

Prof.Ing. Josef Aldorf, DrSc.

Slavíkova 4404

Ostrava-Poruba

ZNALECKÝ POSUDEK

k otázce konzervace jam F4 a F5 v lokalitě Frenštát nezpevněným zásypem

1. ÚVOD

Na základě požadavku a.s. Báňské projekty Ostrava (Ing. Holub) jsem zpracoval následující znalecký posudek k některým problémovým otázkám vznikajícím při konzervaci jam Frenštát 4 a Frenštát 5 pomocí nezpevněného zásypu. Přechod z tzv. „suché konzervace“ na konzervaci „suchým zásypem“, pro něž je zapotřebí zpracovat projektovou realizační dokumentaci, byl zahájen rozhodnutím představenstva společnosti KARBON INVEST, a.s. ze dne 30.4.2002. Otázka změny způsobu konzervace je diskutována již delší dobu a byly k ní vypracovány studie, řešící problematiku rizik způsobů dlouhodobé konzervace, zejména ve vztahu k budoucímu obnovení funkce jam a jejich stability. Způsob „suchého zásypu“ je z tohoto hlediska jednou z „nejšetrnějších“ metod konzervace, umožňující s velkou pravděpodobností v budoucnu obnovit funkci jam bez velkých škod na jejich výztuži.

Hloubení jam bylo zahájeno v roce 1984 (F4) a především v jámě F4 jej v úseku podslezské jednotky doprovázely stabilitní problémy, které vedly v listopadu (15.11.) 1985 k havárii jámy v úseku –659 m až po dno jámy (– 778 m pod povrchem), která byla likvidována pomocí řady speciálních technologií (konzolidační a zpevňovací injektáže apod.) a vedla ke změně způsobu vyztužování jam. V jámě F4 byla v havarovaném úseku použita i vysoce únosná ocelolitínová tybinková výztuž a další hloubení bylo prováděno pomocí dvouplášťové výztuže (blokopanely + vnitřní železobetonový prsteneček). Následně byl vnitřní železobetonový prsteneček protažen vzhůru až do úrovně –280 m pod povrchem.

V jámě F5 byla výztuž modifikována od hloubky –272 m (jednoplášťová armovaná výztuž) a od úrovně –488 m bylo až po hloubku –889 m použito dvouplášťové výztuže (blokopanely + vnitřní armovaný lité beton tl. 45-70 cm).

V úseku hloubeném v karbonském pohoří byla aplikována jednoplášťová výztuž z litého betonu B20 tl. 70 cm.

Po ukončení hloubení a ražení horizontálních děl (1994) byly jámy zakonzervovány „suchým způsobem“ a prováděny pravidelné prohlídky a údržba výztuže, která se v současnosti nachází v dobrém stabilitním stavu.

Předmětem posouzení budou, ve smyslu požadavků vyhl. ČBÚ č. 52/1997 Sb. a č. 32/2000 Sb., tyto problémové otázky:

- stabilita zásypu jam nezpevněným materiálem, posuzovaná z hlediska:
 - dlouhodobé stability zrnitého materiálu zásypu
 - sedání zásypu v jamách
- posouzení parametrů horninových zátek v horizontálních dílech a potřeby případné realizace opěrných hrází v těchto dílech
- stability výztuže jam po zasypání a po zatopení horninového okolí jam s přihlédnutím k požadavku obnovení stabilitní funkce jam po jejich opětovném vyhloubení (odstranění zásypu)
- ochrany ústí jámy z hlediska zajištění jeho dlouhodobé stability
- ostatní rizika realizace zásypu nezpevněným materiálem.

Ke zpracování posudku byly využity m.j. tyto podkladové materiály:

- 1.) Zajištění jam Dolu Frenštát nezpevněným materiálem – BPO, a.s. – rukopis technické zprávy – Ing. Holub, 5/2002
- 2.) Znalecký posudek k mimořádné události při hloubení jámy F4 – Aldorf J., Exner K. – VŠB 3/1986

Posudek se nezabývá problematikou větrání jam ani otázkami úprav ovzduší v jamách při provádění zásypu.

2. GEOLOGICKÉ A GEOTECHNICKÉ POMĚRY JAM F4 A F5

Problematice geologických a geotechnických podmínek jam F4 a F5 byla, zejm. po havárii jámy F4 (1985), věnována značná pozornost (Martinec 1990) a je popsána v řadě podkladů (viz mat. ad 2.). Z hlediska konzervace jam uvádím pouze stručnou rekapitulaci.

Celá geologická situace v místě jam F4 a F5 je podrobně dokumentována v podkladech uvedených v materiálu ad 1.

Místo hloubení jam F4 a F5 je v podhůří Beskyd, ve frenštátské brázdě, cca 20 km od vnějšího nasunutí příkrovů. Tato oblast se dá charakterizovat takto:

- geomorfologicky leží v hornatém terénu s převýšeními až 300 i více metrů
- slezský příkrov má vyšší mocnost se stratigraficky zachovaným sledem jednotlivých vrstev a vytváří rigidnější geologickou jednotku
- podslezský příkrov vykazuje střídání tektonických šupin různé stratigrafické příslušnosti. Je vyvinut jako významné těleso s vysokým stupněm porušení a tektonického namáhání
- reliéf karbonu je vcelku plochý a je prokázána větší mocnost zvětrání na povrchu karbonu.

Pro zjištění nutných informací pro projekt a hloubení jámy F4 sloužil zajišťovací vrt NP-800. Ústí vrtu je situováno cca 75 m jihozápadně od osy jámy. Vrt byl realizován do hloubky 1341 m.

Stručně lze geologický profil jámy charakterizovat tímto sledem souvrství:

- 0 – 13,5 m - kvartérní sedimenty (deluvia)
- 13,5 – 601 - slezský příkrov
- 601 – 629 - tektonická přechodová zóna mezi slezskou a podslezskou jednotkou
- 628 – 870 - podslezský příkrov
- 870 – - nafáráno karbonské souvrství
 - vrstvy sedlové – sloj 37 až 40
 - vrstvy porubské

Slezský příkrov (– 13,5 až –601 m)

Slezská jednotka je tvořena tektonickými šupinami lhoteckých a těšínsko-hradišťských vrstev. Převažujícími horninami jsou černošedé jílovce až vápnité prachovce, vyskytují se rovněž pískovcové lavice. V hloubkovém intervalu –427 m až –505 m byla nafárána tělesa

těšinitických vyvěřelin (max. mocnost 18 m); brekcie byly zastiženy v intervalu –448 až –457, mocnější polohy pískovců a křemenců pak v intervalu –472 až –492 m.

Úklony a směry vrstev ve slezském příkrovu jsou velmi variabilní, jílovce a prachovce jsou silně tektonicky porušené až na šupiny rozměrů cm až dm s ohlazy. Horniny nejsou náchylné k bobtnání. Pískovcová tělesa a vyvěřeliny jsou silně porušené. Hloubení zachytilo několik kolektorů plynů a vody.

Přechodová zóna (– 601 až –628 m)

Tektonická přechodová zóna je tvořená prohnětenými jílovci se zaválcovanými úlomky až bloky světle šedých pískovců a slepenců. Jílovce jsou nenáchylné až náchylné k bobtnání.

Podslezský příkrov (– 628 až –870 m)

Jednotka obsahuje šupiny nepravidelně se střídajících vrstev různé stratigrafické příslušnosti. Mocnost šupin se pohybuje v metrech až desítkách metrů. Vrstevní sled je porušen, dochází k opakování vrstevních jednotek. Převažujícími horninami jsou jílovce, které spolu s prachovci jsou velmi silně tektonicky podrcené a rozklouzané.

Tyto jílovce jsou tvořeny strukturami obsahujícími montmorilonit a illit v různém poměru a v určitém množství i kalcit. Horniny jsou náchylné až velmi náchylné k rozbřídání a bobtnání.

Do těchto hornin, které vzhledem ke svým vlastnostem se chovají spíše plasticky a na styku s vodou rozbřídají, jsou zaválcovány úlomky až bloky pevnějších poloh slínovců, vápenců a pískovců s různým úklonem, místně (hloubka –744 až –775 m) až 90° se sklonem k jihozápadu. Pevné zaválcované čočky jsou vždy prostoupeny puklinami a ohlazenými plochami. Tyto pevné polohy mohou být kolektory vody či plynů, při vlastním hloubení však žádné exhalace či přítoky vody zjištěny nebyly. Stupeň tektonického porušení je značný, což dokumentuje i jádro zajišťovacího vrtu NP-800, kde z výnosu jádra v podslezském příkrovu vyplývá, že pouze 2 % jádra se rozpadala dle ploch vrstevnatosti, 10 % na úlomky větší než 5 cm, zbytek vykazoval buď silně porušené jádro případně byla dokumentována ztráta jádra (4 %). Z tohoto popisu je rovněž zřejmé, že v podslezském příkrovu nebylo možno odebrat vzorky pro zkoušky mechanických vlastností hornin.

Pokud v podslezském příkrovu v jiném vrtu (např. NP-818) byly odebrány vzorky a odzkoušeny pevnostní a deformační vlastnosti, bylo to vždy v polohách pevnějších hornin, které nemohou dát a ani nedávají představu o chování horninového masivu jako celku.

Nepropustné polohy jílovců, jako převažujícího horninového typu v podslezské jednotce při hloubení způsobily, že nebyly zjištěny ani exhalace plynu ani přítoky vody. Kolektory plynů a vody mohou být pouze polohy pevných propustných hornin (zjm. pískovců), kterými mohou plyny či voda migrovat v případě, že nejsou izolovanými čočkami. Při tektonických pohybech vznikly značně složité poměry v důsledku kterých mohou být v těchto propustných čočkách „konzervovány“ plyny či voda. K jejich uvolnění může pak dojít v případě, že se komunikace uvolní v důsledku následné deformace horninového masivu, vzniklé například plastickým přetvořením či nakypřením masivu kolem jámy, či při vzniku kaverny v jejím okolí.

Nasouvání pevnějších slezských jednotek na méně pevné horniny podslezského příkrovu má za následek značné tektonické namáhání masivu a způsobilo i zvýšenou horizontální napjatost, vyšší než by odpovídalo dané hloubce a gravitační napjatosti. Poněvadž nasouvání slezského příkrovu probíhalo velmi zhruba od jihu k severu, je i tato napjatost takto orientovaná. Svědčí o tom i orientace nadvýlomů a směrů porušení výztuže jámy F4 při hloubení. Situace je o to složitější, že nehomogenita horninového masivu s výrazným rozdílem a anizotropií pevnostních a deformačních vlastností a proměnlivý úklon zjm. pevnějších zaválcovaných čoček, způsobily značnou anizotropii deformačních vlastností horninového masivu v okolí jámy a tím i značné rozdíly v posunech horninového líce jámy. Dalším ztěžujícím faktorem je značně členitá konfigurace terénu v oblasti jam F4 a F5 s převýšeními až 300 m, což má za následek vznik dodatečných, orientovaných vodorovných napětí v horninovém masivu. Tato napětí mohou být navíc zvyšována vodorovnými složkami sil kleneb horninových elevací v podslezské jednotce. Souhrnně toto vše vytváří velmi složitý silový systém v horninovém masivu, který obsahuje jak reziduální, tak recentní složky napětí. Odhadnout velikost těchto napětí je velmi obtížné; dedukcí z analýzy stability jámy je ale možno tvrdit, že vodorovné složky napětí nebudou výrazně menší než složky vertikální ($K_b = \text{min. } 0,8 - 1$), zejména v oblastech subhorizontální tektoniky jaká byla popsána a dokumentována v místech destrukcí výztuže, které proběhly již v době hloubení před vlastní havárií. Za povšimnutí také stojí skutečnost, že tyto destrukce a porušení byly vázány na změny v uložení vrstev v důsledku tektoniky (přechod ze subhorizontálního do šikmého a téměř strmého uložení). To svědčí o velkém vlivu mechanické anizotropie hornin na stabilitu výztuže. Kromě toho horniny vykazují značný pokles pevnosti v těchto úsecích. Informace o přítocích vody do jámy jsou odvozeny z měření přítoků v jamách v současné době.

Dokumentované množství přítoků důlních vod do obou jam řadí obě jámy z hlediska přítoků mezi jámy relativně suché. Průměrné minutové přítoky do jámy F4 činí $25 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($36 \text{ m}^3\cdot\text{den}^{-1}$), do jámy F5 pak $5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($7,2 \text{ m}^3\cdot\text{den}^{-1}$). Z hloubkového hlediska jsou zaznamenány přítoky v intervalech 465 m až 490 m v obou jamách, druhý přítokový horizont je v hloubce cca 900 m (kontakt karbonu).

Prohlídkou bylo zjištěno, že přítoky vod jsou situovány do míst pracovních spár jednotlivých betonážních zabírek.

Přítoky důlních vod do obou jam Dolu Frenštát se podle výsledků pravidelného měření za roky 1998 a 1999 pohybují v rozmezí $43\text{--}46 \text{ m}^3/\text{den}$.

Mimořádný nárůst zvýšených přítoků důlních vod v roce 1999 v měsících červnu až srpnu byl způsoben hornickou činností v dole na úrovni 1. větrního spojení, kde DPB Paskov o.z. prováděl vrtné práce, související s výzkumem štěpení uhelné hmoty. Toto zvýšení přítoků bylo způsobeno přivedením technologické vody do dolu. Z porovnání s předcházejícími roky je zřejmé, že průměrné hodnoty ročních přítoků jsou relativně stálé.

V současné době jsou důlní vody jímány v jámových tůních obou jam. Hlavní čerpací systém je situován v jámě F5. Tvoří jej čerpací stanice na úrovni -501 m s plunžrovým čerpadlem PAR-3-60-55 s výtlakem přímo na povrch a nízkotlaká část na úrovni -619 m , která přečerpává důlní vody z tůně jámy F5 do čerpací stanice na -501 m . Ze žumpy jámy F4 je důlní vody přečerpávána do hlavního systému čerpadlem 80-KDMU.

Po zastavení větrání dolu dojde k odstavení stávajícího čerpacího systému a k postupné akumulaci přítoků důlních vod v jámové tůni jámy F5 po dobu technologické prodlevy, nutné k přípravě zásypových prací (dokončení demontáží plošin a částí výstroje, luten atp.).

Je zřejmé, že zahájení zásypu jámy F5 bude prováděno do vody a bude pokračovat do doby, kdy dojde k vytvoření dynamické rovnováhy mezi množstvím vody a pórovitostí (mezerovitostí) zásypu (viz dále kap. 4.).

Problematika sypání zásypu do vody je v OKR již vyzkoušenou technologií a při dodržení dále uvedených zásad nemá negativní vliv na hutnost zásypu.

Podle zkušeností z Dánska a Holandska se při ukládání sypkého materiálu formou „rozprostřeného deště“ nezhoršují mechanické parametry zásypu (hutnost, modul přetvárnosti). Snížení kvality zásypu nastává v případech sypání formou soustředěného

proudu materiálu, kdy je sypanina tvořena skluzem zrn materiálu z násypového kužele pod vodou.

Vzhledem k tomu, že pád zrn materiálu v jámě je ovlivňován vzájemnými nárazy částic se stěnami jámy, ponechanými nosníky apod., lze soudit, že předpoklad „rozprostřeného deště“ kameniva dopadajícího do vody je splněn a sedimentovaný zásyp má vlastnosti obdobné, jako zásyp prováděný do suchého prostředí. Technické zajištění podmínek rozptýlu částic bude řešeno v projektu.

3. TECHNICKÝ POPIS JAM F4 A F5 A PŘILÉHAJÍCÍCH HORIZONTÁLNÍCH DĚL

Hloubení jam F4 a F5 bylo zahájeno v rámci geologicko-průzkumných prací, jako doplnění povrchového vrtného průzkumu ložiska, hloubením a následně ražbou důlních děl v definitivních profilech.

Jáma F5 byla dohloubena na konečnou úroveň –630 B.p.v. (hloubka 1087,6 m), hloubení jámy F4 bylo přerušeno na kótě –448 m B.p.v. (hl. 903 m) bez dokončení objektu náraziště (pouze v rozsahu límců jámových proniků).

Na úrovni –442 m B.p.v. bylo ze severních nárazištních křídel vyraženo mezi oběma jámami větrní spojení a náraziště provedeno v definitivních rozměrech (cca 7,5 x 12 m) v eliptických průřezech.

V jámě F5 byl na patře –501 m B.p.v. částečně realizován oboustranný pronik do jámového stvolu, na patře –590 m B.p.v. bylo vyraženo kompletní náraziště v rozměrech 7,5 x 12 m v eliptickém průřezu.

Technické parametry jam:

Jáma F4 – ohlubeň +455,0 m B.p.v.

1. patro –442 m B.p.v.

jámová tůň –448 m B.p.v.

celková hloubka 903 m

průměr jámy 8,5 m (+455,0 m ÷ +175 m a –423 m ÷ – 448 m)

7,5 m (+175 m ÷ - 423 m)

Jáma F5 – ohlubeň +457,6 m B.p.v.
1. patro -442 m B.p.v.
2. patro -501 m B.p.v.
3. patro -590 m B.p.v.
jámová tůň -630 m B.p.v.
celková hloubka 1087,6 m
průměr jámy 8,5 m

Jáma F5 byla vyztužena litým betonem (tl. 600 mm po +185,6 m B.p.v., tl. 800 mm po -30,4 m), dvouplášťovou výztuží blokopanely + litý beton v úseku -30,4 m ÷ -431,4 m B.p.v., mezi horizonty -442 m a -501 m armovaným betonem tl. 700 mm a dále až do jámové tůně litým betonem tl. 700 mm. Na patře -590 m byla vyražena část 1. větrního spojení.

Jáma je vybavena jámovou výstrojí (mimo průvodnice), částečně potrubními tahy, dále dočasným hlavním čerpacím systémem s čerpací stanicí v úrovni 2. patra (- 501 m B.p.v., tj. hl. 958,6 m), lutnovým tahem separátního větrání pod úrovní 1. patra (- 442 m B.p.v., tj. hl. 899,6 m).

Úsek jámy F5 od ohlubeň (+457,6 m B.p.v.) po úroveň 1. patra (- 442 m B.p.v.) je větrán průchodním větrným proudem. Pro období zajišťovacího provozu je jáma č. 5 jámou vtažnou. V jámě jsou dále umístěny energetické rozvody vč. signalizačního, dorozumivacího a měřícího zařízení. Doprava v jámě je zajištěna jednočinným hloubčícím těžním zařízením s okovem objemu 2 m³.

Jáma F4 byla po úroveň +175 m B.p.v. (hl. 280 m) vyztužena litým betonem tl. 600 mm, dále po úroveň -180 m B.p.v. dvouplášťovou výztuží tl. 600 mm prostého betonu +500 mm armovaný beton B20, v úseku -180 m až 248 m byl porušený vnější plášť z litého betonu doplněn o vnitřní výztuž z ocelolitinových tybinků a pod -248 m B.p.v. byla jáma vyztužena blokopanely s vnitřním pláštěm z armovaného betonu B20 tl. 450 mm.

Jáma je vybavena jámovou výstrojí (mimo průvodnice), částečně potrubními tahy a je propojena s jámou F5 v úrovni 1. patra -442 m.

Jáma F4 je pro období zajišťovacího provozu jámou výdušnou, celý úsek jámy od ohlubně (+455 m B.p.v.) po úroveň 1. patra (– 442 m B.p.v.) je větrán průchodním větrným proudem. Doprava v jámě je zabezpečena jednočinným hloubícím těžním zařízením, okovem o obsahu 2 m³. Hlavní ventilátory typu RVE 1600 jsou umístěny na povrchu u jámy F4.

Rozhodnutím OBÚ v Ostravě zn. 6533/1994-511-Ing.Tf/MI ze dne 13.12.1994 byla další výstavba přerušena a rozestavěný Důl Frenštát byl převeden do zajišťovacího (konzervačního) režimu se schválenou dobou trvání do konce roku 2003. Současně byla provedena řada nezbytných technických úprav:

- jámy F4 a F5 byly propojeny na kótě –442 m
- úsek obou jam nad –442 m byl větrán PVP ventilátory RVE 1600 ve strojovně u ohlubně jámy F4
- úsek jámy F5 pod –442 m byl větrán separátně lutnovými ventilátory ve větrném spojení –442 m
- přítoky důlních vod z obou jam byly přečerpávány k plunžrovému čerpadlu na horizontu – 501 m a odtud potrubím DN 150 jámou F5 přímo na povrch
- na ohlubni obou jam byly zachovány a provozovány věže ZS s hloubícími bubnovými těžními stroji, současně jsou v obou jamách připravena k nouzovému použití havarijní dopravní zařízení
- na povrchu byla provozována potřebná technologická zařízení (hlavní rozvodna, degazační stanice, plynová kotelna, vodní hospodářství ...)

Horizontální díla (– 442 m a –590 m) jsou vyztužena betonovou výztuží v rozměrech:

→ 7,5 x 12 m – oboustranné definitivní náraziště jámy F5 na úrovni –442 m a –590 m

Délka nárazištních překopů činí 12-40 m od jámy.

→ 00-0-10 – předrážka náraží v jámě F4 na úrovni –442 m vyztužená ocel. výztuží s betonovou základkou. Délka díla činí 39,8 m od jámy.

→ zarážka náraží na úrovni –501 m (hl. 958,6 m pod povrchem) je lokálního charakteru a pro stabilitu zásypu nemá žádný význam (délka zarážky cca 3-4 m). Výztuž proniku je betonová.

4. POSTUP PROVÁDĚNÍ ZÁSYPU A ZAJIŠTĚNÍ JAM „SUCHÝM ZÁSYPEM“

Ve shodě s návrhem rozvedeným v mat. ad. 1.) a s ohledem na budoucí záměr odstranění zásypu v jamách, doporučuji zásyp provést nezpevněným materiálem (výpěrky z úpravy Dolu Paskov) zrnitosti 0,5-180 mm, jehož mechanické, petrografické a chemické vlastnosti zaručují dlouhodobou stálost parametrů zásypu (viz dále).

S ohledem na stabilitu jámové výztuže a hydrologické poměry v jamách, ochranu ústí jam a možnosti reálné kontroly stavu zásypu v jamách, doporučuji následující postup provádění zásypu a celkové konzervace jam:

→ odstranění všech překážek (především horizont. plošin a povalů, lanových vedení, apod.) v jamách. Horizontální rozpony je možno ponechat (proud zásypu je nutno směřovat do prostoru mimo nosníky), ponechaná potrubní vedení je nutno zaplnit směsí ZZM (zpevněný základkový materiál o minimální pevnosti 5 MPa – dále jen ZZM). Likvidace větracích a čerpacích zařízení. Je nutno vzít v úvahu, že v jamách bude do doby zahájení zásypu stoupat hladina vody rychlostí cca 0,45 (F5) – 0,8 m/den (F4) a pro dosažení stavu, aby zásyp „předbíhal“ stoupání hladiny, je nutno uvažovat přibližně s 3-3,5 násobnou rychlostí sypání materiálu (mezerovitost cca 30 %) do jam.

I při odstávce čerpacího zařízení cca 2 měsíce a plánované kapacitě sypání 9-11 m/den by následná celková doba sypání „do vody“ nepřesáhla dobu cca 20 dnů (přibližně úsek mezi nárazišti jam F5 a F4 při přetékání mezi F4 a F5).

→ zásyp jámy F5 od jámové tůně (– 630 m B.p.v.) až do výšky cca 90-140 m nad patro – 442 B.p.v. V této výšce bude zásyp přerušen až do dosypání jámy F4 (cca 80 dnů). Hladina vody v jámě F5 do doby ukončení zásypu v jámě F4 dosáhne přibližně úrovně hladiny zásypu, tj. cca 140 m nad patro (– 442 m).

→ zásyp jámy F4 od jámové tůně do hloubky cca 15 m pod ohlubeň jámy. Zaplnění prostor podpovrchových kanálů v jámě směsí ZZM. Následuje budování ohlubňové zátky v jámě F4.

→ dosypání jámy F5 do hloubky cca 15 m pod ohlubeň, zaplnění kanálů pod ohlubní směsí ZZM a vybudování ohlubňové zátky.

→ vybudování ohlubňových jámových povalů, dimenzovaných na zatížení 35 kPa. Zatížení povalů sáním (80 kPa) je bezpředmětné.

