Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro regionální rozvoj.

SN CZ
Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014 – 2020

Skládkový workshop Liberec-Žitava 2016

Skládka jako poslední možnost

Aktuální otázky
vyplývající z hierarchie nakládání s odpady

3.-4. listopadu 2016

Deponieworkshop Liberec-Zittau 2016

Deponie als letzte Möglichkeit

Aktuelle Fragen,
die sich aus der Abfallhierarchie ergeben

03.-04. November 2016

12. