze uvedený metodický postup aplikovat, je uveden v příloze 1.

## 2 Vlastní popis metodiky

Na základě geologických a geotechnických charakteristik horninového prostředí a s využitím shlukovací analýzy jsou všechny zlikvidované jámy v KDP rozčleněny do skupin podobnosti (příloha 2). Analýza potenciální rizikovosti vybraných reprezentantů skupin likvidovaných jam HDD během procesu zatápění byla provedena na základě obecných předpokladů řešení stability zlikvidovaných jam, analytického modelu chování zásypu v jámách a prostorového numerického modelu jam.

### Metodiku tvoří tyto základní části:

- Obecné premisy řešení stability zlikvidovaných jam.
- Koncepční schéma zařazení jámy z hlediska posouzení míry ohrožení stability HDD a jejího okolí během zatápění a po zatopení.
- Kategorizace rizikovosti HDD v KDP během zatápění.
- Analytické stanovení poklesu nezpevněného zásypu v likvidovaných jámách při jejich zatápění.
- Časová závislost sedání nezpevněného zásypového sloupce v závislosti na výšce hladiny vody v HDD během zatápění pánve pro jednotlivé kategorie.

## 2.1 Obecné premisy řešení stability zlikvidovaných jam

Pro trvalou stabilitu jam po jejich likvidaci během zatápění a po ustálení hladiny jsou podstatné konstrukční a materiálové parametry ostění jam, interakce ostění jam s horninovým prostředím na vnějším plášti ostění jámy, interakce se zásypem na vnitřním plášti jámy a změny parametrů ostění a zásypu (viz příloha 1). Kritickým místem dopadu těchto interakcí a změn může být širší okolí povrchu jámy. Možné scénáře chování jámy zohledňují zhoršující se degradaci jámového ostění, podmíněnou časem a plynoucí z agresivního vlivu podzemních vod a dále chování zásypu, kde lze rovněž očekávat změny, a to zejména u nezpevněných forem zásypu. V případě nezpevněného zásypu bude existovat reálné nebezpečí, že nastanou změny v jeho konzistenci ze sypké na kašovitou až tekutou v důsledku dlouhodobého trvalého působení zatápějících vod na materiálovou podstatu zásypu. Toto nebezpečí je mimořádně vysoké především v situaci, kdy chybí nebo jsou zcela nedostatečné informace o tom, z jakého materiálu je zásyp proveden. Obecně platí, že totální ztráta únosnosti ostění může nastat, jestliže dojde k pohybu zásypu v jámě, při úniku materiálu zásypu do důlních děl a prostorů v okolí jámy a vytvoření volných dutin v tubusu jámového stvolu. Za této situace samotné degradované ostění jámy nezajistí stabilitu okolního horninového masivu a je nutno počítat s vytvořením závalu do uvolněného prostoru jámového tubusu bez zásypu. Za závažné je nutno zejména považovat závaly, které se vytvoří v jámovém tubusu v úseku pokryvných útvarů v důsledku poklesů zásypu, neboť pevnostní a přetvárné parametry pokryvných útvarů jsou výrazně nižší ve srovnání s karbonským masivem. Významnou roli z hlediska stability má přitom také i malá vzdálenost dílčího závalu úseku jámy od povrchu terénu. Zatímco zával do tubusu jámy blízko jejího ústí se bude s velkou pravděpodobností propagovat až k povrchu jámy, zával na dílčím úseku jámového stvolu v hloubce několika stovek metrů pod povrchem v karbonských horninách se s vysokou pravděpodobností na povrchu vůbec neprojeví.

### Stabilita jámového ostění

Obecně může být stabilita jámy narušena ztrátou únosnosti ostění. Ztráta únosnosti ostění vyplývá z překročení napjatosti v ostění nad pevnostní meze materiálu ostění, přičemž je nutno zohlednit i časovou degradaci materiálu ostění a odpovídající snižování materiálových charakteristik ostění, včetně pevností. Během činnosti dolů, a tedy i svislých důlních děl, dochází v určitých částech jámy k postupné degradaci jámového ostění, ztrátě únosnosti vlivem různých faktorů, zejména karbonatizace betonu a pojiv (cihelne zdivo) a korozním účinkem důlních vod. Napětí v ostění jámy může být kromě geostatického a hydrostatického zatížení výrazně ovlivněno rovněž vlivem dobývání v okolí jámy, případně dalším zatížením.

### Stabilita horninového masivu

Stabilita horninového masivu v okolí jámy je dána zejména geotechnickými a geomechanickými poměry. Z hlediska stability horninového masivu je nejpříznivější komplex pevných karbonských hornin, který může být ovlivněn přítomností slojí a oblastí zvětralých, zvodnělých hornin. Výrazný vliv na nestabilitu horninového masivu má úklon vrstev. V rámci KDP je tento efekt náchylnosti hornin k vyjíždění do nezajištěného prostoru eliminován subhorizontálním uložením vrstev. Dále je stabilita horninového masivu závislá na porušenosti hornin na kontaktu s ostěním a napjatostí horninového masivu. Lokální závaly se mohou projevit v místech zvýšené koncentrace napětí nebo při snížení pevnosti hornin (měkké horniny, zvětrání aj.). Příznivým faktorem v KDP je přítomnost velkého počtu mocných lavic pevných pískovců a prachovců. Vysoká pevnost hornin minimalizuje tvorbu rozvolněné oblasti a tvoří přirozenou překážku šíření závalů do nadloží s možnými deformačními projevy na povrchu.

Z výše uvedeného se jako málo pravděpodobný jeví případ propagace deformačních projevů na povrch při závalu ve větších hloubkách. Na základě strukturní stavby horninového masivu v KDP a pevnostních charakteristik hornin bude každý vznikající zával stabilizován nadložními mocnými vrstvami pískovců a prachovců, kterých je v KDP značný počet.

Zával na úseku jámy v blízkosti jejího ústí v pokryvných vrstvách nad karbonskými souvrstvím je naopak předpokladem pro propagaci závalu až na povrch s výraznými deformačními projevy na okolí ústí jámy.

### **Vliv zásypu na stabilitu vyztužené jámy**

Z hlediska jednotlivých typů zásypu je obecně pro zatápnění a jeho vliv na stabilitu jámy nejhorší nezpevněný zásyp, o kterém nemáme žádné informace a nejsme schopni ani monitorovat jeho hladinu pod povrchem. Zásyp jako takový nemůže zabránit rozvoji degradaci konstrukce ostění jámy, ale aktivně brání tvorbě a propagaci závalů. Ztráta této funkce může nastat v případě nadměrného sedání zásypu a vyjetím zásypu do volných prostor. Tento efekt může vyvolat poškození ostění jámy v jakékoli části jámového stvolu, přičemž stabilita tohoto úseku bude pak opět záviset na přítomnosti zásypu v jámě a stabilitě horninového masivu v místě poškození. Monitoring hladiny zásypu v jámě je proto zásadní, protože pouhé nepřímé monitorování zjištěním deformací na povrchu, pak už může zpravidla signalizovat havarijní stav.

### **Stabilita zásypu**

Co se týče zásypu, lze předpokládat několik druhů zásypového materiálu. Nejméně vhodnou variantou výplně tubusu jámy z hlediska její stability je pouhé zaplnění jámového tubusu vodou. Pouhá vodní výplň tubusu jámy je nejméně efektivní stabilizací tubusu jámy a nevytváří spolehlivou zábranu proti tvorbě závalu jámového ostění do tubusu jámy. Další variantou je nezpevněný zásyp. Zde již funguje autostabilizační funkce zásypu. Vyplnění jámy nezpevněným zásypem je prakticky nejčastější způsob likvidace (často volen z hlediska časového a ekonomického pohledu), který však má svá rizika, jež mohou být právě během zatápnění výrazně zesílena. Z bezpečnostního hlediska se jako nejvhodnější jeví zásyp s hydraulickým účinným tmelem. Relativně vyšší náklady jsou vyváženy zvýšením bezpečnosti takto likvidovaných jam i z hlediska možných projevů do budoucna (včetně projevů v průběhu zatápnění).

Problematika stability zásypu je do značné míry určena spolehlivostí likvidace jámy ve vztahu k veřejnému prostoru. Mezi základní faktory, které určují spolehlivost likvidace, obecně patří minimalizace sedání zásypu (která je determinována vlivem materiálových vlastností, technologií provádění zásypu, technické přípravy jámy pro likvidaci, vlivem hydrogeologických poměrů během likvidace a po likvidaci), dále možnost provádět rychlé nápravy/opatření (tzn. rychlá eliminace zvýšeného sedání zásypu, možnost dosypání zásypu), zajištění stability jámy na ústí a stav ostění (porušení, deformace apod.).

Způsob a kvalita výplně jámového stvolu výrazným způsobem určuje stabilitu jámy při projevech nestability jámového ostění (degradace), popř. nestability okolních hornin. Z tohoto pohledu jsou rizikové staré jámy likvidované bez příčinných metodických postupů a kontrol. Takové jámy mohou obsahovat nesourodý materiál s možnou přítomností kaveren (nezaplňených částí jámy) a nevhodné hrázové objekty. Zaplavení těchto jam důlní vodou vyvolává rizika nestability výplně, včetně nestability ostění.

Zásadním problémem nezpevněného/nesourodého materiálu zásypu je možnost jeho „vtlačování“ do horizontálních děl s vytvořením tzv. autostabilizačních zátek. Stabilita nezpevněného zásypového materiálu je determinována obecnou koncepcí zajištění vtlačovaného zásypu, tzn. třením mezi zásypem



a ostěním, napětím v zásypu (určenými především jeho mechanickými vlastnostmi) a existencí dostatečně únosných hrázových objektů v horizontálních dílech. Rovnovážený stav před zatápěním může být narušen během zatápění a po jeho ukončení. Vzniknou nové podmínky chování zásypového materiálu vlivem změny mechanických vlastností, což může vyvolat změny chování materiálů v nárazištích, jeho vtlačení do horizontálních děl v případě např. nevhodných hrází, jejich degradace, popř. jejich úplné neexistence apod. Snížení mechanických vlastností zásypového materiálu zvýší horizontální napětí na hrázové objekty. U starých likvidovaných jam lze předpokládat různorodý materiál zásypu i z pohledu degradace zrn nezpevněného zásypu pádem a nárazy materiálu na překážky (rozpony, nosníky), kdy materiál může dosáhnout minimální zrnitosti, což vyvolá rozdílné chování takto vzniklého podrceného materiálu ve srovnání s materiálem původním. Tento problém změny zrnitostního složení souvisí zejména se samotnou technologií likvidace, tzn. způsobem sypání, zrnitostí, různorodostí materiálů, s velkým obsahem jílových příměsí, s velkým sedáním materiálů, s možnou přítomností nezaplňených kaveren v jámě. Tento stav je však možno eliminovat právě monitoringem a v případě jeho pohybu dosypáním.

### **Stabilita hrázových objektů na důlních dílech ústících do jámy**

Při likvidaci jam byly zřízeny hrázové objekty na důlních dílech, které ústí do jámového tubusu. Účelem těchto objektů je zabránit pohybu zásypu z jámového tubusu do uvedených důlních děl. Pro tyto objekty obecně platí, že musí mít dostatečnou únosnost a vzdorovat předpokládanému horizontálnímu zatížení od zásypu a účinkům vody.

Jako základní hrázové objekty se nejčastěji v KDP používaly hráze z cihel (zděné hrázové průniky), tvárnic, betonu a popílkové hráze. První typy hrází odolávají menším tlakům, betonové hráze odolávají tlakům větším.

Hrázové objekty musí odolat horizontálnímu napětí v zásypu, a to i v době po zatopení. Hlavním problémem hrázových objektů je správné dimenzování hráze a dlouhodobá pevnost a životnost materiálů použitých pro jejich konstrukci. Materiálové charakteristiky hráze budou postupně degradovat vlivem dlouhodobého trvalého působení vody v průběhu zatápění i po zatopení.

V KDP je u starších likvidovaných jam s nezpevněným zásypem velká část průníků nezajištěna hrázovými objekty nebo objekty nemají dostatečnou únosnost. V těchto situacích je nutno počítat s tvorbou autostabilizačních hrází, které se samovolně vytvoří v dílech ústících do jámového tubusu z nezpevněného zásypu vytlačeného z jámového tubusu. V případě těchto starších jam likvidovaných nezpevněným zásypem bez dosypového otvoru představuje hrázový objekt pouze vyzděný objekt proměnlivé tloušťky bez dalšího zajištění popílkovou hrází, což nezajišťuje dostatečnou únosnost hráze. Lze očekávat, že u těchto starších jam bude docházet z hlediska dlouhodobého k degradaci hrázových objektů a ke snížení jejich únosnosti, popř. tyto hrázové objekty zcela chybí. U jam likvidovaných po roce 1997 se předpokládá řádné uzavření důlních děl ústících do jámového stvolu hrázovými objekty s dostatečnou únosností na očekávané hodnoty horizontálního tlaku od zásypu. Pro stabilitu hrází během zatápění je podstatné, aby zatížení hrází nebylo náhlé a nepůsobilo jednostranně. Těsnost hrází se ze zkušeností nepředpokládá, tzn. lze očekávat oboustranné zatížení hráze vodou během zatápění. Nicméně nelze kategoricky vyloučit také možnost jednostranného zatížení ze směru od jámového tubusu. Pokud tedy dojde k porušení hráze a pohybu nezpevněného zásypu, lze toto odhalit monitorováním výšky hladiny zásypu v jámě současně s monitoringem výšky hladiny vody v pozorované oblasti. Zde jednoznačně vyplývá riziko pro povrch v okolí jam, u kterých není dosypový otvor a není možné sledovat hladinu zásypu v jámě.

## Stabilita ústí jam

Úsek jámového tubusu ústící na povrch je z pohledu ohrožení povrchu terénu kolem bezprostředního okolí jámy nejkritičtější místem. Jakýkoliv zával na tomto úseku má bezprostřední dopad na okolí jámy a projeví se značnými deformacemi povrchu a v krajním případě vznikem propadu povrchu terénu. Eliminace závalu závisí na provedení likvidace jámy, tedy úplném zaplnění stvolu jámy specifikovaným zásypovým materiálem, na dlouhodobé strukturní petrografické a zrnitostní stabilitě materiálu zásypu, na dodržení podmínek technologie provádění zásypu, na kontrole provádění a způsobu zajištění pater a prníků z hlediska dlouhodobé stability v agresivním prostředí. Pro vznik rizika na povrchu, vyplývající z interakce mezi ostěním jámy, zásypem jámy a horninovým prostředím, je důležitým aspektem rovněž hloubková lokalizace závalu od ústí jámy. Za rizikové je nutno považovat staré jámy likvidované nezpevněným zásypem neznámého původu, které nemají možnost na ústí sledovat zásyp a zásyp doplňovat a u kterých nejsou známy informace o uzavření průníků do jámy či charakter vybudovaných hrázových objektů. U těchto jam nelze předpokládat/garantovat plné zasypání jámy bez jakýchkoli kaveren, způsob a kvalitu uzavření jednotlivých průniku do jámy a jejich stálost v agresivním prostředí, což může v samotném důsledku vést k redistribuci zásypového materiálu a jeho ujíždění do volných důlních děl během zatápění.

## 2.2 Konceptní přístup k zařazení jámy z hlediska posouzení míry ohrožení stability HDD a jejího okolí během zatápění a po zatopení

Navržený konceptní přístup k určení rizika souvisejícího se zatápěním KDP vychází z obecných předpokladů řešení stability zlikvidovaných jam, analytického modelu chování zásypu v jámách během zatápění a prostorového numerického modelu jam. Na základě provedené shlukovací analýzy na souboru dat, zahrnující informace o 61 HDD v KDP, byly vytvořeny skupiny podobnosti jam a vymezily se pro jednotlivé skupiny jam míry rizika, předpokládané škody a ztráty. Analytický přístup přinesl informace o možnosti sedání nezpevněného zásypu během zatápění a prostorový numerický model poskytl pro šest reprezentativních likvidovaných jam prognózu chování jam při zatápění a stanovil projevy deformace na okolí povrchu jam a z nich plynoucí nebezpečí na objekty v okolí likvidovaných jam a veřejný prostor. Tento kombinovaný analyticko-numerický přístup dokumentoval prognózu vývoje stability úseku jámového stvolu, vycházejícího na povrch a riziko zhroutení jámového stvolu na tomto úseku v případě poklesu zásypu v jámě. Řešení problematiky navazuje na znalecké posudky, které zpracovali Aldorf (1996, 1997, 2006, 2007a, 2007b, 2007c) a Janas (2019), k problematice likvidace jam v minulých letech. Od uvedených autorů byly převzaty některé parametry vstupující do výpočtů numerickými modely.

## 2.3 Kategorizace rizikovosti skupin jam během zatápění a po zatopení

Základním kritériem pro kategorizaci rizikovosti skupin jam je možný vývoj deformačních projevů povrchu terénu v okolí jam během zatápění a po zatopení. Tyto deformační projevy jsou stanoveny s využitím numerického modelování, analytického modelu chování zásypu v jámách během zatápění a obecných předpokladů řešení stability zlikvidovaných jam. Na základě umístění jámy určité kategorie ve veřejném prostoru je definována míra rizika. Míra rizika se opírá o situování jam z pohledu městské zástavby, blízkosti inženýrských sítí a komunikací.

Z výše uvedených pohledu kategorizujeme skupiny jam v případě zatopení důlní vodou do 6 kategorií podle stupně ohrožení stability HDD, a tedy i veřejného prostoru, přičemž kategorie (I) reprezentuje nejnebezpečnější stav a kategorie (V) stav nejméně nebezpečný. Samostatně je vyčleněna kategorie VI – plynové jámy (viz příloha 2).



### Kategorie (I) s očekávaným vysokým stupněm nebezpečí (skupina I dle přílohy 2)

HDD založeno v nestabilních, nezpevněných horninách (mocný pokryvný útvar – kvartér, miocén), likvidováno nezpevněnou základkou (likvidace před rokem 1997, včetně), popř. zásypem blíže nespecifikovaným (různorodý materiál) bez možnosti kontroly sedání zásypu, materiál ostění a hrázových objektů bez odolávání agresivnímu prostředí, bez bližších informací o hrázových objektech (zděné průniky), dobývání v jámovém ohradníku.

Rizikovost jam Kategorie I s očekávaným vysokým stupněm nebezpečí nestability z hlediska umístění ve veřejném prostoru tab. 1.

tab. 1: Míra rizika jam Kategorie I z hlediska umístění ve veřejném prostoru.

Popis oblasti	Míra rizika	Škody/ztráty
Oblast intravilánu, blízkost komunikací a energetických sítí	vysoké riziko	majetek, lidské
Okraj intravilánu, blízkost komunikací a energetických sítí	vysoké riziko	majetek, lidské
Extravilán obcí, blízkost komunikací a energetických sítí	vysoké riziko	majetek
Extravilán obcí, na zemědělské, či lesnické půdě.	střední riziko	majetek

Z hlediska logické úplnosti řešené problematiky je potřeba do kategorie I zařadit také veškerá stará důlní díla (SDD), vyskytující se v KDP.

### Kategorie (II) s očekávaným středním stupněm nebezpečí (skupina II dle přílohy 2)

HDD založeno v nestabilních nezpevněných horninách (mocný pokryvný útvar – kvartér, miocén), likvidováno nezpevněnou základkou jasně specifikovanou – atestovanou (likvidace po roce 1997), předpoklad vyplnění celého stvolu jámy s možností kontroly sedání zásypu, materiál hrázových objektů bez odolávání agresivnímu prostředí, dobývání v jámovém ohradníku.

Rizikovost jam Kategorie II se středním stupněm nebezpečí nestability z hlediska umístění ve veřejném prostoru (tab. 2).

tab. 2: Míra rizika jam Kategorie II z hlediska umístění ve veřejném prostoru.

Popis oblasti	Míra rizika	Škody/ztráty
Oblast intravilánu, blízkost komunikací a energetických sítí	střední riziko	majetek
Okraj intravilánu, blízkost komunikací a energetických sítí	střední riziko	majetek
Extravilán obcí, blízkost komunikací a energetických sítí	střední riziko	majetek
Extravilán obcí, na zemědělské, či lesnické půdě.	nízké riziko	majetek

### Kategorie (III) s očekávaným nízkým stupněm nebezpečí (skupina III dle přílohy 2)

HDD založeno v nestabilních nezpevněných horninách (málo mocný pokryvný útvar – kvartér, miocén), málo až středně pevných horninách, likvidováno nezpevněnou základkou jasně specifikovanou – atestovanou v kombinaci se základkou zpevněnou, tzn. CPS v náraží, zbylý stvol výpěrky (likvidace po roce 1997), předpoklad vyplnění celého stvolu jámy s možností kontroly sedání zásypu, materiál hrázových objektů bez odolávání agresivnímu prostředí, dobývání v jámovém ohradníku.

Rizikovost jam Kategorie III s očekávaným nízkým stupněm nebezpečí nestability z hlediska umístění ve veřejném prostoru (tab. 3).

tab. 3: Míra rizika jam Kategorie III z hlediska umístění ve veřejném prostoru.

Popis oblasti	Míra rizika	Škody/ztráty
Oblast intravilánu, blízkost komunikací a energetických sítí	střední riziko	majetek
Okraj intravilánu, blízkost komunikací a energetických sítí	střední riziko	majetek
Extravilán obcí, blízkost komunikací a energetických sítí	nízké riziko	majetek
Extravilán obcí, na zemědělské, či lesnické půdě.	nízké riziko	majetek

### Kategorie (IV) s očekávaným velmi nízkým stupněm nebezpečí (skupina IV dle přílohy 2)

HDD založeno v nestabilních nezpevněných horninách (mocný pokrývný útvar – kvartér, miocén), málo až pevných horninách, likvidováno zpevněnou základkou (likvidace po roce 1997), v jámovém ohradníku nebylo dobýváno.

Rizikovost jam Kategorie IV s nízkým stupněm nebezpečí nestability z hlediska umístění ve veřejném prostoru (tab. 4).

tab. 4: Míra rizika jam Kategorie IV z hlediska umístění ve veřejném prostoru.

Popis oblasti	Míra rizika	Škody/ztráty
Oblast intravilánu, blízkost komunikací a energetických sítí	nízké riziko	majetek
Okraj intravilánu, blízkost komunikací a energetických sítí	nízké riziko	majetek
Extravilán obcí, blízkost komunikací a energetických sítí	nízké riziko	majetek
Extravilán obcí, na zemědělské, či lesnické půdě.	bez rizika	-

### Kategorie (V) bez nebezpečí (skupina IV dle přílohy 2)

HDD založeno v nestabilních nezpevněných horninách (málo mocný pokrývný útvar – kvartér, miocén), málo až pevných horninách, likvidováno zpevněnou základkou (likvidace po roce 1997), v jámovém ohradníku nebylo dobýváno.

Rizikovost jam Kategorie V bez nebezpečí z hlediska umístění ve veřejném prostoru (tab. 5).

tab. 5: Míra rizika jam Kategorie V z hlediska umístění ve veřejném prostoru.

Popis oblasti	Míra rizika	Škody/ztráty
Oblast intravilánu, blízkost komunikací a energetických sítí	nízké riziko	majetek
Okraj intravilánu, blízkost komunikací a energetických sítí	bez rizika	-
Extravilán obcí, blízkost komunikací a energetických sítí	bez rizika	-
Extravilán obcí, na zemědělské, či lesnické půdě.	bez rizika	-

### Kategorie plynové jámy (VI) (skupina VI dle přílohy 2)

HDD plynové jámy se zásadně odlišují od předchozích kategorií tím, že zde vědomě zůstává nezasypaný úsek jámového stvolu od dna jámy k železobetonové zátce jámy, zřízené v náraží jámy. Od úrovně železobetonové zátky až k ústí jámy následuje řádně zhotovený souvislý zpevněný zásyp z CPS. Nezasypaný úsek se nachází zcela v karbonském souvrství. Ostění na tomto úseku je z betonu a v období aktivního využívání jámy na ostění nebyly zaznamenány žádné projevy nestability (deformace, výskyt trhlin) a jámový ohradník zůstal nedotčen těžbou. Bude-li úroveň hladiny vody během zatápění, eventuálně po zatopení celého tohoto úseku na stejné úrovni jako hladina v okolním

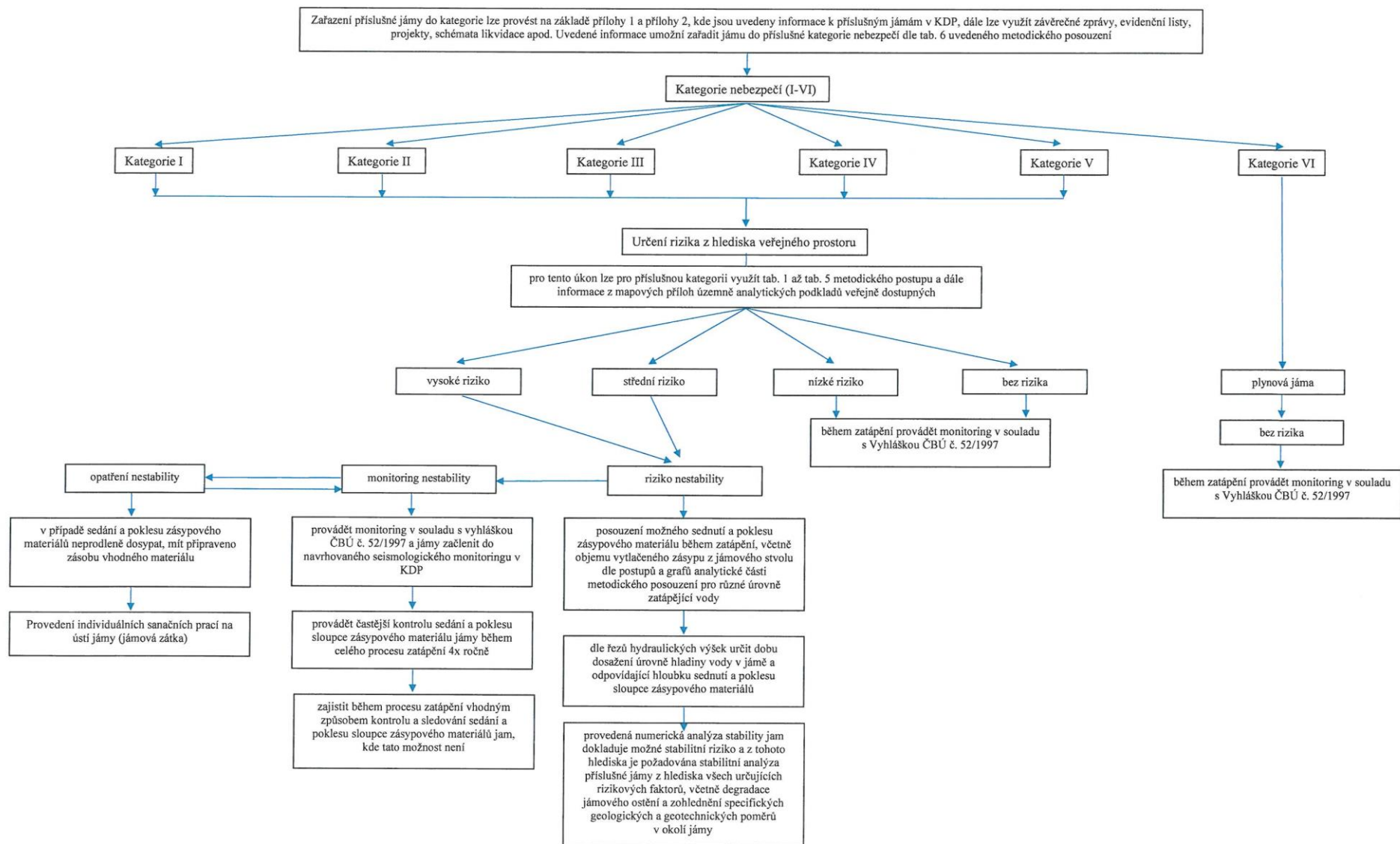
horninovém prostředí, budou hydrostatické tlaky uvnitř a vně ostění jámy stejné a tato situace nebude mít vliv na zvýšení zatížení na ostění. Bude-li hladina v jámě vyšší než v okolí, zatížení na ostění bude menší, než bylo před zatápěním. Třetí situace může nastat, když jáma na nezasypaném úseku zůstane nezatopená a tlak vody na vnější plášť ostění jámy bude zvyšovat hodnotu zatížení ostění, nicméně ani tato situace nemusí představovat významnější riziko pro stabilitu ostění. Hydrostatický tlak v tomto případě bude konstantní a rovnoměrně rozložen po vnějším obvodu ostění, což zvýší hodnotu napětí v průřezu ostění na přechodnou dobu, dokud se volné prostory jámy nezaplní vodou. Možnost vzniku třetí situace je však vysoce nepravděpodobná, protože k zaplnění jámy není zapotřebí značných objemů vody a předpoklad, že do prostoru jámy nebude přitékat žádná voda, je zcela nepravděpodobný. S ohledem na výše uvedené okolnosti a skutečnost kontrolované likvidace této kategorie jam je tato kategorie zařazena mezi jámy bez rizika.

### Koncepční shrnutí pohledu kategorizace

Stanovení nebezpečí HDD formou kategorizace do šesti skupin významně zjednodušuje pohled na rizikovost jednotlivých jam ve vztahu k veřejnému prostoru v oblasti KDP. Nicméně každé HDD je vysoce individuální objekt, a proto by i jeho posouzení v případě řešení detailních úloh, mělo být individuální. Výše uvedené kategorie tedy představují koncepční návod, jak k jednotlivým likvidovaným HDD přistoupit z hlediska stanovení míry rizika stability HDD pro veřejný prostor během zatápění (obr. 1). Tato metodika vychází ze znalosti a analýz provedených zpracovatelem, včetně aplikace stabilitního numerického modelu a analytického modelu.

### Zařazení jámy do příslušné kategorie

Zařazení jámy do příslušné kategorie lze také provést na základě tab. 6 sloupec „Geologicko-geotechnická charakteristika kategorie“. Současně další sloupce tab. 6 shrnují pro příslušnou kategorii HDD možný očekávaný vývoj chování prostředí v okolí jámy a opatření, která je nutno v souvislosti s příslušnou kategorií provádět. tab. 6 je podkladem pro koncepční schéma stanovení míry rizika HDD (obr. 1).



obr. 1: Koncepční schéma stanovení míry rizika ohrožení stability HDD

tab. 6: Kategorizace HDD (kategorie I až kategorie VI)

Kategorie	Geologicko-geotechnická charakteristika kategorie	Očekávaný vývoj chování prostředí jámy během zatápnění	Opatření
(I)	nestabilní horniny v profilu třídy R4-R6, zeminy S, G, F (mocný pokravný útvar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nadměrné sedání sloupce záspového materiálu vlivem zatápnění vody</li> <li>- náhlý pohyb sloupce záspového materiálu při výtoku záspy do horizontálních děl ústíech do jámového stvolu</li> <li>- degradace ostění jámy na úsecích bez záspy, ztráta únosnosti ostění a zával nestabilních hornin do profilu jámy</li> <li>- na povrchu vytvoření kráteru v oblasti kolem ústí jámy, deformace terénu v okolí jámy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bez informací o změnách záspového materiálu během zatápnění nelze riziko eliminovat</li> <li>- zajistit vhodný způsob monitoringu sedání záspového materiálu</li> <li>- připravit projekty zajištění ústí těchto jam</li> <li>- sledování indukované seismicity během zatápnění</li> </ul>
	<b>nezpevněný zásep blíže nespecifikovaný (různorodý materiál), při zatápnění, vysoké riziko alterace záspy na kašovitou hmotu po jeho zaplavení, riziko snížení úhlu tření záspy po jeho zaplavení</b>		
	<b>likvidace před rokem 1997</b>		
	materiál výztuže a hrázových objektů bez odolávání agresivnímu prostředí		
	<b>bez kontroly sedání záspy</b>		
	zděné průniky/bez informací o uzavíracích objektech		
bez dobývání /dobývání v jámovém ohradníku			
(II)	nestabilní horniny v profilu třídy R4-R6, zeminy S, G, F (mocný pokravný útvar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- postupné sedání sloupce záspového materiálu vlivem zatápnění vody</li> <li>- degradace ostění jámy na úsecích bez záspy, ztráta únosnosti ostění a zával nestabilních hornin do profilu jámy</li> <li>- na povrchu deformace terénu v okolí jámy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pečlivě kontrolovat sedání záspy během zatápnění a v případě sedání dosypávat materiál do vzniklých volných prostor</li> </ul>
	<b>nezpevněný zásep blíže specifikovaný – certifikovaný, předpoklad plného vyplnění jámového stvolu,</b>		
	<b>likvidace po roce 1997</b>		
	materiál výztuže a hrázových objektů bez odolávání agresivnímu prostředí		
	<b>možnost kontroly sedání záspy</b>		
	zděné průniky/popilkové hráze		
bez dobývání /dobývání v jámovém ohradníku			
(III)	nestabilní horniny v profilu třídy R4-R6, zeminy S, G, F (málo mocný pokravný útvar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- malé sedání na úsecích nezpevněného záspy v jámovém stvolu vlivem zatápnění vody</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pečlivě kontrolovat sedání záspy během zatápnění a v případě sedání dosypávat materiál do vzniklých prostor</li> </ul>
	<b>nezpevněný zásep blíže specifikovaný – certifikovaný, kombinovaný s CPS/výpěrky v nárazištích, předpoklad plného vyplnění jámového stvolu</b>		
	<b>likvidace po roce 1997</b>		
	materiál výztuže a hrázových objektů bez odolávání agresivnímu prostředí		
	<b>možnost kontroly sedání záspy</b>		
	betonové/popilkové hráze		
bez dobývání /dobývání v jámovém ohradníku			
(IV)	<b>nestabilní horniny v profilu třídy R4-R6, zeminy S, G, F (mocný pokravný útvar – kvartér, miocén)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- stabilní zásep i během zatápnění vodou</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kontrola jam dle Vyhlášky ČBÚ č. 52/1997</li> </ul>
	<b>zpevněný zásep v celém profilu jámy</b>		
	<b>likvidace po roce 1997</b>		
	materiál výztuže a hrázových objektů bez odolávání agresivnímu prostředí		
	zděné/betonové/popilkové hráze		
	bez dobývání v jámovém ohradníku		
(V)	<b>nestabilní horniny v profilu třídy R4-R6, zeminy S, G, F (málo mocný pokravný útvar – kvartér, miocén)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- stabilní zásep i během zatápnění vodou</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kontrola jámy dle Vyhlášky ČBÚ č. 52/1997</li> </ul>
	<b>zpevněný zásep v celém profilu jámy</b>		
	<b>likvidace po roce 1997</b>		
	materiál výztuže a hrázových objektů bez odolávání agresivnímu prostředí		
	zděné/betonové/popilkové hráze		
	bez dobývání v jámovém ohradníku		
(VI)	<b>plynová jáma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- stabilní zásep i během zatápnění vodou</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kontrola jámy dle Vyhlášky ČBÚ č. 52/1997</li> </ul>
	zpevněný zásep v celém profilu jámy		
	likvidace po roce 1997		
	materiál výztuže a hrázových objektů bez odolávání agresivnímu prostředí		
	zděné/betonové/popilkové hráze		
	bez dobývání v jámovém ohradníku		

## 2.4 Analytické stanovení poklesu nezpevněného zásypu v likvidovaných jámách při jejich zatápění

Volba analytického modelu pro stanovení velikosti poklesu nezpevněného zásypu v jámě vyplynula z okolnosti, že tento typ modelu je běžně využíván k výpočtům poklesů sypkých hmot ve vysokých zásobnících (silech) kruhového profilu, což je identická situace, jakou představuje nezpevněný zásyp v důlní jámě.

Očekávané příčiny poklesu nezpevněného zásypu v likvidovaných jámách při jejich zatápění jsou dvě.

První příčina je objektivní a plyne z tíhy nezpevněného zásypu a okrajové podmínky nulového přetvoření v horizontálním směru. Nezpevněný zásyp se bude deformovat jen ve vertikálním směru a velikost poklesu bude dána stlačením sloupce zásypu v jámě.

Nesplnění okrajové podmínky nulového přetvoření v horizontálním směru je druhou příčinou, která povede k poklesu nezpevněného zásypu v likvidovaných jámách.

S nesplněním okrajové podmínky nulového přetvoření v horizontálním směru je nutno počítat v místech absence konstrukce jámového ostění, jak je tomu v případě průniků (napojení) horizontálních děl na tubus jámy v nárazech jam a také na úsecích průchodu jámy přes vyrubané uhelné sloje, pokud uvedené průniky a průchody nebyly uzavřeny příslušnými konstrukcemi hrázových objektů, jejichž statická činnost zajišťuje okrajovou podmínku nulového přetvoření v horizontálním směru.

Okrajová podmínka nulového přetvoření v horizontálním směru nebude rovněž splněna, dojde-li k destrukci vybudovaných hrázových objektů vlivem jejich zatížení horizontální složkou napětí v zásypu, působícího na hrázový objekt s následným vytlačáním zásypu z jámového stvolu do volných prostor za hrázemi.

Velikost poklesu zásypu v jámě bude záviset na počtu nezahrazených průniků a průchodů, nebo počtu hrázových objektů, u kterých hrozí nebezpečí jejich destrukce. Velikost poklesu zásypu v jámě bude dána celkovým objemem z jámy vtlačeného zásypu do všech nezajištěných průniků a průchodů, eventuálně celkovým objemem z jámy vtlačeného zásypu do prostoru za porušené hrázové objekty.

Kvantifikaci poklesu z této příčiny bude nutno provádět u každé likvidované jámy individuálně, neboť počty nezajištěných a zajištěných průniků a průchodů, jejich geometrické rozměry a dále i parametry hrázových objektů budou individuální pro každou likvidovanou jámu.

Pro kvantifikaci poklesu nezpevněného zásypu z obou jmenovaných příčin jsou pro každou z nich navržena příslušná jednoduchá analytická silová řešení, která postihují všechny geometrické okrajové podmínky definující jam (hloubka a světlý průměr) a průniků a pevnostně přetvárné parametry nezpevněného zásypu, jejichž hodnoty jsou známy a spolehlivě zjištěny. Výstupem metod jsou diagramy závislosti, umožňující snadný odečet hodnot poklesu nezpevněného zásypu pro kombinace parametrů jámy a výšky hladiny vody v jámě. Fyzikální, mechanické a přetvárné parametry zásypu (tj. tíha suchého zásypu a tíha zásypu pod hladinou vody – tzv. efektivní tíha; úhel tření pro suchý zásyp a úhel tření pro zásyp pod vodou; modul přetvárnosti zásypu) variací nepodléhají a jsou pro všechny kombinace stejné, aby byla zachována konzistence výpočtu těchto parametrů a volba hodnot parametrů zásypu je dále zdůvodněna v teorii k příslušné příčině poklesu nezpevněného zásypu.



## 2.4.1 Analytické stanovení stlačení sloupce zásypu

Výpočet stlačení sloupce suchého i zatopeného zásypu je založen na teorii aplikované pro výpočet napětí v zrnitém sypkém materiálu ve vysokých zásobnících-silech (Schreiter, 1961). Velikost vertikálního tlaku  $p_z$  v materiálu uvnitř síla závisí na poměru výšky  $k$  jeho světlému průměru a horizontální tlak  $p_x$  závisí na úhlu tření sypkého materiálu. Stejně tomu bude i u důlních jam zasypaných nezpevněným sypkým materiálem. Pokud má jáma jiný profil, než je kruh, pak lze aplikovat náhradní kruh, jehož obvod je roven obvodu nekruhového profilu jámy. Poslední důležitou okolností je identické chování sypkého materiálu na rozhraní s tuhou betonovou konstrukcí stěny síla, eventuálně jámovým betonovým ostěním, které je charakterizováno hodnotou tření na tomto rozhraní. V případě ostění jámy z jiného materiálu, než je beton, například ze zdiva, hodnota tření na rozhraní bude o něco vyšší. Nicméně z provedené analýzy vyplývá, že změny úhlu tření na rozhraní mezi sypkým materiálem a stěnou jen zanedbatelně ovlivňují hodnoty příslušných tlaků. Tento předpoklad platí, jestliže se hodnota úhlu tření na rozhraní bude pohybovat v obvyklém rozsahu.

Řešení napjatosti v zásypu vychází z rovnováhy sil pro element zásypu o výšce  $dz$  (Janssen, 1895). Proti tíze elementu  $\gamma dz$  ( $\gamma$  - objemová tíha nezpevněného zásypu) působí jednak přírůstek vertikálního tlaku  $dp_z$  a dále tření na rozhraní zásyp ostění. Pro plochu jámy  $A$  a vnitřní obvod jámy  $O$  má podmínka rovnováhy tvar

$$A dp_z + p_x O dz \tan \varphi' = \gamma A dz \quad (1)$$

kde

$\varphi'$  – úhel tření na rozhraní nezpevněného zásypu a jámového ostění

$$p_x = p_z \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2)$$

$\varphi$  – úhel tření nezpevněného zásypu.

Po příslušných úpravách obdržíme diferenciální rovnici

$$\frac{dp_z}{dz} + p_z \frac{O}{A} \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \tan \varphi' - \gamma = 0 \quad (3)$$

Řešením diferenciální rovnice (3) jsou hodnoty vertikálního a horizontálního tlaku v nezpevněném zásypu, které jsou dány vztahy

$$p_z = \frac{A \gamma}{O k} \left( 1 - e^{-\frac{O k}{A} H} \right), \quad p_x = \frac{A \gamma}{O k} \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \left( 1 - e^{-\frac{O k}{A} H} \right)$$

kde  $H$  je hloubkový horizont v jámě (od ústí jámy) a součinitel  $k$  je dán vztahem

$$k = \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \tan \varphi' \quad (4)$$

Pro velké hodnoty  $H$  se výraz  $e^{-\frac{O k}{A} H}$  blíží k nule, a proto  $p_z$  bude od určité hloubky konstantní a nezávislé na hloubce. Maximální velikost  $p_z$  bude funkcí světlého průměru jámy, objemové tíhy nezpevněného zásypu a součinitele  $k$  (viz obr. 2).

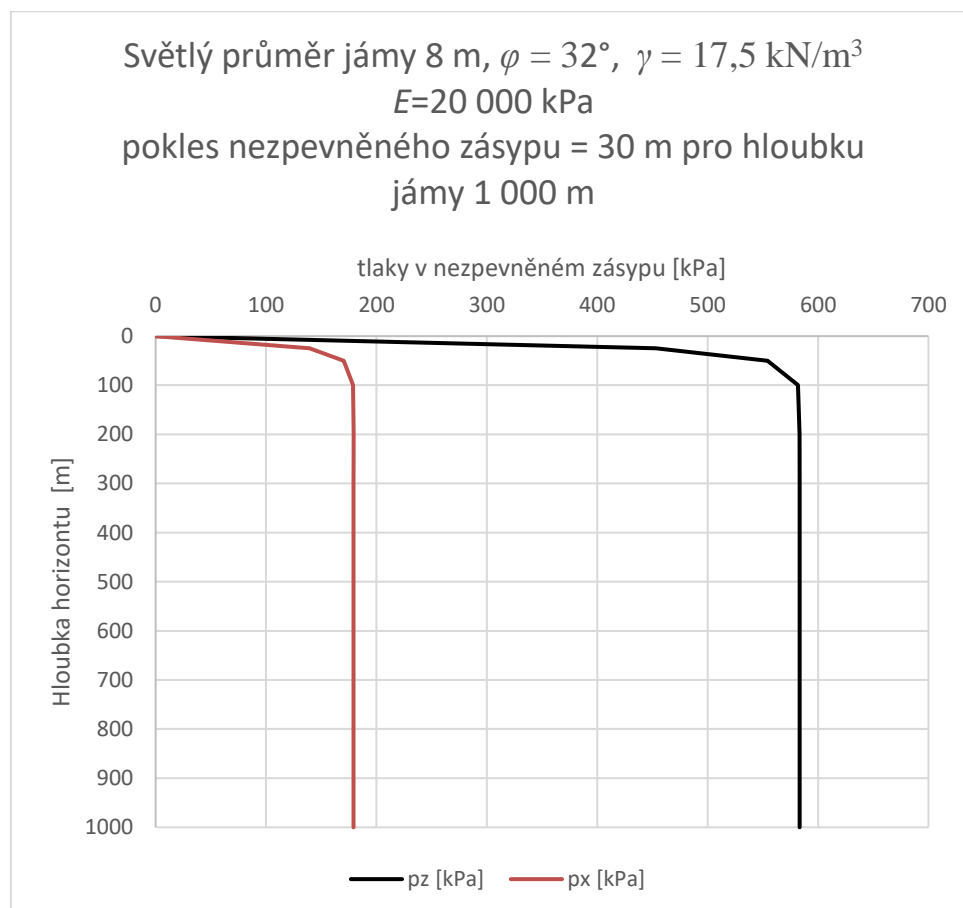
Hodnota úhlu tření na rozhraní sypkého materiálu a konstrukce  $\varphi'$  se standardně odvozuje z hodnoty úhlu tření  $\varphi$  a obvykle se volí jedna z hodnot podle kvality rozhraní buď,  $\varphi' = \frac{2}{3} \varphi$  pro drsnější

rozhraní, nebo hladší rozhraní  $\varphi' = \frac{1}{3}\varphi$  (ocel – sypký materiál). V našem případě je zvolena první varianta.

Průběhy obou tlaků v nezpevněném jámovém zásypu pro průměr jámy 8 m a úhel tření nezpevněného zásypu  $\varphi = 32^\circ$  a  $\gamma = 17,5 \text{ kNm}^{-3}$  jsou uvedeny na obr. 2.

Oba tlaky mají shodný průběh. Z počátku s hloubkou rostou až do určité hloubky a pak se ustálí na konstantní velikosti po celém zbývajícím úseku jámy.

Příčinou charakteristického konstantního průběhu obou tlaků v nezpevněném zásypu od určité hloubky je okolnost, že značná část vertikálního zatížení nezpevněného zásypu se přenáší třením na rozhraní mezi nezpevněným zásypem a ostěním jámy do konstrukce ostění jámy, a proto je další nárůst vertikálního tlaku v nezpevněném zásypu zastaven. Horizontální tlak se odvozuje z vertikálního tlaku (2), a tedy jiný průběh než tlak vertikální mít nemůže.

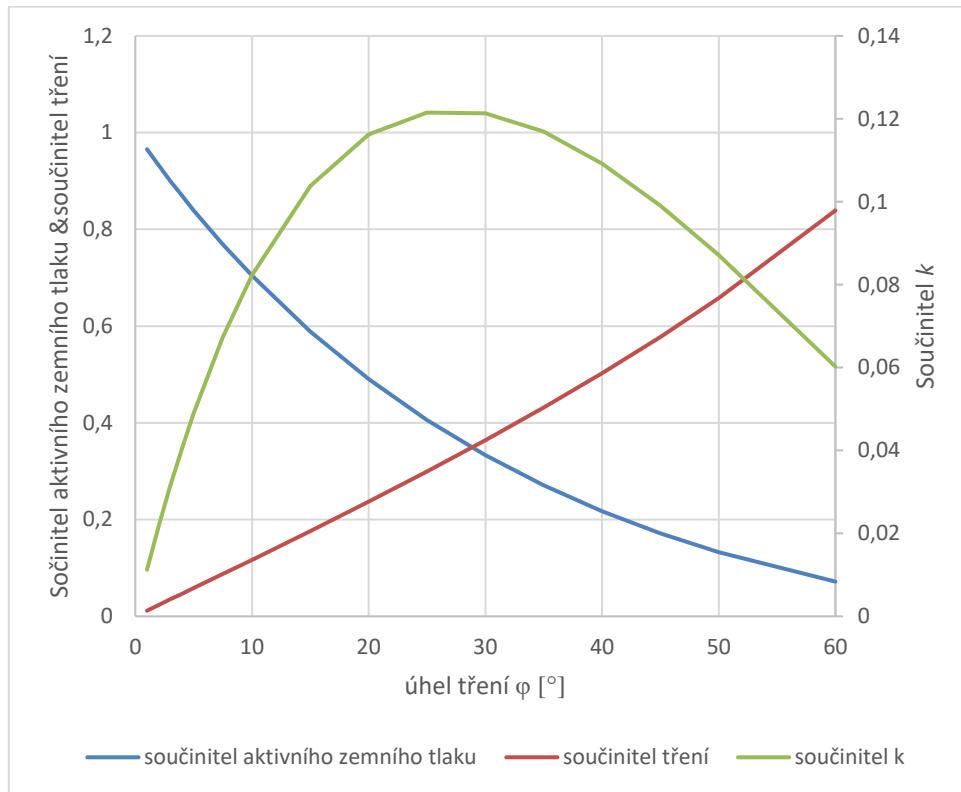


obr. 2: Průběhy tlaků  $p_z$  a  $p_x$  v nezpevněném jámovém zásypu pro průměr jámy 8 m a úhel tření nezpevněného zásypu  $\varphi = 32^\circ$  a  $\gamma = 17,5 \text{ kN/m}^3$

V souvislosti s tímto řešením je nutno uvést ještě jednu okolnost, kterou je třeba zmínit, neboť tato má pozitivní dopad při volbě výpočtové hodnoty úhlu tření nezpevněného násypu.

Součinitel  $k$  je složen ze dvou funkcí  $\tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$  a  $\tan \varphi'$  s odlišnými stabilitními významy. Člen  $\tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$  je součinitelem aktivního zemního tlaku, jehož hodnota s rostoucím úhlem tření klesá, kdežto člen  $\tan \varphi'$  je součinitelem tření na rozhraní nezpevněného zásypu s ostěním jámy, jehož

hodnota s rostoucím úhlem tření roste. Jejich vzájemný součin má průběh s jasným minimem hodnoty pro určité hodnoty úhlu tření. Grafy průběhů obou členů, včetně jejich vzájemného součinu jsou dokumentovány na obr. 3.



obr. 3: grafy průběhů obou členů, včetně jejich vzájemného součinu ( $k = \tan(2\varphi/3) \tan^2(45 - \varphi/2)$ )

Součinitel  $k$  se pro úhly tření od 15 do 45 stupňů pohybuje v úzkém rozmezí od 0,1 do 0,12 a tedy hodnoty tlaku v zásypu pro uvedené rozmezí úhlů se nebudou navzájem příliš lišit.

Z maximální dosažené hodnoty vertikálního tlaku  $p_{zmax}$  se počítá stlačení nezpevněného zásypu, které bude shodné s velikostí poklesu nezpevněného zásypu v jámě. Velikost stlačení ( $s$ ) je dána vztahem

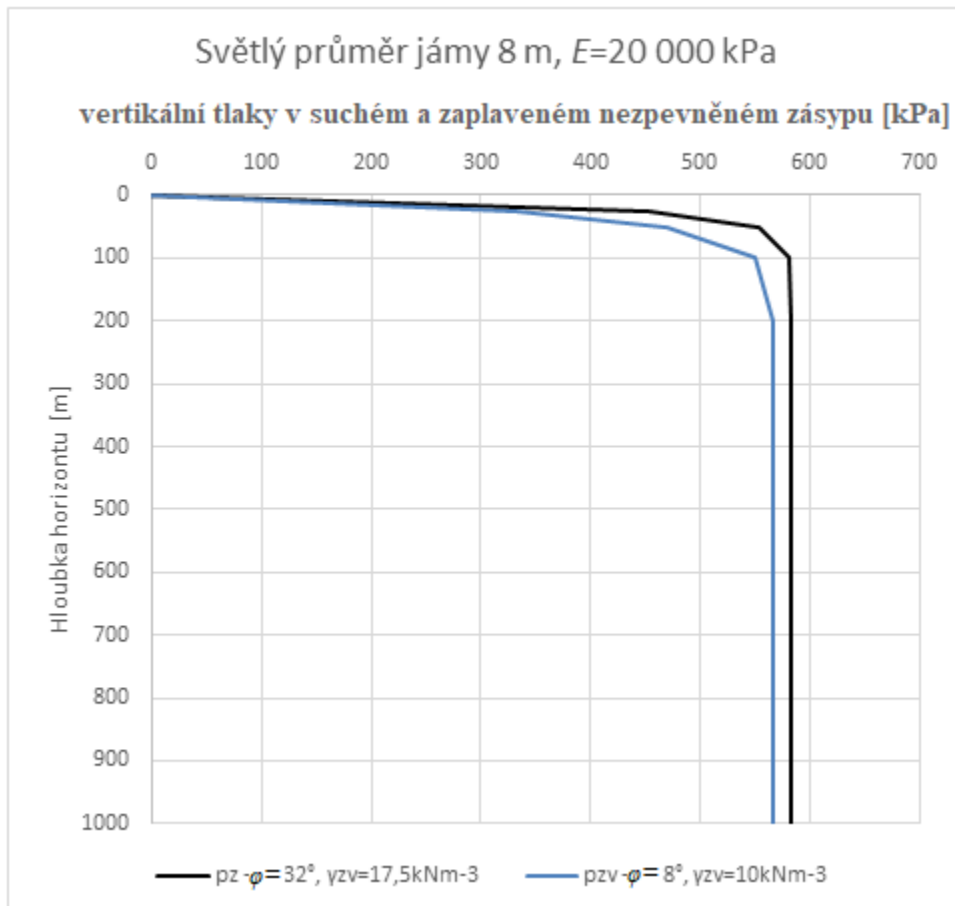
$$s = \frac{p_{zmax} H}{E} \quad (5)$$

kde  $H$  je hloubka jámy a  $E$  je modul deformace nezpevněného zásypu.

Stejný postup je uplatněn i pro výpočet sedání nezpevněného zásypu pod hladinou vody. Jediný rozdíl spočívá v aplikované hodnotě tíhy nezpevněného zásypu, která v tomto případě bude rovna tíze materiálu pod hladinou vody (efektivní tíze) a hodnotám úhlů tření, jejichž změna může nastat v důsledku působení vody na materiály obsažené v nezpevněném zásypu, pokud tyto budou tvořeny materiály, měnícími konzistenci při trvalém kontaktu s vodou. Míra poklesu hodnoty úhlů tření je zásadní pro další výpočet sedání nezpevněného zásypu v jámě, neboť rozhoduje o tom, zda během zatápnění nastanou další poklesy, nebo k dalším poklesům již nedojde.

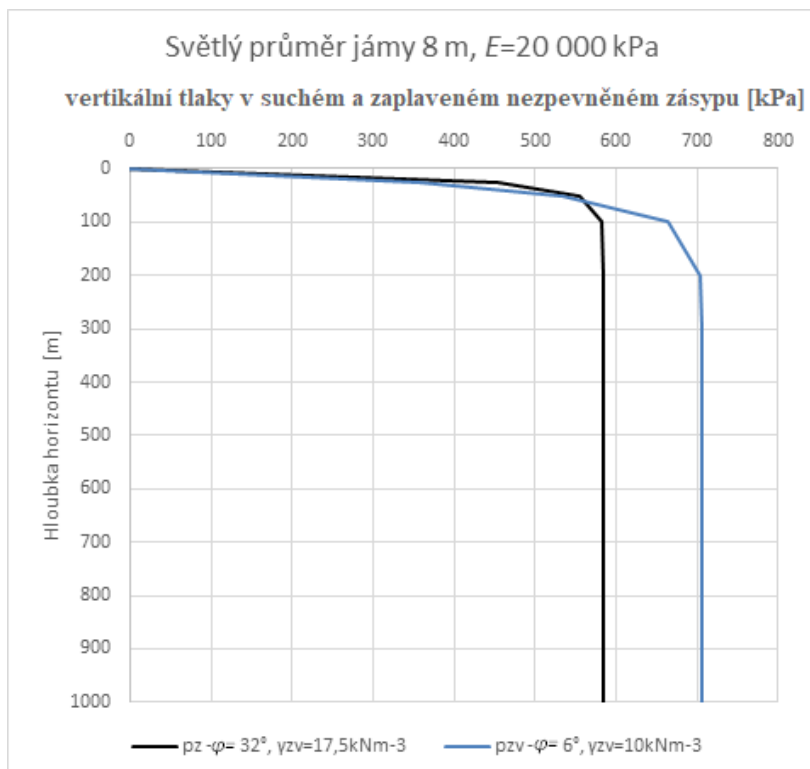
Sérií parametrických výpočtů bylo odvozeno, že hranicí, která odděluje obě situace, je hodnota úhlu tření  $8^\circ$ . Pokud hodnoty úhlu tření nezpevněného zásypu alterovaného vodou budou vyšší, vertikální tlaky v zaplaveném zásypu budou menší, než je tomu u nezaplaveného zásypu, a tedy k dalšímu

sedání nemůže dojít, a naopak vertikální tlak v zatopeném zásypu se zmenší oproti suchému stavu. Situaci dokumentují průběhy grafů vertikálních tlaků v suchém a zaplaveném nezpevněném zásypu, Maximální hodnota vertikálního tlaku je v suchém zásypu o něco větší, než v zaplaveném (viz obr. 4).



obr. 4: Průběhy grafů vertikálních tlaků v suchém ( $p_z$ ) a zaplaveném ( $p_{zv}$ ) nezpevněném zásypu

Obr. 5 uvádí průběhy grafů vertikálních tlaků v suchém a zaplaveném nezpevněném zásypu, pro úhel tření v zaplaveném nezpevněném zásypu  $6^\circ$ .

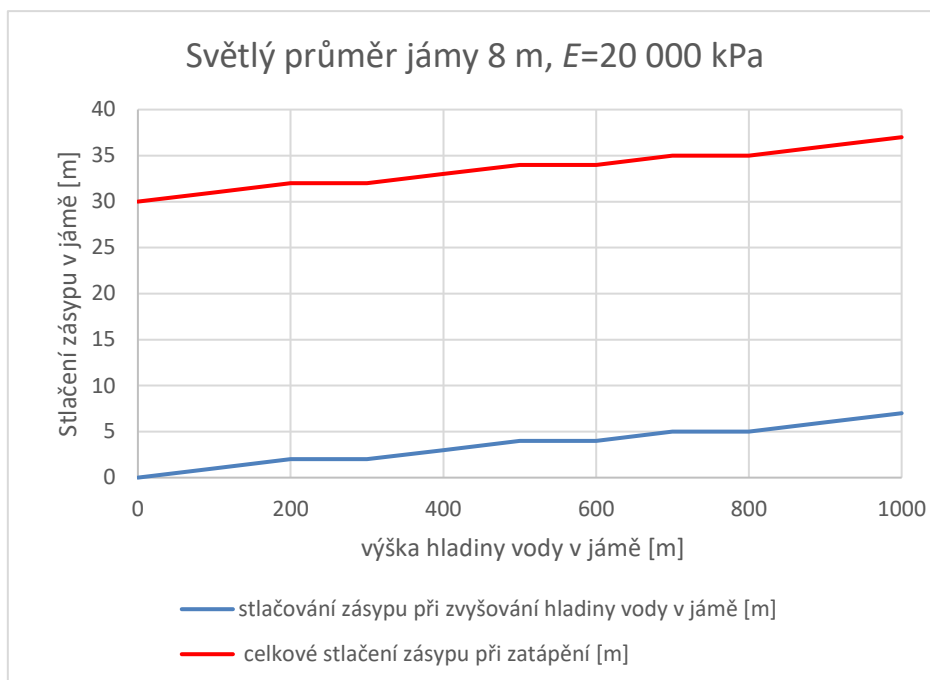


obr. 5: Průběhy grafů vertikálních tlaků v suchém ( $p_z$ ) a zaplaveném ( $p_{zv}$ ) nezpevněném zásypu pro úhle vnitřního tření v zaplaveném nezpevněném zásypu  $6^\circ$

Z obr. 5 je patrné, že pro úhel tření  $6^\circ$  je vertikální tlak v zaplaveném nezpevněném zásypu o 122 kPa vyšší, což znamená, že po zaplavení zásypu dojde k dalšímu jeho stlačení. Velikost tohoto stlačení bude záviset na velikosti rozdílů vertikálních tlaků  $\Delta p_z$  za stavu zaplaveného zásypu  $p_{zv\_max}$  a suchého zásypu  $p_{z\_max}$  ( $\Delta p_z = p_{zv\_max} - p_{z\_max}$ ). Velikost stlačení bude záviset na rozdílů vertikálních tlaků a bude dána výrazem

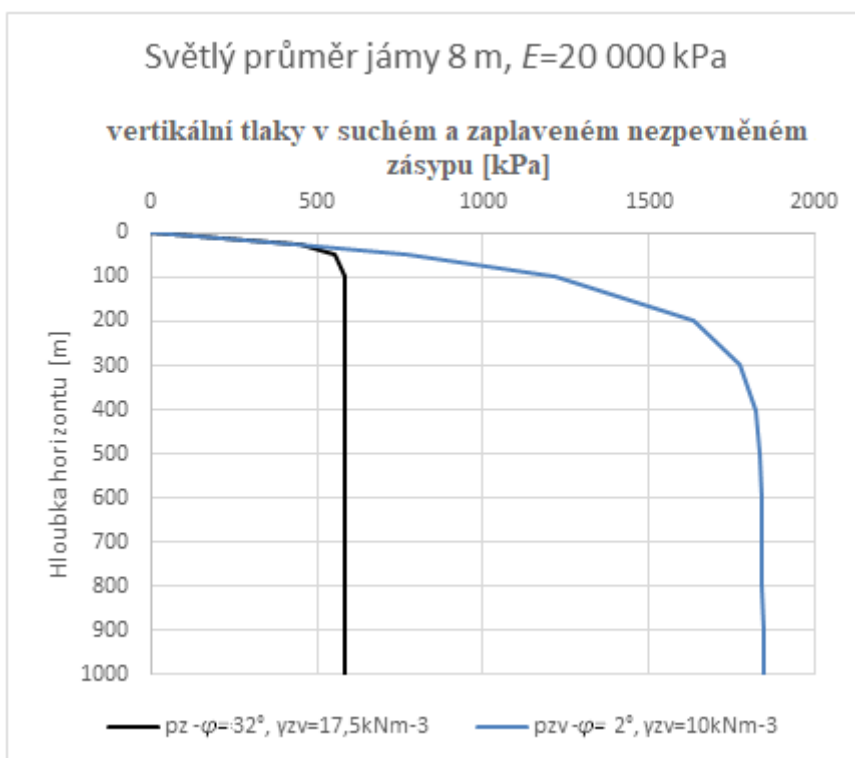
$$S_{\text{zaplavený\_zásyp}} = \frac{\Delta p_z H}{E}$$

Celkové stlačení zásypu při určité úrovni vody v jámě je součtem dílčích stlačení z obou stavů, nezaplaveného a zaplaveného (viz grafy na obr. 6).