Konstrukci ohlubňové zátky, která dlouhodobě zajišťuje stabilitu ústí jámy (eliminace sufozních porušení ústí jámy, přenesení zvýšených zatížení výztuže, omezení přítoků vody z kvartérního pokryvu), doporučuji provést v této sekvenci vrstev materiálů (zespodu nahoru):

- vrstva betonu B20 tl. 3 m nad oddělovací vrstvou zásypu
- vrstva ZZM výšky 12,0 m (pod spodní hranu ohlubňového povalu)
- celková výšky zátky: 15 m
- osazená potrubí: - odplyňovací DN 150
 - dosypávací a kontrolní potrubí min. DN 600

5. PROBLEMATIKA RIZIK PŘI REALIZACI KONZERVACE JAM ZÁSYPEM

Konzervace jam „suchým zásypem“ přináší sebou některá rizika, která souvisí jak se samotným prováděním konzervace, tak s možností obnovení funkcí jam a jejich stability. Tento postup předpokládá opětovné vyhloubení (odstranění zásypu) a ekonomicky i technicky přijatelnou úroveň případných oprav a sanací výztuže.

Za hlavní rizikové faktory lze považovat:

- nedokonalé zaplnění jam zásypovým materiálem (vznik dutin v zásypu, příp. samovolných zátek)
- nestabilitu zásypu z hlediska:
 - nadměrných hodnot sedání zásypu
 - vtlačení zásypu do horizontálních děl překonáním únosnosti přirozených nebo umělých opěrných hrází
 - petrografické a mechanické charakteristiky zásypu
- porušení výztuže jam v důsledku:
 - tlaku zásypu v době konzervace
 - tlaku okolních hornin narušených vodou po obnovení jam (snížení pevnosti, bobtnání apod.)
 - chemické koroze betonu a snížení jeho únosnosti
- „zmonolitnění“ a zpevnění zásypového materiálu v jamách vlivem:
 - rozpadu jílovitých hornin a vytvoření cementačního jílovitého tmele mezi zrny zásypu
 - nadměrného zhutnění a cementace při konzolidaci zásypu

Při těchto stavech zásypu by bylo nutno použít pro opětovné rozpojení materiálu technologii trhacích prací, která by negativně ovlivnila stabilitu výztuže jam.

→ rozbřednutí materiálu zásypu v důsledku rozpadu velkého množství jílovitých hornin za přítomnosti vody. Tento stav zásypu by velmi negativně ovlivnil těžitelnost zásypu a pracovní prostředí v jámě. Náklady na vytěžení materiálu by byly extrémně vysoké.

6. ANALÝZA UVEDENÝCH RIZIKOVÝCH FAKTORŮ

6.1. Petrografická a mechanická charakteristika zásypového materiálu

Zásypovým materiálem budou výpěrkové materiály z úpravny Dolu Paskov. Dodavatel materiálu garantuje dodržení těchto kvalitativních charakteristik:

- zrnitost 0,5-180 mm
Podíl písčitých zrn: max. 4-12 %
- petrografická skladba:
 - prachovce 70 %
 - pískovce 20 %
 - jílovce max. 10 %
- obsah vody: 11-14 %
- obsah popela: 65-70 %
- sypaná hmotnost: 16 kNm⁻³ (po uložení v jámě cca 19 kNm⁻³)
- smyková pevnost: $\varphi' = 30^\circ$
 $c' = 0$ kPa
- stlačitelnost: $E_{\text{def}} = \text{cca } 10 \text{ MPa}$ (po uložení $E_d = \text{min. } 20 \text{ MPa}$)

Vzhledem k petrografické skladbě lze materiál považovat za nerozpadavý, nerozbředavý, málo stlačitelný a pevný (pevnost kusů horniny lze očekávat ve velikosti 30-60 MPa). Z těchto důvodů je možno jej, jako materiál pro zásyp, doporučit, protože splňuje požadavky vyhl. ČBÚ č. 52/1997.

Kvalitativní parametry materiálu rovněž do značné míry eliminují nebezpečí, že dojde k takové míře zpevnění zásypu, která nebude zvládnutelná běžnými nakládacími mechanizmy. Stejně tak bude eliminováno nebezpečí rozbřednutí zásypu.

6.2. Nedokonalé zaplnění jámy zásypovým materiálem

Ze zkušeností z řady likvidovaných jam (v OKR např. Jindřich 3, jáma Jindřich v RUD) vyplývá, že při nedodržení stanoveného postupu a vlastností zásypového materiálu může dojít k vytvoření samovolného uzávěru (zátky) v jámě, který znemožní vyplnění prostoru pod tímto uzávěrem. Na vzniku nebezpečí se podílí především:

- nedodržení stanovené zrnitosti a skladby zásypového materiálu (zrnitost větší než 250 mm, velký obsah jílovitých složek),
- provádění zásypu materiály, které nejsou přípustné (železobetonové panely (Jindřich 3), bloky, dřevěné prvky, ocelové nosníky, apod.),
- všechny ponechané překážky v jámě (plošiny, nosníky, potrubí),
- vynechání kontrolních měření a sledování spotřeby.

Vyloučení těchto vlivů je možno pouze dodržением těchto zásad:

- a) používat materiál s převažující zrnitostí do 50 mm a minimálním podílem jílu v zásypu (max. 3 %),
- b) instalovat v místě výsypného otvoru do jámy mříž (síto) o velikosti max. 250x250 mm, přes kterou půjde veškerý zásypový materiál,
- c) provádět **denní kontrolu** (§ 16 odst. 2 vyhl. ČBÚ č. 52/1997 v platném znění) stavu hladiny zásypu ve vztahu k objemu použitého materiálu.

V případě indikace možnosti vzniku samovolného uzávěru jámy (nesoulad mezi spotřebou a uloženým materiálem – hladina zásypu) je nutno zásyp okamžitě přerušit a zahájit plavení zpevněného popílku (s pevností do 2 MPa) s vyšším podílem vody (řídká směs). Toto plavení je možno ukončit po dosažení pevné hladiny směsi 2 m nad úrovní dříve zjištěného povrchu sypkého zásypu. Spotřebu plavené směsi je nutno pečlivě kontrolovat a porovnat se zjištěnými údaji z jámy (zda vnikla do vytvořené dutiny).

6.3. Stlačitelnost sloupce zásypu ze sypkého materiálu

Způsob provádění zásypu (volný pád) příznivě ovlivňuje deformační vlastnosti zásypu. Porovnáním s hutnicí energií standardní Proctorovy zkoušky hutnění (600 kJ.m^{-3}) má dopadající hornina při dopadu z výšky větší než cca 40 m hutnicí energii větší než PS (Proctor standard) a při dopadu z výšky větší než cca 190 m větší než tzv. modifikovaný Proctor (2900 kJ.m^{-3}). Přitom kamenité materiály hutnění dle PS dosahují modul přetvárnosti ve výši $E_d = 40\text{-}80 \text{ MPa}$. Pro stanovení pravděpodobné hodnoty sedání zásypu byla v neprospěch bezpečnosti vzata **minimální hodnota $E_{d\min} = 10 \text{ MPa}$** (pro materiál 1 m pod úrovní zásypu). Výpočet sedání zásypu byl proveden při respektování:

- tření na stěnách jámy (zásobníkový efekt),
- efektu zhutňování materiálu (růst E_d) vlivem volného pádu.

Vliv zhutňování padajícím materiálem byl uvažován růstem modulu přetvárnosti podle vztahu $E_{d(z)} = E_0 \sqrt{z}$ (Hrubanův vztah pro sypké horniny), kde

$E_{d(z)}$ – modul přetvárnosti v hloubce z

E_0 – počáteční modul přetvárnosti (10 MPa)

z – proměnná výška (hloubka) zásypu

Efekt zhutňování byl omezen hloubkou $z = 50 \text{ m}$, kde dochází k ustálení velikosti svislého napětí v zásypu.

Pak pro celkové sednutí zásypu můžeme psát

$$\Delta dz = \frac{A \cdot \sigma_z \cdot dz}{E_{(z)} \cdot A}$$

$$\Delta = \int \varepsilon \cdot dz + K = \int \frac{\sigma_z}{E_{(z)}} \cdot dz + K = I_{(z)} + K$$

při okrajové podmínce

$$\Delta(z = h) = 0 \Rightarrow I_{(h)} + K \Rightarrow K = -I_{(h)}$$

Funkci svislého napětí σ_z můžeme přijmout ve tvaru známého Jansenova vztahu

$$\sigma_z = \frac{A \cdot \gamma - c \cdot O}{K \cdot \text{tg } \sigma \cdot O} \left(1 - e^{-\frac{z \cdot K \cdot \text{tg } \sigma \cdot O}{A}} \right) = B \left(1 - e^{-z \cdot C} \right)$$

pro $z \leq 50 \text{ m}$ a $\sigma_z = B \left(1 - e^{-50 \cdot C} \right)$ pro $z > 50 \text{ m}$.

$$E_{(z)} = \begin{cases} E_0 \cdot \sqrt{z} & \text{pro } z \leq 50 \text{ m} \\ E_0 \cdot \sqrt{50} & \text{pro } z > 50 \text{ m} \end{cases}$$

Pak pro $h \leq 50 \text{ m}$

$$\Delta = - \int_0^h \frac{B(1 - e^{-z.C})}{E_0 \sqrt{z}} dz$$

Po integraci a vyčíslení integrační konstanty

$$\Delta = \frac{B}{E_0} \left[\sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \cdot C^k}{k!} \cdot \frac{h^{(0,5+k)}}{k+0,5} - 2\sqrt{h} \right]$$

Pro $h > 50 \text{ m}$ pak obdobně

$$\Delta = \frac{B}{E_0} \left[\sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \cdot C^k}{k!} \cdot \frac{h^{(0,5+k)}}{k+0,5} - 2\sqrt{h} \right] - \frac{B}{E_0} \left[\frac{1 - e^{-50.C}}{\sqrt{50}} (h - 50) \right]$$

Výpočtem pro vstupní konstanty

$\gamma = 0,019 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-3}$ – objemová tíha zásypu

$A = 44,15 \text{ m}^2$ (F4) a $56,7 \text{ m}^2$ (F5) – plocha průřezu jámy

$O = 23,55 \text{ m}$ (F4) a $26,7 \text{ m}$ (F5) – obvod průřezu jámy

$\delta = 16^\circ$ – úhel tření mezi zásypem a stěnou jámy (sníženo vlivem přítomnosti vody v zásypu)

$K = 0,33-0,5$ – součinitel bočního tlaku v zásypu $K_b = \text{tg}^2(45 - \phi/2)$ resp.

$$K_b = 1 - \sin \phi \text{ (dle Jákyho)}$$

$c = 0$ – soudržnost zásypu

$E_0 = 10-30 \text{ MPa}$

$h = 903 \text{ m}$ (F4) a 1087 m (F5)

Výsledky řešení sedání zásypu (konečné sedání) jsou uvedeny v grafech v přílohách č. 1 a 2 pro jámy F4 a F5.

Celkové sedání zásypu v jámě F4 a F5 lze tedy očekávat v rozmezí:

→ F4: $\Delta s = 3-4 \text{ m}$

→ F5: $\Delta s = 4-5 \text{ m}$

Tyto hodnoty odpovídají poměrnému stlačení ε ve velikostech cca

$$\varepsilon = \frac{4}{903} = 0,004 = 0,4 \%$$

$$\varepsilon = \frac{5}{1087} = 0,0045 = 0,45 \%$$

což představuje velmi dobře zhutněný materiál. Stabilita zásypu není vlivem jeho stlačování ohrožena a nevzniká ani žádné nebezpečí pro stabilitu jámy.

Dobu konzolidace zásypu lze odhadnout na 1-3 roky. Kontrolu stavu hladiny zásypu a jeho doplňování pod ohlubňovou zátkou doporučuji provádět po dobu 5 roků s četností 2x ročně.

6.4. Svislá stabilita ohlubňové zátky

Konstrukce ohlubňové zátky musí vycházet jak z konkrétní geologické a geotechnické situace (vrstvy deluvií) v ústí jámy, tak z potřeb souvisejících se stabilitou zásypu (kontrola, odplyňování, dosypávání) a stability vlastní zátky (stabilita spodní desky zátky, vnější stabilita zátky).

Tyto faktory determinují návrh konstrukce zátky, kterou doporučuji provést podle těchto zásad:

→ délka zátky: 15 m (eliminace vlivu zvodnělých vrstev deluvií v hloubce cca 13 m)

→ vlastní konstrukce zátky (odspodu vzhůru):

- 3 m beton B20
- 12 m cementopílková směs ZZM
- uzavírací ŽB poval

→ odvětrávací potrubí \varnothing min. 150 mm

→ dosypávací a monitorovací otvor \varnothing min. 600 mm s možností odvětrávání prostoru v tělese zátky.