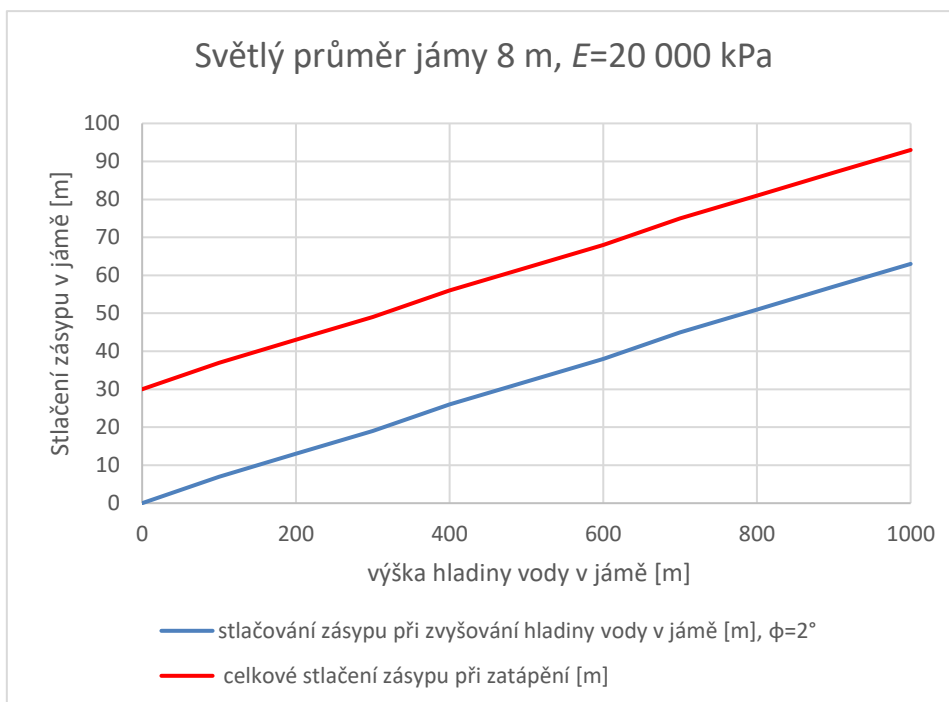
obr. 6: Celkové stlačení zásypu při určité úrovni hladiny vody v jámě (výpočet sedání bez vody  $\varphi=32^\circ$ , výpočet po zatopení  $\varphi=6^\circ$ )

Vliv úhlu tření v zaplaveném alterovaném nezpevněném zásypu na průběh a hodnoty vertikálního tlaku a celkového stlačení je dokumentován na obr. 7 a obr. 8, které prezentují výsledky pro hodnotu úhlu tření  $2^\circ$ , která odpovídá vysoké plastizaci a změně konzistence na kašovitou.



obr. 7: Vliv úhlu tření v zaplaveném alterovaném nezpevněném zásypu na průběh a hodnoty vertikálního tlaku

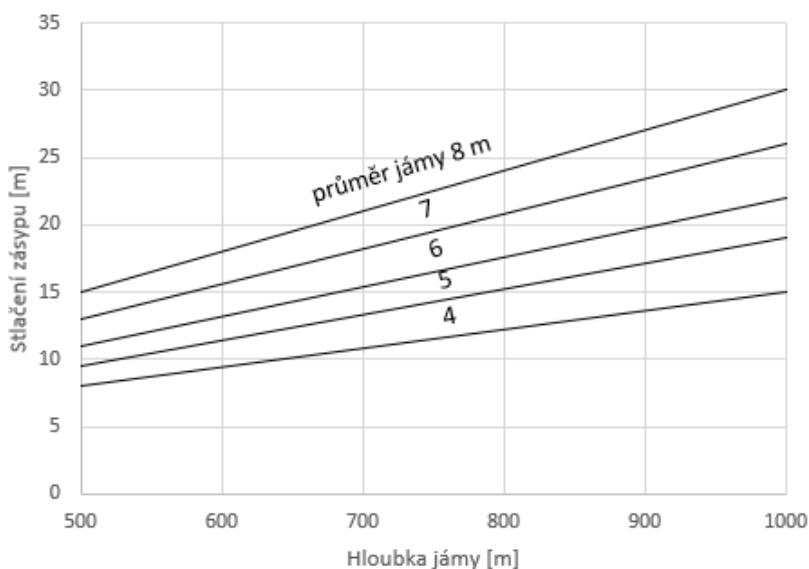




obr. 8: Vliv úhlu tření v zaplaveném alterovaném nezpevněném na celkovém stlačení zásypu

Obr. 9 uvádí výsledky parametrických výpočtů grafu stlačení (poklesu) nezpevněného zásypu při různých průměrech a hloubkách jam.

### Stlačení nezpevněného zásypu

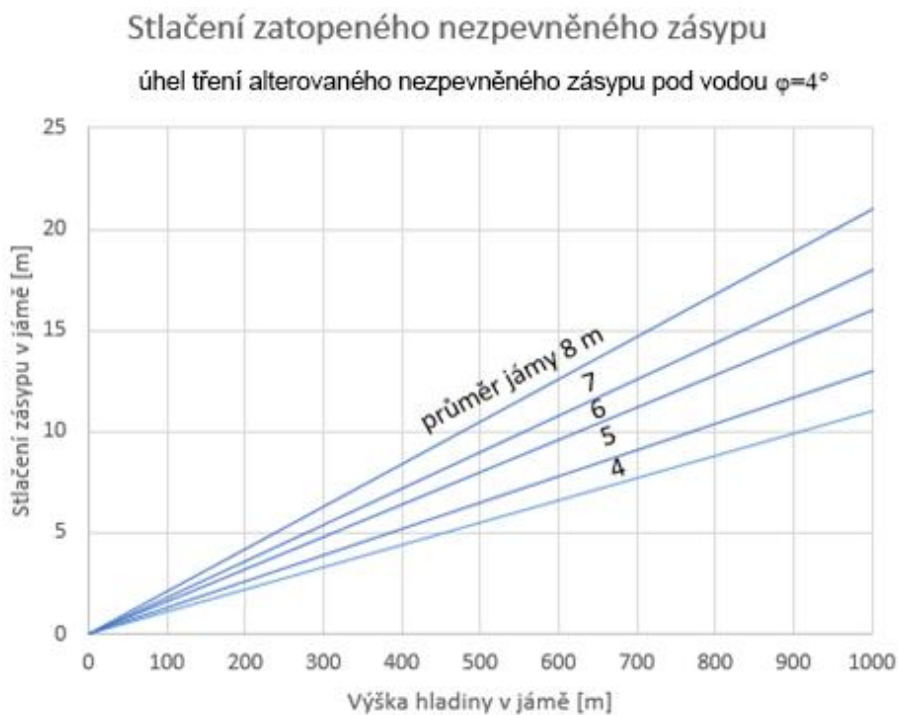


obr. 9: Výsledky parametrických výpočtů stlačení (poklesu) nezpevněného zásypu o různých průměrech a hloubkách jam bez vlivu vody před zatápěním.

Obr. 10 uvádí dodatečné stlačení (poklesy) při různých výškách zatopení jam, nastane-li po zatopení alterace nezpevněného zásypu a změní-li se jeho konzistence na kašovitou a klesnou-li hodnoty úhlu tření pod kritickou hodnotu  $8^\circ$ , která podmiňuje vznik dodatečného sedání v důsledku zaplavení nezpevněného zásypu. Byly provedeny parametrickké výpočty pro hodnoty tření  $6^\circ$ ,  $4^\circ$  a  $2^\circ$  (viz obr. 10, obr. 11, obr. 12).

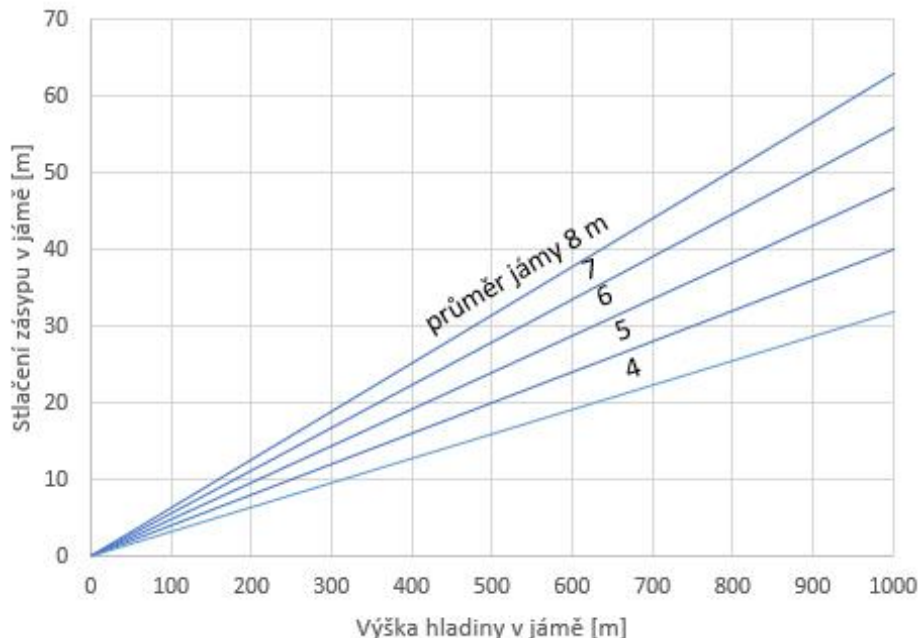


obr. 10: Dodatečné stlačení (poklesy) při různých výškách zatopení jam pro  $\varphi=6^\circ$



obr. 11: Dodatečné stlačení (poklesy) při různých výškách zatopení jam pro  $\varphi=4^\circ$

## Stlačení zatopeného nezpevněného zásypu

úhel tření alterovaného nezpevněného zásypu pod vodou  $\varphi=2^\circ$ obr. 12: Dodatečné stlačení (poklesy) při různých výškách zatopení jam pro  $\varphi=2^\circ$ 

Z průběhů grafů závislosti stlačení na výšce hladiny v jámě vyplývá, že hodnoty dodatečného sedání v alterovaném nezpevněném zásypu budou silně závislé na úhlu tření zásypu. Stlačení nezpevněného alterovaného zásypu vyšší než 10 m nejsou nereálnými hodnotami. Takovéto poklesy mohou nastat, jestliže klesne úhel tření pod hodnotu  $6^\circ$ .

Pro řešení možného poklesu nezpevněného zásypového sloupce podle výše uvedených grafů doporučujeme pro jámy likvidované po roce 1997 předpokládat úhel tření zásypu  $6^\circ$  (viz graf obr. 10) a pro jámy likvidované před rokem 1997 úhel tření menší než  $6^\circ$  (viz obr. 11, obr. 12).

#### 2.4.2 Analytické stanovení maximálního objemu vytlačeného zásypu z jámového stvolu

Analytické stanovení maximálního objemu vytlačeného zásypu z jámového stvolu vychází z nejkonzervativnějšího předpokladu, a to vytvoření autostabilizační zátky v důlním díle a hodnoty horizontálního napětí  $p_x$  v nezpevněném zásypu na úrovni průniku díla do jámy. Objem vytlačeného zásypu z jámového stvolu bude dán délkou autostabilizační zátky  $l$  a rozměry díla. Délka autostabilizační zátky je daná vztahem (6).

$$l = \frac{b \left[ p_x - \frac{h}{2} \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \gamma \right]}{\gamma \tan \delta \left[ b + h \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \right]} \quad (6)$$

kde

$b$  – šířka díla

$h$  – výšky díla

$\delta$  – úhel tření mezi zásypem a stěnou díla ( $\delta = \frac{2}{3}\varphi$ )

Objem autostabilizační zátky je

$$V = l b h + \frac{h^2 \cot \varphi}{2} b \quad (7)$$

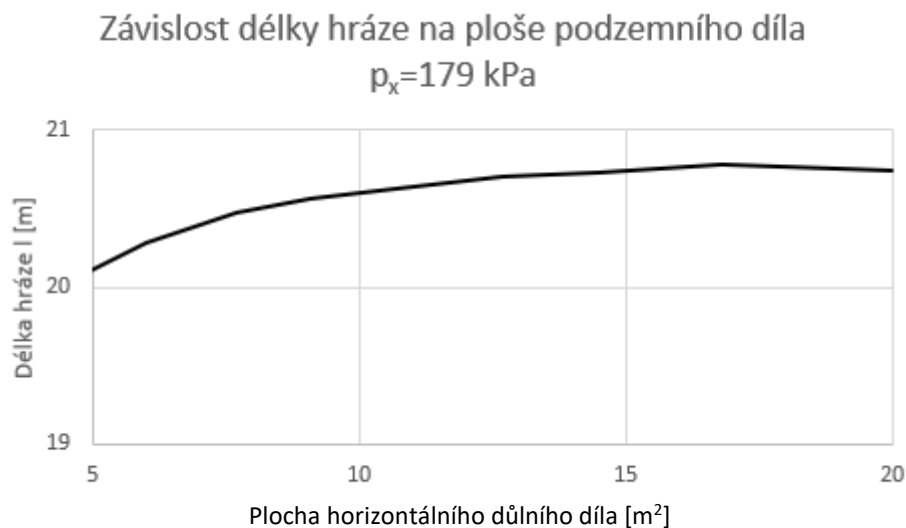
kde člen  $\frac{h^2 \cot \varphi}{2} b$  reprezentuje objem svahu za zátkou.

Velikost sedání nezpevněného zásypu v jámě s plochou příčného průřezu  $A$  z příčiny vytlačování zásypu  $s_v$  z jámového stvolu je dána vztahem

$$s_v = \frac{V}{A} \quad (8)$$

Výsledky parametrických výpočtů velikosti sedání nezpevněného zásypu z příčiny vytvoření autostabilizační zátky, provedené na základě vztahů (6), (7) a (8) jsou vyneseny na následující sérii grafů na obr. 13, obr. 14, obr. 15 a obr. 16. Parametrické výpočty jsou provedeny se stejnými hodnotami vstupních parametrů, které byly použity v analýze výpočtu poklesu nezpevněného zásypu v jámovém tubusu.

Graf na obr. 13 podává výsledky analýzy vlivu plochy průřezu podzemního díla s identickou šířkou a výškou díla, ve kterém se vytvoří autostabilizační zátka. Graf je získán z výrazu (6) a uvádí závislost délky autostabilizační zátky na ploše podzemního díla. Z grafu je patrný nevýrazný vliv velikosti plochy na délku autostabilizační zátky, pro konstantní hodnotu horizontálního tlaku v nezpevněném zásypu.



obr. 13: Výsledky analýzy vlivu plochy průřezu podzemního díla na vytvoření délky autostabilizační zátky (řešení pro identickou šířku a výšku díla)

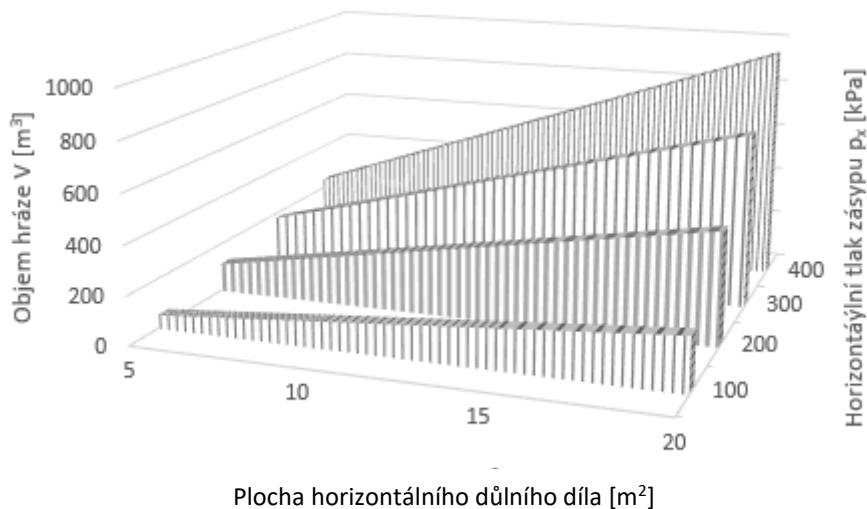
Graf na obr. 14 podává výsledky analýzy vlivu velikosti horizontálního tlaku  $p_x$  na délku autostabilizační zátky. S rostoucí hodnotou horizontálního tlaku lineárně roste i délka autostabilizační zátky.

### Závislost délky autostabilizační hráze na horizontálním tlaku v nezpevněném zásypu



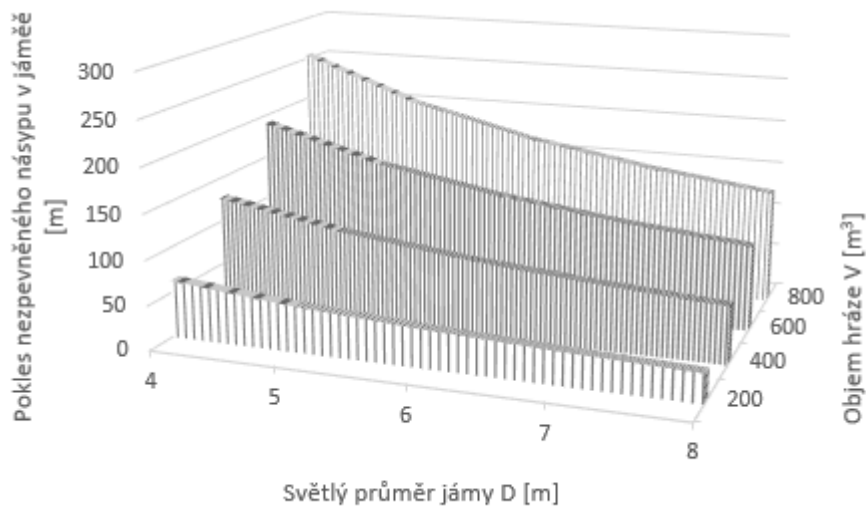
obr. 14: Výsledky analýzy vlivu velikosti horizontálního tlaku na délku autostabilizační zátky

Grafy na obr. 15 slouží k odečtu hodnot objemů autostabilizačních zátek v závislosti na jejich ploše a jejich zatížení horizontálním tlakem od nezpevněného zásypu.



obr. 15: Hodnoty objemu autostabilizačních zátek v závislosti na jejich ploše a jejich zatížení horizontálním tlakem od nezpevněného zásypu (řešení pro identickou šířku a výšku díla)

Obr. 16 zobrazuje grafy ke stanovení velikosti očekávaného poklesu nezpevněného zásypu v jámě z příčin vytvoření autostabilizačních zátek z jejich objemu.



obr. 16: Stanovení velikosti očekávaného poklesu nezpevněného zásypu v jámě z příčin vytvoření autostabilizačních zátek z jejich objemu

Stanovení velikosti poklesu nezpevněného zásypu v jámě z příčiny vytlačování zásypu není možné generalizovat. Způsoby uzavření průniků do jam, počty hrázových objektů a jejich únosnost jsou pro každou jámu jiné, a pokud to bude toto posouzení vyžadováno, bude se to muset řešit pro každou jámu individuálně. Jestliže tato situace nastane, pokles zásypu v jámě proběhne velmi rychle a může se propagovat až k ústí jámy.

### 2.4.3 Časová závislost sedání nezpevněného zásypového sloupce na výšce hladiny vody v HDD během zatápění pánve pro jednotlivé kategorie

Určení možné míry sedání a poklesu sloupce zásypového materiálu během zatápění se provede dle analytického postupu (viz kap. 2.4.1. Analytické stanovení poklesu nezpevněného zásypu v likvidovaných jámách při jejich zatápění). Pro určení časového rizika lze využít nástupové křivky během zatápění KDP pro oba možné scénáře (čerpání na vodní jámě Žofie a zatápění KDP/zastavení čerpání na vodní jámě Žofie a zatápění KDP) s možností odečtu zatopení jámy na dané úrovni (příloha 3a,b). Z hlediska praktické aplikace by bylo účelné tento postup během zatápění konfrontovat s monitoringem výšky hladin zatápějící vody a výšky hladin nezpevněného zásypu v zaplavovaných jámách, což by umožnilo optimalizaci uvedených předpokladů a upřesnění následných prognóz.

Tento pohled vychází z možných způsobu porušení rovnovážných stavů v jámě a schopnosti jejich projevu na povrch (modelováno stabilitním modelem).

#### **Kategorie (I)**

**Konkretizace rizikosti** – vyplývá z výsledků řešení reprezentativní jámy Hohenegger 2, včetně okolního masivu, jámového ohradníku a podrubání, matematickým numerickým 3D modelem MKP. Ten stanovil průběh a hodnoty poklesů povrchu terénu v okolí jámy. Dále řešení matematickým numerickým 3D modelem MKP stanovil stabilitu jámy a jejího bezprostředního okolí z hlediska deformačních projevů na povrch v situaci náhlého poklesu jámového zásypu a degradaci ostění pro podmínky nestabilních okolních hornin a změn mechanických vlastností okolních hornin vlivem vody. Hodnoty možných poklesů jámového zásypu pro různé výšky hladiny vody v jámách pro



průměry od 4 do 8 m byly stanoveny výpočty analytickými metodami. Analytická metoda byla rovněž využita ke stanovení hodnoty poklesu zásypu v jámě z titulu vytvoření autostabilizačních hrází, jestliže dojde k výtoku zásypu z jámového stvolu do nezajištěných děl hrázemi, které ústí do jámového stvolu.

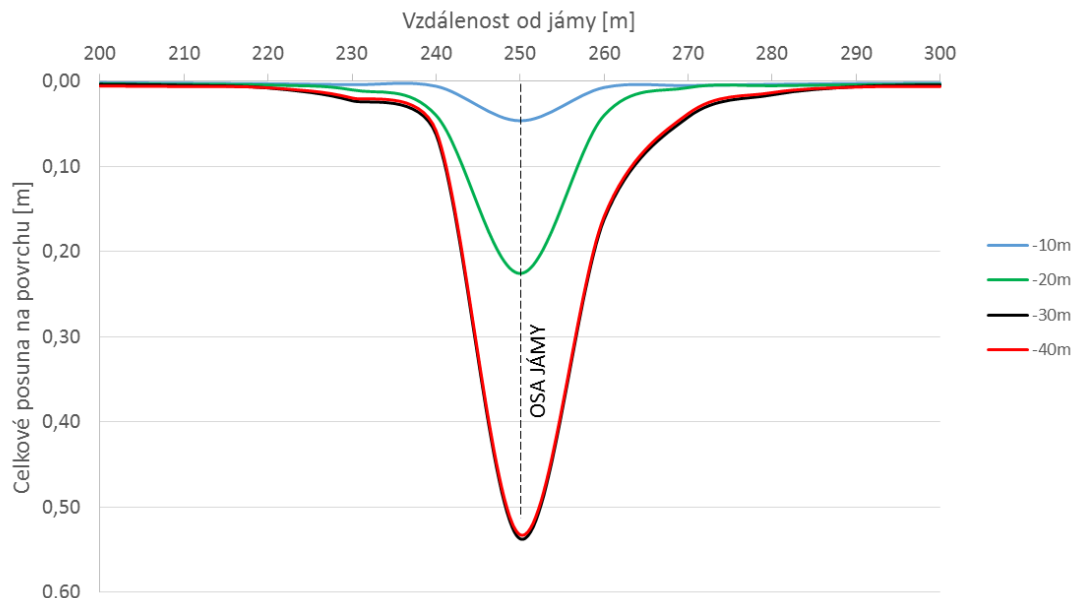
Výpočty byly provedeny pro neznámý, nezpevněný zásyp po celé délce jámy. Úhel tření nezpevněného zásypu byl volen menší než  $6^\circ$ .

Rizikem je nepředvídatelnost chování zásypu při jeho dlouhodobém vystavení vlivu podzemní vody po zaplavení. Vysoká pravděpodobnost změny jeho konzistence z pravděpodobně sypké na kašovitou. Dalším rizikem jsou hrázové objekty. Není známo, zda vůbec byly provedeny a jak byly provedeny. Existuje zde vysoké riziko vytváření autostabilizačních hrází při zatápnění, kdy hrozí nebezpečí výtoku alterovaného nezpevněného zásypu z jámového stvolu, doprovázených náhlými poklesy alterovaného nezpevněného zásypu v úseku ústí jam.

Ilustrativní numerický model pro přijaté materiálové a geometrické charakteristiky byl sestaven variantně pro hloubky ztráty zásypového sloupce 10 až 40 m pod ústím jámy. Z výsledku modelu je patrné, že při poklesu zásypu v kombinaci se ztrátou únosnosti ostění dojde k výrazným deformačním projevům na povrch. Například při poklesu zásypového sloupce o 20 m jsou deformace na ústí jámy 0,3 m s dosahem deformací až 25 m.

Vypočtené naklonění terénu na povrchu odpovídá hodnotě cca  $12 \times 10^{-3}$ .

Srovnání celkových poklesů na povrchu při ztrátě zásypu v jámě o 10 až 40 m hloubky a degradaci ostění je uvedeno na obr. 17. Z výsledku plyne riziko výrazných deformací na povrchu v okolí ústí jámy. Na základě provedených modelových výpočtů je nezbytně nutné zajistit pravidelné měření velikosti poklesu a změny jeho rychlosti v čase.



obr. 17: Celkové poklesy na povrchu při ztrátě zásypu v jámě a degradaci ostění pro hloubky ujetí zásypu o 10 až 40 m

Hloubka poklesu souvisí s výškou nastoupané hladiny vody v jámě a závisí na průměru jámy a úhlu tření alterovaného nezpevněného zásypu. Výšku hladiny vody v jámě, při které může nastat určitý

pokles alterovaného nezpevněného zásypu v jámě, je možno pro daný průměr jámy určit na základě analytického řešení (viz. kap. 2.4.1 a 2.4.2).

Na základě ilustrativního modelového výpočtu pro pokles alterovaného nezpevněného zásypu o 20 m byla vyhodnocena propagace deformací na povrch. Tento příklad je pouze ilustrativní, a proto je potřeba každou jámu této kategorie individuálně podrobit samostatnému posouzení z hlediska možných deformací na povrchu v důsledku nadměrného sedání/ujetí zásypu, degradace ostění v místě nestabilních hornin a změn mechanických vlastností okolních hornin vlivem vody.

Výsledky deformací, a tedy posouzení vhodnosti využití oblastí v okolí jam, je nutno dále vyhodnotit podle platné normy ČSN 73 1004 (příloha B - doporučené limitní velikosti sednutí plošných základů), stanovujících limitní hodnoty úhlového přetvoření a celkové sednutí.

### Příčiny a důsledky rizika

- Nadměrné sedání sloupce zásypového materiálu vlivem zatápnění vody.
- Náhlý pohyb sloupce zásypového materiálu při výtoku zásypu do horizontálních děl ústících do jámového stvolu.
- Degradace ostění jámy na úsecích bez zásypu, ztráta únosnosti ostění a zával nestabilních hornin do profilu jámy.
- Na povrchu vytvoření kráteru v oblasti kolem ústí jámy, deformace terénu v okolí jámy.

### Eliminace a opatření

V rámci těchto typů jam je zřejmé, že není přesně znám materiál likvidace jam (kamenivo různé velikosti, výpěrky z úpraven uhlí, jílovitý materiál, cizorodý materiál různého původu/velikosti apod.). Současně není známo, kde se aktuálně v jámě zásyp nachází a nelze sledovat jeho pohyb během zatápnění. Z hlediska praktického řešení, které by přineslo uspokojivý výsledek z hlediska možnosti kontroly pohybu zásypu během zatápnění a možnosti jeho dosypání, se u těchto jam doporučuje zvážit možné preventivní doplňkové stavební úpravy. Eliminaci havarijního stavu musí tedy předcházet jeho objektivní a včasné zjištění monitoringem i celkové geotechnické situace dané lokality a možnost preventivních zásahů (např. dosypání zásypu). Toto řešení je vnímáno jako ověřené a funkční.

Nabízejí se i další možnosti sledování hladiny zásypu v jámě, např. vrt přes poval a geofyzikální metody (mělkou refrakční seismiku, georadar, popř. pro hlubší části zásypu seismickou tomografií a refrakční seismiku za použití vrtů v okolí jámy). Použitelnost těchto metod však neumožní reagovat na případný pohyb zásypu jeho doplněním a jejich využitelnost vedoucí k uspokojivým výsledkům není ověřena.