6.4.1. Kontrola stability dna zátky a vnitřní stabilita zátky

Zatížení desky dna zátky o průměru 8,5 m a tl. 3 m může v nejméně příznivém případě dosáhnout hodnoty

$$q = 12,0 \cdot 18 = 216 \text{ kPa}$$

$$\text{Max. moment } M_{\max} = 216 \cdot 4,25^2 \cdot 0,1875 = 731 \text{ kNm}$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot 13^2 = 1,5 \text{ m}^3$$

$$M_{\text{ú}} = 1,5 \cdot 900 \cdot 0,8 = 1080 \text{ kNm} > 731 - \text{stabilita spodní strany zátkové desky je zajištěna.}$$

Vnitřní stabilita zátky (příp. překročení smykových napětí na kontaktu s výztuží) bude zajištěna, bude-li

$$\tau_{\max} \leq \tau_{\text{mez}} \quad (\tau_{\text{mez}} = R_{\text{sm}} = 0,23 \text{ MPa})$$

$$\tau_{\max} = \frac{12 \cdot 56,7 \cdot 18 + 56,7 \cdot 3 \cdot 22}{3,14 \cdot 8,5 \cdot 15} = 39,9 \text{ kPa} < 230 - \text{vnitřní stabilita zátky je zajištěna}$$

6.4.2. Vnější stabilita zátky

K porušení vnější stability může dojít po teoretických smykových plochách procházejících v horninovém okolí jámy. Dle Terzhagiho k tomu může dojít tehdy, platí-li

$$p = \frac{b'_{\max} \left(\gamma - \frac{2c}{b'_{\max}} \right)}{2K_b \cdot \text{tg } \varphi} + p_s \cdot A > 0$$

kde

$$b'_{\max} = (D + 2d) + 2 \cdot \Delta_{\max} \cdot \text{tg } (45 - \varphi/2)$$

D - průměr jámy (8,5 m)

d - tloušťka výztuže (0,6 m)

p_s - sací síla (80 kPa) – neuvažuje se

Δ_{\max} - max. hodnota sednutí zásypu (doporučeno uvažovat ve velikosti $2\Delta_v = 2,5 \text{ m} \oplus 10 \text{ m}$)

φ - úhel vnitřního tření horniny za výztuží ($\varphi = 22^\circ$)

c - soudržnost hornin (deluvií) ($c_u = \text{max. } 50 \text{ kPa}$)

γ - objemová tíha hornin (20 kNm^{-3})

K_b - součinitel bočního tlaku (0,33)

$$b'_{\max} = (8,5+2.0,6) + 2.5 \cdot \text{tg}(45-11) = 16,4 \text{ m}$$

$$p = \frac{16,4 \left(20 - \frac{2.20}{16,4} \right)}{2.0,33 \cdot \text{tg} 22^\circ} = -1080 < 0 - \underline{\text{vnější stabilita ohlubňové zátky je}}$$

zajištěna

6.4.3. Stabilita zásypu na uzavřených patrech a pronicích s horizontálními díly

V místech proniků jámy s horizontálními díly působí horizontální tlaky zásypu o velikosti

$$\sigma_x = \frac{A \cdot \gamma}{K_b \cdot \text{tg} \delta \cdot O} \cdot \text{tg}^2(45 - \varphi / 2)$$

A - plocha průřezu jámy (56,7 m²)

γ - objemová tíha zásypu (19 kNm⁻³)

K_b - součinitel bočního tlaku (min. 0,33)

δ - úhel tření mezi zásypem a stěnami jámy (min. 16°)

φ - úhel vnitřního tření mater. zásypu (min. 30°)

O - obvod průřezu (26,7 m)

$$\sigma_x = \frac{56,7 \cdot 19}{0,33 \cdot \text{tg} 16^\circ \cdot 26,7} \cdot \text{tg}^2(30^\circ) = \underline{142 \text{ kPa}}$$

Délku úseku horizontálního díla (l), který bude zaplněn vtlačeným materiálem lze stanovit z výrazu

$$l_m = \frac{b \left[\sigma_x - \frac{h}{2} \text{tg}^2(45 - \varphi / 2) \gamma \right]}{\gamma \cdot \text{tg} \delta \left[b + h \text{tg}^2(45 - \varphi / 2) \right]}$$

- b - šířka díla (~ max. 7,5 m)
h - výška díla (~ max. 12 m)

$$l_m = \frac{7,5 \left[142 - \frac{12}{2} \operatorname{tg}^2 30^\circ \cdot 19 \right]}{19 \operatorname{tg} 16^\circ \left[7,5 + 12 \cdot \operatorname{tg}^2 30^\circ \right]} = \underline{24,8 \text{ m}}$$

Celková délka vtlačeného zásypu včetně přirozeného svahu v jeho čele bude činit

$$l_c = 24,8 + \frac{12}{\operatorname{tg} \varphi} = 24,8 + \frac{12}{\operatorname{tg} 30^\circ} = \underline{33,2 \text{ m}}$$

Při plném zvodnění zásypu ($\gamma = \gamma_{sk}$) se délka vtlačeného úseku zvýší na hodnotu

$$\gamma_{sk} = (\gamma_s - \gamma_w) (1-n) = (26-10) (1-0,3) = 11,2 \text{ } \approx 11 \text{ kNm}^{-3}$$

$$l'_m = \frac{7,5 \left[142 - \frac{12}{2} \operatorname{tg}^2 30^\circ \cdot 11 \right]}{11 \operatorname{tg} 16^\circ \left[7,5 + 12 \cdot \operatorname{tg}^2 30^\circ \right]} = 33,2 \text{ m}$$

$$l'_c = 33,2 + \frac{12}{\operatorname{tg} 30^\circ} = \underline{54,0 \text{ m}}$$

Z výpočtu plyne, že prakticky celé úseky provedených nárazních překopů na úrovni –590 m budou vyplněny vtlačeným zásypovým materiálem a vytvoří přirozenou opěrnou hráz, zabráňující dalšímu vtlačování zásypu do horizont. díla. Poklesy zásypu v jámě z titulu vtlačení zásypu do horizont. děl jsou tedy vyloučeny.

Prakticky stejná situace nastane i na překopech jam v úrovni –442 m.

Vtlačení zásypu vytvořené zátky (hráze) spolehlivě zajistí stabilitu zásypového sloupce v jamách. Poklesy zásypu pod ohlubňovou zátkou půjdou proto zcela na vrub sedání zásypu.