Dalším vhodným preventivním opatřením je seismologický monitoring, který by svojí podstatou uměl reagovat na významný pohyb jámové výplně za vzniku energeticky významných seismologických jevů. U jam této kategorie není znám materiál výplně, ani zdali je stvol jámy zaplněn v celé své délce. Během zatápnění se nedá vyloučit náhlý pohyb zásypového materiálu v jámovém tubusu. Vzhledem k množství materiálu, které bývá použito k zasypání jam v rádech desítek až stovek tun a jeho kompresi se v případě náhlého pohybu může jednat o kvazi homogenní blok, který se pohybuje svisle skrze jámový tubus a naráží do stěn jámy, dochází k jeho drcení apod. Tyto nárazy generují seismologické vlnění, které se velice efektivně nese betonovými konstrukcemi až k povrchu lépe než celým horninovým masivem a bude bezesporu jasným indikátorem pohybu zásypu. Navíc

je snadno identifikovatelné vzhledem k odlišné frekvenci záznamu ( $F > 10$  Hz) oproti hornicky indukované seismické odezvě masivu ( $F < 10$  Hz) měřené při důlních seismických jevech a přírodních zemětřeseních. Výhodou je i možnost online kontinuálního sledování, tzn. informaci o nežádoucí události je možno získat neprodleně.

V současné době probíhá pilotní monitoring seismické aktivity na povahu jámy v areálu bývalého dolu Paskov, nyní překladiště celní zprávy Paskov. Dle zjištěných dat nedošlo od roku 2016, kdy započalo měření v areálu k žádným posunům na zásypu (dle vizuálních pravidelných kontrol), což odpovídá i měřeným hodnotám rychlostí kmitání měřeným seismickou aparaturou do 1 mm/s ( $F < 5$  Hz)

Vzhledem k profesním zkušenostem s problematikou geomechaniky a seismologického monitoringu indukované a technické seismicity v regionu, která se registruje od r. 1988 na činných i utlumených dolech v OKR, lze odborně říct, že navrhovaný monitoring lze považovat za velmi efektivní, cenově dostupný a přesný pro identifikaci takových pohybů v uzavřených jámách. Dále je potřeba zmínit, že podobný monitoring nemá v ČR a v EU zatím žádné veřejně známe obdoby, proto zatím nelze tuto metodu verifikovat s jinými zdroji. Tato metodika vychází ze základních principů mechaniky hornin a zemin a principů šíření seismických vln ze získaných zkušeností při pilotním provozu na jámě v Paskově.

Závěrem se konstatuje, že bez možnosti kontroly pohybu zásypů těchto typů jam a možnosti neprodleně zásyp dosypávat se nedoporučuje zatápění těchto typů jam. Vhodná preventivní příprava zásypových hmot.

## **Kategorie (II)**

**Konkretizace rizikovosti** – vyplývá z výsledků řešení reprezentativní jámy Orlovská jáma č. 1, včetně okolního masivu, jámového ohradníku a podrubání, matematickým numerickým 3D modelem MKP. Ten stanovil průběh a hodnoty poklesů povrchu terénu v okolí jámy. Dále rizikovost plyne z řešení matematickým numerickým 3D modelem MKP stability jámy a jejího bezprostředního okolí pro pokles jámového zásypu.

Výpočty byly provedeny pro nezpevněný zásyp o známých parametrech po celé délce jámy.

Rizika jsou podobného charakteru jako v I. kategorii jam. Riziko je nižší z titulu známých parametrů nezpevněného zásypu (likvidace certifikovaným materiálem). Nenastane-li alterace nezpevněného zásypu, pokud ten bude inertní v kontaktu s podzemní vodou po zatopení, riziko poklesu zásypu v jámě zůstává, nicméně poklesy nebudou mít náhlý spontánní rychlý průběh, ale budou probíhat pozvolna. Nenastane-li alterace nezpevněného zásypu v jámě, riziko výtoku zásypu z jámového stvolu do jámy ústících zajištěných děl hrázemi nehrozí.

Ilustrativním modelem, který hodnotil tuto kategorii jam, byly po zatopení jámy vypočteny projevy na povrchu, související opět s pokrývným útvarem. Takto vypočtené deformace dosahovaly hodnot přes 30 mm v dosahu cca 50 m od osy jámy. Významná napětí byla zaznamenána na kontaktu cihelného a betonového zdiva, který odpovídal přechodu pokryv-karbon. Tato zóna má významný vliv na ostění jámy, a proto přítomnost zásypu v tomto úseku je nezbytná. Pro hodnocení vlivu na povrch byl model sestaven také pro degradaci zásypu (změna konzistence vlivem vody) a degradaci ostění a změn mechanických vlastností okolních hornin vlivem vody. Deformace na povrchu narostly jen mírně na 50 mm se stejným dosahem cca 50 m. Tento fakt přisuzujeme souvislé přítomnosti zásypu v jámě, což se předpokládá u této kategorie jam, popř. lze pokles zásypového sloupce dobře sledovat.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro jámy této kategorie se stává změna konzistence zásypu hlavním faktorem s dopadem na pokles zásypového sloupce, avšak se nepředpokládá rychlý průběh sedání. Pro tyto jámy doporučujeme sledování zásypu a okolí jámy pomocí dlouhodobého monitoringu a případné dosypání vzniklého poklesu zásypového sloupce. Dlouhodobý monitoring a srovnávání jeho výsledků by současně umožnil upřesňování vstupních parametrů pro všechny prognózní výpočty, včetně MKP (inverzní modelování).

Pro ilustrovaný model vypočtené naklonění terénu na povrchu odpovídá hodnotě cca  $6 \times 10^{-4}$ . Dopad tohoto naklonění z pohledu vhodnosti využití oblasti v okolí jámy lze dále vyhodnotit podle platné normy ČSN 73 1004 (příloha B - doporučené limitní velikosti sednutí plošných základů), stanovujících limitní hodnoty úhlového přetvoření a celkové sednutí.

### Příčiny a důsledky rizika

- Postupné sedání sloupce zásypového materiálu vlivem zatápnění vody.
- Degradace ostění jámy na úsecích bez zásypu, ztráta únosnosti ostění a zával nestabilních hornin do profilu jámy.
- Na povrchu deformace terénu v okolí jámy.

### Eliminace a opatření

V rámci těchto typů jam je znám údaj o hlavě zásypu a je možno sledovat jeho změny během zatápnění. Pro tento případ jam navrhujeme sledování sedání zásypu a okolí jam během celého procesu zatápnění a v případě potřeby jeho dosypání. Vhodná preventivní příprava zásypových hmot.

### Kategorie (III)

**Konkretizace rizikovosti** – vyplývá z výsledků řešení reprezentativní jámy Doubrava I a Karel, včetně okolního masivu, jámového ohradníku a podrubání, matematickým numerickým 3D modelem MKP. Ten stanovil průběh a hodnoty poklesů povrchu terénu v okolí jámy. Dále rizikovost plyne z řešení matematickým numerickým 3D modelem MKP z hlediska deformačních dopadů na povrch bezprostředního okolí jámy.

Výpočty byly provedeny pro kombinaci úseků zaplněných nezpevněným a zpevněným (CPS) zásypem.

Rizika uvedená v předchozích I. a II. kategoriích jsou minimální, příčinou je přítomnost úseků ze zpevněného zásypu v jámovém stvolu a míra rizika bude záviset od rozsahu aplikace zpevněného zásypu. Pokud budou zpevněným zásypem zajištěny v dostatečné délce úseky jámového stvolu, na všech prostupech z jámového stvolu do horizontálních děl, riziko bude minimální. Přítomnost vody na pokles zásypu nebude mít vliv, pokud zůstanou zachovány vlastnosti nezpevněného i zpevněného zásypu během procesu zatápnění jámy a po jejím zatopení.

Ilustrativním modelem byly posuzovány jámy s kombinovanou ostěním a kombinovaným zásypem (CPS/výpěrky) v různých poměrech.

U této kategorie jam se modelem potvrdil možný pohyb nezpevněného zásypu mezi patry, tzn. během zatápnění může docházet k dosedání nezpevněného zásypu. Případné deformace s tímto spojené se dle ilustrativního modelu nebudou propagovat na povrch. Nicméně se nepředpokládá významné sedání z důvodu způsobu likvidace, uplatňované po roce 1997, a charakteru certifikovaného nezpevněného

zásypu. Nepředpokládá se ani ujetí zásypu do horizontálních důlních děl z důvodu likvidace náraží zpevněným zásypovým materiálem. Přesto je vhodné u těchto jam kontrolovat pohyb zásypu.

Vypočtené hodnoty deformací na povrchu po zatopení dosahují 16 mm (pro různé kombinace zásypu) v rozsahu do cca 20 m od osy jámy pro případ zatopení a degradace ostění, zásypu a změn mechanických vlastností hornin vlivem vody. Rozsah deformací se bude měnit se změnou mocnosti pokryvného útvaru, avšak se nepředpokládá výrazný nárůst hodnot deformací na povrchu pro tento typ jam.

Pro ilustrované modely vypočtené naklonění terénu na povrchu odpovídá hodnotě cca  $7 \times 10^{-4}$ .

Dopad tohoto naklonění z pohledu vhodnosti využití oblasti v okolí jámy lze dále vyhodnotit podle platné normy ČSN 73 1004 (příloha B - doporučené limitní velikosti sednutí plošných základů), stanovujících limitních hodnoty úhlového přetvoření a celkové sednutí.

### Příčiny a důsledky rizika

- Malé sedání na úsecích nezpevněného zásypu v jámovém stvolu vlivem zatápnění vody.

### Eliminace a opatření

V rámci těchto typů jam je znám údaj o hlavě zásypu a je možno sledovat jeho změny během zatápnění. Náraziště jsou likvidována CPS (popř. betonem), nenasákavým, nebobtnavým, nerozbrídavým a samosvorným materiálem. Neuvažuje se prolomení hrází a pohyb materiálů do důlních děl. Lze předpokládat pouze mírné sedání (stlačitelnost) nezpevněného materiálů během zatápnění. Pro tento případ jam navrhujeme sledování sedání zásypu a okolí jam během celého procesu zatápnění a v případě potřeby jeho dosypání.

### Kategorie (IV)

**Konkretizace rizikovosti** – vyplývá z výsledků řešení reprezentativní jámy Darkov 2, včetně okolního masivu, jámového ohradníku a podrubání, matematickým numerickým 3D modelem MKP. Ten stanovil průběh a hodnoty poklesů povrchu terénu v okolí jámy. Dále z řešení matematickým numerickým 3D modelem MKP stability jámy a jejího bezprostředního okolí.

Výpočty byly provedeny pro souvislý zásyp jámového stvolu zpevněným zásypem (CPS).

Rizikové faktory v této kategorii likvidovaných jam jsou minimalizovány, a proto lze vyloučit vznik poklesů zásypu v ústí jam v rozsahu, který by ohrožoval stabilitu konstrukce ostění jámového stvolu a jeho okolí.

Pro tento ilustrativní model jsou, z hlediska projevu pouze vlivu zatopení (tlak vody na ostění) na povrchu, vypočteny modelem hodnoty sednutí povrchu do 10 mm. Tento projev na povrchu bude v rozsahu cca 100 m. Po degradaci ostění a zpevněného zásypu o 60% a změn mechanických vlastností okolních hornin vlivem vody dochází k rozvoji deformací i v jámě, ale maximální hodnota na povrchu a dosah indukovaných změn se nemění. Na povrchu se mohou projevat dle výsledků modelu drobné poklesy do jednoho centimetru. Vliv vody při zatápnění tohoto typu jam (vyplývající z modelu) významně nemění možné projevy na povrchu ani při podstatné degradaci materiálu (degradace o 60%). Projevy na povrchu souvisí především s mocnou vrstvou pokryvu (cca 300 m). V případě menší mocnosti pokryvného útvaru budou deformace nižšího rozsahu.

Pro tuto kategorii jam doporučujeme během zatápnění sledování povrchu a kontrolu kvality zatápěcí vody z hlediska agresivity na konstrukce a cementopopílkové směsi (ČSN EN 206-A).



Pro ilustrovaný model vypočtené naklonění terénu na povrchu odpovídá hodnotě cca  $9 \times 10^{-5}$ .

Dopad tohoto naklonění z pohledu vhodnosti využití oblasti v okolí jámy lze dále vyhodnotit podle platné normy ČSN 73 1004 (příloha B - doporučené limitní velikosti sednutí plošných základů), stanovujících limitní hodnoty úhlového přetvoření a celkové sednutí.

### **Příčiny a důsledky rizika**

- Stabilní zásyp i během zatápění vodou.

### **Eliminace a opatření**

V rámci těchto typů jam je znám údaj o hlavě zásypu a je možno sledovat jeho změny během zatápění. Celý stvol jámy je vyplněn zpevněným materiálem CPS (popř. betonem). Neuvažuje se prolomení hrází a pohyb materiálů do důlních děl. Pro tento případ jam navrhujeme sledování hlavy zásypu během celého procesu zatápění.

### **Kategorie (V)**

**Konkretizace rizikovosti** – kategorie V. je identická s kategorií IV.

### **Příčiny a důsledky rizika**

- Stabilní zásyp i během zatápění vodou.

### **Eliminace a opatření**

Dtto kategorie IV

### **Kategorie (VI)**

**Konkretizace rizikovosti** – vyplývá z výsledků řešení reprezentativní jámy Doubrava III., včetně okolního masivu a jámového ohradníku, numerickým 3D modelem MKP. V tomto případě se jedná o likvidovanou plynovou jámu a s ohledem na mimořádnou pozornost, která byla v tomto případě věnována likvidaci, nebezpečí nehrozí. Výpočty stanovily průběhy a hodnoty poklesů povrchu terénu v okolí jámy.

Model této jámy představuje kategorii tzv. plynových jam, kdy část jámy v karbonském prostředí bude ponechána bez zásypu. Vypočtené celkové deformace při totální degradaci betonového ostění na nezajištěném úseku jámy a při změnách mechanických vlastností okolních hornin vlivem vody byly na povrchu do 20 mm s šířkou projevu až 80 m od osy jámy. V případě degradace zpevněného zásypu dochází k dalšímu nárůstu o 10 mm.

Pro ilustrovaný model vypočtené naklonění terénu na povrchu odpovídá hodnotě cca  $2 \times 10^{-4}$ .

Dopad tohoto naklonění z pohledu vhodnosti využití oblasti v okolí jámy lze dále vyhodnotit podle platné normy ČSN 73 1004 (příloha B - doporučené limitní velikosti sednutí plošných základů), stanovujících hodnoty úhlového přetvoření a celkové sednutí.

Pro tuto kategorii jam doporučujeme sledování na povrchu a kontrolu kvality podzemní vody z hlediska agresivity na konstrukce a cementopopílkové směsi.



#### 2.4.4 Obecná opatření plynoucí z využití nezpevněného zásypového materiálu

V kontextu metodického posouzení aktuálně uvedená rizika determinují spolehlivost likvidace jam a z dlouhodobého hlediska určují ohrožení veřejného prostoru v okolí jam během zatápnění vodou.