Z uvedených důvodů není proto zapotřebí budovat opěrné hráze na otevřených patrech.

6.5. Únosnost výztuže jam F4 a F5 a rizika jejího překročení

V mat. ad. 1. a „Studii o hloubení a vyztužování jam v oblasti Frenštát západ“ (Aldorf, Exner 5/1986) bylo prokázáno, že únosnost výztuže jámy F4 se pohybuje v rozmezí:

- 1,1 – 1,7 MPa v závislosti na třídě použitého betonu (BIII – BIV) u jednoplášťové výztuže (úsek 0 až 280 m pod povrchem)
- 0,6 – 1,72 MPa pro blokopanelovou jednoplášťovou výztuž (beton BV)
- 4 MPa pro tybinkovou výztuž
- cca 3-3,2 MPa pro dvouplášťovou výztuž (blokopanely + armovaný beton 0,5 m)

Tyto hodnoty únosnosti výztuže, vztažené k velikosti původní horizontální napjatosti

$\sigma_x = K_b \cdot \gamma \cdot h$, činí pro:

$$K_b = 0,8$$

$$\gamma = 0,025 \text{ MNm}^{-3}$$

$$h = 250, 450, 750, 900 \text{ m}$$

h (m) / q (MPa)	1,7	3,2	Pozn.
250	0,34	-	jednoplášťová výztuž
450	-	0,35	dvouplášťová výztuž
750	-	0,21	dvouplášťová výztuž
900	-	0,17	dvouplášťová výztuž

Uvážíme-li, že průměrná pevnost hornin (jílovce) v okolí jam se pohybuje mezi 30-40 MPa, bude velikost rozvolněné oblasti za výztuží cca 4 m v hloubce 680-750 m (podslezský příkrov).

Po nasycení horninového prostředí vodou (zatopení zásypu), klesne jeho pevnost na hodnotu cca $\sigma_d = (30 \div 40) \cdot (0,4 \div 0,6) = 12 - 24 \text{ MPa}$ s průměrnou hodnotou cca 20 MPa. Tím dojde při stejné hodnotě posunutí výztuže jámy u ke zvětšení rozsahu zóny porušení o cca 6-8 m na velikost $R_L \approx 12-13 \text{ m}$ (př. č. 3).

V důsledku této změny se zvýší namáhání výztuže o velikost

$$\Delta q_v = \frac{\gamma \cdot (R_L - a)}{2 \operatorname{tg} \varphi}$$

- $\varphi \approx 25^\circ$ (porušené jílovce)
- $R_L = 12 \text{ m}$

- $a = -4,75$ m – poloměr výlomu
- $\gamma = 0,025$ MNm⁻³

$$\Delta q_v = \frac{25 \cdot (12 - 4.75)}{2 \operatorname{tg} 25^\circ} = 194 \text{ kPa} \approx 0,2 \text{ MPa}$$

Dalším faktorem, který zvýší zatížení výztuže, je proces bobtnání porušených jílovitých hornin. Podle výsledků měření bobtnacích tlaků hornin z lokality F4 a F5 (Aldorf, Kořínek 7/1986) činí bobtnací tlaky 0,68 – 0,74 MPa.

Celkové zvýšení zatížení výztuže po opětovném zprovoznění jam lze očekávat ve velikosti cca $\Delta q_c \approx 0,2 + 0,7 \approx 0,9$ MPa, což představuje 30-50 % únosnosti výztuže.

S velkou pravděpodobností lze tedy očekávat, že v důsledku zatopení jámy dojde po jejím opětovném zprovoznění (odstranění zásypu) k poškození výztuže (překročení její únosnosti) a vzniku dodatečných deformací výztuže.

Vzhledem k tomu, že neznáme aktuální stav zatížení výztuže a míru její radiální deformace, je nutno předpokládat, že při těžení zásypu bude nutno v řadě míst výztuž sanovat injektážemi a kotvením, což zvýší náklady na zprovoznění jam. Totální destrukci výztuže a potřebu jejího obnovení nepředpokládám, protože anizotropie mechanických vlastností horninového prostředí a jeho nehomogenita budou mít v tomto případě pozitivní účinek na charakter poškození konstrukce, které se projeví především vznikem lokálních ohybových trhlin, které sníží ohybovou tuhost prstence výztuže, zvětší deformace prstence a tím sníží jeho zatížení.

Jsem toho názoru, že v horizontu uvažovaných 20 roků (doba dočasné konzervace) nemůže dojít ani k podstatnému snížení únosnosti výztuže v důsledku koroze betonu vlivem působení podzemní vody. Zjištěná agresivita vody na beton je vcelku nízká (obsah síranů < 20 mg/l) a vzhledem k tomu, že proudění a výměna vody kolem betonové výztuže bude zanedbatelná, bude i rychlost koroze betonu velmi nízká. Vliv na únosnost výztuže lze předpokládat ne vyšší než 5-10 % (snížení únosnosti).

Tlak zásypových hmot na výztuž (vnitřní přetlak) ve velikosti 125-140 kPa má na namáhání betonu zanedbatelný vliv a kromě toho způsobuje snížení napětí v betonovém průřezu o cca 0,7-0,8 MPa, což přispívá k prodloužení životnosti betonové konstrukce (snížení vlivu plouživosti betonu).

7. ZÁVĚR

Provedené výpočty a analýzy potvrzují, že navržený způsob konzervace „suchým zásypem“ z nezpevněného materiálu je bezpečný, schopný dlouhodobě zajistit stabilní stav konzervovaných jam. Složení zásypového materiálu rovněž zajišťuje možnost relativně snadného opětovného vytěžení a obnovení funkce jam.

Při opětovném hloubení (těžbě zásypu) mohou s velkou pravděpodobností nastat lokální případy porušování výztuže, vyžadující provedení sanačních opatření. Tento důsledek zatopení jámy při konzervaci nelze žádným ekonomicky reálným opatřením vyloučit.

Nebude-li po uplynutí předpokládané doby konzervace (20 roků) funkce jam obnovena, odpovídá zajištění jam požadavkům na bezpečný způsob jejich likvidace dle vyhl. ČBÚ č. 52/1997 v platném znění a nebude zapotřebí provádět žádná další likvidační opatření.

Ostrava 18.5.2002