Mezi zásadní řadíme:

- nestabilita zásypu z důvodu nadměrného sedání zásypu, velké stlačitelnosti materiálů, vzniku kaveren, samovolných zátek v jámě, nezaplňených míst v jámě,
- nestabilita zásypu překročením únosnosti hrázových objektů/průniků,
- nestabilita zásypu vzniklá snížením mechanických vlastností zásypového materiálu,
- nestabilita ústí jam a ohrožení okolí jam vznikem propadliny, determinováno přítomností vhodné ohlubňové zátky,
- absence dlouhodobého monitoringu během zatápnění jam důlní vodou.

Eliminaci těchto jevů lze po likvidaci zajistit:

- pečlivým a dlouhodobým monitoringem sedání zásypu pod ohlubňovou zátkou, který v reálném čase umožní přijímat vhodná opatření,
- dosypáváním materiálů do vzniklých prostor pod zátkou,
- vybudováním dodatečných jámových zátek s vytvořením dosypového otvoru u jam, kde tato možnost není a jámy se budou zaplavovat.

#### 2.5 Srovnání „novosti postupů“ oproti původní metodice, případně jejich zdůvodnění, pokud se bude jednat o novou neznámou metodiku

Problematika likvidace hlubinných dolů v minulosti byla obsahem mnoha odborných prací: VV zprávy; odborné články; posudky na jednotlivé konkrétní případy likvidace důlních jam.

V roce 2021 byla na VŠB-TU Ostrava, HGF zpracována studie nazvaná „Analýza stability zlikvidovaných hlavních důlních děl v ostravské dílčí pánvi a návrh bezpečnostních opatření“ (Kolektiv autorů VŠB, 2021).

Autorům předkládané certifikované metodiky není známa žádná předcházející certifikovaná metodika, která komplexně hodnotí míru rizika stability HDD během zatápnění.

Předložená metodika tedy nemá předchůdce a je nová, původní a je deklarovaným výstupem řešení projektu č. TITSCBU908 „Výzkum vlivu postupného zatápnění karvinské dílčí pánve OKR důlní vodou s vysokou salinitou na ohrožení krajiny dotčené těžbou uhlí a stabilitu HDD.“

Postup řešení předložené certifikované metodiky je zdůvodněn potřebou komplexního vyhodnocení všech dostupných věrohodných informací a obsahuje následující etapy:

- inventarizace a podrobný popis faktografických, geologických a geotechnických okolností,
- shlukovací analýza jam do skupin,
- modelování reprezentantů jednotlivých skupin,
- analýza výsledků modelování,
- transformace výsledků analýzy do formy metodiky.

## 2.6 Popis uplatnění Certifikované metodiky

Certifikovaná metodika je určena institucím, které budou mít dohled nad procesem zatápění: ČBÚ; celostátní a oblastními orgány státní správy a stavební úřady na všech regionálních úrovních Moravskoslezského kraje v oblasti KDP.

Dále je určena také pro vědecké a výzkumné instituce působící v regionu a zabývající se danou problematikou, dále podnikům, které se budou aktivně účastnit procesu zatápění v KDP: DIAMO s.p.; OKD a.s.; projekční kanceláře připravující projektovou dokumentaci k aktivitám spojeným se zatápěním v KDP.

Metodiku mohou využívat dále municipality a developeři, plánující využít opuštěné povrchové areály po likvidovaných jámách a jejich okolí.

## 2.7 Ekonomické aspekty uplatnění Certifikované metodiky

Ekonomické aspekty uplatnění Certifikované metodiky je nutno analyzovat na základě vyčíslení (v tis. Kč) nákladů na zavedení postupů uvedených v metodice s vyčíslením (v tis. Kč.) ekonomického přínosu pro uživatele.

Zatápění zlikvidovaných hlavních důlních děl je z pohledu jejich dlouhodobé stability, bezpečnosti a vlivu na své okolí bezpochyby podstatnou otázkou, která nabývá na významu z důvodu běžícího procesu ukončování hornické činnosti v KDP, a tedy do budoucna zániku objektivní potřeby udržovat hladinu v určité hloubkové úrovni stran zajištění bezpečnosti okolních důlních prostor během těžby uhelného ložiska. Současně se otevírá další nový pohled na využívání post hornické krajiny na jiná využití v rámci budoucích rozvojových aktivit a dotačních projektů v oblasti, zejména pokud bude snahou využít bývalé areály po ukončené hornické činnosti.

Zavedení metodiky, která hodnotí možné dopady a určuje míru rizika stability příslušných zlikvidovaných hlavních důlních děl na veřejný prostor během procesu zatápění v KDP, umožní dotčeným subjektům (institucím, municipalitám) implementovat příslušná rizika do svých aktivit a přijímat příslušná opatření s cílem minimalizace nákladu v případě vzniku nežádoucích jevů.

Postupy zavedení metodiky pro instituce a municipality představují nízkonákladovou položku, která umožní příslušnou jámu v KDP zařadit do kategorie rizikovosti s příslušně definovanými riziky s návrhem možných opatření.

Rizikovost kolapsu ústí jam určité kategorie v případě nevhodné kombinace faktorů, přičemž za nejrizikovější lze označit nestabilitu zásypového materiálu – nestabilitu ostění – nestabilní horniny v profilu jámy, vyvolává potřebu prevence před vznikem nežádoucích jevů, které byly popsány v tomto metodickém posouzení. Krajním případem je z tohoto hlediska kolaps jámy Doubrava IV, který nastal v roce 1998 a byl způsoben lokálním porušením jámové výztuže v profilu nestabilních hornin za výztuží bez zásypového materiálu (činná jáma). Výsledkem bylo zhroucení ústí jámy za vzniku eliptického kráteru o rozměrech os cca 63x53 m s hloubkou cca 36 m od povrchu. Sanace si vyžádala mimo jiných opatření zasypání kráteru celkem 65. tis m<sup>3</sup> zásypového materiálu.

Ekonomické výhody realizace preventivních opatření pro HDD, která jsou zařazena v kategoriích s definovaným ohrožením, jsou shrnuty v následující ekonomické rozvaze.

## Ekonomická rozvaha

Ekonomické aspekty jsou přiřazeny v rozsahu kategorizace HDD dle tab. 6. Pro jednotlivé kategorie HDD doporučujeme uplatnit rámcové finanční předpoklady dle následující rozvahy.

Uvedené kubatury, tonáže a cenové relace jsou přibližně (ilustrativně) zobrazeny v následující tab. 7 a,b,c.

tab. 7 a,b,c: Rámcová finanční úvaha ekonomických aspektů preventivních opatření vs. možné události pro rizikové kategorie HDD.

a)

	Preventivní opatření (dle tab. 6)	Náklady (mil. Kč)		Sanace (možné události)	Náklady (mil. Kč)
		Investiční (jednorázově)	Provozní (ročně)		jednorázové
pro kategorii I	Stavebně technické úpravy jam kategorie I	10 - 30		Propad terénu do 65 tis. m <sup>3</sup> zeminy (Doubrava IV)	39*
	Sledování indukované seismicity - nákup stanic 21 jam	2,5		Propad terénu do 4 tis. m <sup>3</sup> zeminy (19 jam)	47,5**
	Sledování aktivity zásyrového materiálu (4x ročně)		0,015	možné škody na okolí (objekty, liniové stavby)	Individuální (velmi hrubý odhad 10 mil.)
	Sledování indukované seismicity - monitoring, vyhodnocení (1x ročně)		0,5		
	<b>celkem</b>	<b>32,5</b>	<b>0,515</b>	<b>Celkem</b>	<b>57,5</b>

\* ilustrativní příklad, nepředpokládá se takový rozsah havárie, každopádně na sanaci likvidace havárie vtažené jáma Doubrava IV bylo použito celkem 65 tis. m<sup>3</sup> hlušiny; z ekonomického hlediska je zřejmé, že dřívější náklady na sanaci nelze srovnávat s náklady, které by byly v případě totožné havárie jámy v budoucnu. Materiál pro likvidaci havárie jámy Doubrava IV byl využit z vlastních zdrojů OKD. Do budoucna se nedá počítat s přísunem takto levného a dostupného materiálu a případná havárie se bude muset sanovat např. tříděným kamenivem, jehož cena se aktuálně pohybuje zhruba na 600 Kč za m<sup>3</sup> bez započítání dopravy.

\*\* pro kalkulaci se počítalo s propady jam do 4 tis. m<sup>3</sup> v počtu 19 jam; rizikovost zde spočívá v nemožnosti předvídat vznik havarijního stavu s možným dopadem na majetek, případně zdraví osob do budoucna.

b)

	Preventivní opatření (dle tab. 6)	Náklady (mil. Kč)		Sanace (možné události)	Náklady (mil. Kč)
		investiční	opakované (ročně)		Jednorázové
pro kategorii II	sledování aktivity zásyrového materiálu (4x ročně)	0	0,015	propad terénu	Nepředpokládá se*
	<b>celkem</b>	<b>0</b>	<b>0,015</b>	možné škody na okolí (objekty, liniové stavby)	Nepředpokládá se*
	<b>Celkem</b>			<b>Celkem</b>	<b>0</b>

\* podmíněno dosypáním zásyru v případě jeho pohybu.

c)

	Preventivní opatření (dle tab. 6)	Náklady (mil. Kč)		Sanace (možné události)	Náklady (mil. Kč)
		jednorázové	opakované (ročně)		jednorázové
pro kategorii III	sledování aktivity zásyrového materiálu (4x ročně)	0	0,015	drobný propad terénu	Nepředpokládá se*
	<b>celkem</b>	<b>0</b>	<b>0,015</b>	možné škody na okolí (objekty, liniové stavby)	Nepředpokládá se*
	<b>Celkem</b>			<b>Celkem</b>	<b>0</b>

\* podmíněno dosypáním zásyru v případě jeho pohybu.

Pro kategorii jam IV a V se předpokládá stabilitní zásyp i během zatápění důlní vodou. Kontroly provádět dle Vyhlášky ČBÚ č. 52/1997.

Z pohledu ohrožení povrchu terénu kolem bezprostředního okolí jámy je nejkritičtější místem úsek jámového tubusu v blízkosti povrchu. U jam s dostatečně dimenzovanou jámovou zátkou je toto nebezpečí minimální. Za rizikové je nutno považovat staré jámy likvidované nezpevněným zásypem neznámého původu, kde není možnost na ústí sledovat zásyp a zásyp doplňovat. Stavební úpravy jam kategorie I by měly primárně tuto možnost zajistit.

Pro hrubou kalkulaci cen stavebních úprav se vychází ze statistického souboru příslušných jam kategorie I a informací o průměrech a tvarů jam a mocnosti kvartérních uloženin. Mocnost kvartérních uloženin pro jámy kategorie I je variabilní a pohybuje se v rozmezí od 3,5 m až do 27 m. Pro jámy kategorie I je celková délka jámových tubusů v kvartérních uloženinách cca 164 m, přičemž nejtypičtější zástupcem je jáma s kruhovým profilem a průměrem mezi 4 až 5 m. Na tyto konstrukční parametry jsou hrubé propočty stavebních úprav kalkulovány. Technické práce obnášejí rozbourání a odvoz existujícího povalu jámy, vybrání jámové výplně do příslušné hloubky, kontrolu a opravu případně porušeného zdiva, instalace šterkového lože pro odvod plynu, instalace potrubí, plavení jámové zátky betonem (C25/30) s instalovaným dosypovým otvorem a zbudování desky nového povalu betonem C30/37. Odhad hrubých celkových nákladů vychází z aktuálních cen stavebních a bouracích prací, potřebného objemu materiálů k odtěžení a k plavení, aktuálních cen materiálů, včetně zbudování nového povalu, to vše vztaheno na počet jam kategorie I. Velmi hrubě se odhaduje náklad na stavební úpravy jedné jámy na 1,5 mil. Kč.

Ekonomické aspekty lze také řešit vyčíslením rozdílu cen mezi pozemky na brownfieldech (oblasti po likvidovaných jámách) a ostatními kategoriemi pozemků (veřejných, zemědělských, lesních). Cenová specifikace úspor spojených s následným využitím oblastí po likvidovaných jámách se musí provádět individuálně dle aktuálních cenových map příslušných obcí.

Dále je v Příloze 4 uveden detailní doplněk ekonomické rozvahy, zohledňující projektem definované limitní rizikové úrovně, které vyplývají z prognóz na základě hydrogeologického a stabilitního modelu a analytických přístupů pro scénář čerpání na vodní jámě Žofie a scénář ukončení čerpání na vodní jámě Žofie. Propočty zahrnují investiční a provozní náklady na opatření během zatápění pro jednotlivé rizikové úrovně proti úspoře nákladu v případě ukončení čerpání na vodní jámě Žofie. Do propočtu jsou také zahrnuty náklady na monitoring a náklady na různé způsoby technického řešení. Příloha 5 pro doplnění zobrazuje korelační schéma hloubek HDD kategorie I, podle kterého byla definovaná úroveň -250 m n. m.

## 2.8 Seznam použité související literatury

ALDORF, J. et al. (1996). Znalecký posudek na způsob likvidace Jam Jindřich I a Jindřich II, HS č. 560011, 23 stran.

ALDORF, J. (1997). Znalecký posudek ke spolehlivosti způsobu likvidace zásypu jámy Jindřich 3 po zjištění nových skutečností a kvalitě její likvidace, 12 stran.

ALDORF, J. (2006). Znalecký posudek k problematice změny způsobu dokončení likvidace jámy Doubrava II, 13 stran.

ALDORF, J. (2007a). Spolehlivost likvidace jámy Karolina ve vztahu ke svému okolí, 8 stran.

ALDORF, J. (2007b). Znalecký posudek k problematice ovlivnění spolehlivosti likvidace jam Jindřich těžní a větrní provedením stavební jámy v její blízkosti, 7 stran.

ALDORF, J. (2007c). Znalecký posudek ke změně způsobu likvidace výdušné jámy č. 1 Dolu Dukla, 32 stran.

JANAS, P. (2019). Znalecký posudek k technickému projektu likvidace jam Dolu Lazy, 40 p.

JANNSEN, H. A. (1895). Versuche über Getreide Druck in Silozellen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 39, No. 35.

KOLEKTIV AUTORŮ z VŠB-TU Ostrava HGF (2021). Analýza stability zlikvidovaných hlavních důlních děl v ostravské dílčí pánvi a návrh bezpečnostních opatření, VŠB-TU Ostrava.

SCHREITER, R. (1961). Příručka pro stavební inženýry svazek II, SNTL, Praha.

## **2.9 Seznam publikací, které předcházely metodice a byly publikovány (pokud existují), případně výstupy z určité znalosti, jestliže se jedná o originální práci. U jednotlivých publikací je třeba uvést dedikaci, která je v jednotlivých publikacích uvedena.**

Předkládaná metodika, nebo ani její některá dílčí část, nebyla zatím nikde publikována a pouze byla předložena Státní báňské zprávě hlavním řešitelem Green Gas DPB, a.s. v dílčí kvartální zprávě z řešení Nmet za 7.Q.

### **Seznam zkratk**

CPS	cementopopílková směs
ČBÚ	Český báňský úřad
ČSN	česká (dříve československá) technická norma
DP	dobývací prostor
HDD	hlavní důlní dílo
KDP	karvinská dílčí pánev
MKP	metoda konečných prvků
OKR	ostravsko-karvinský revír
SDD	staré důlní dílo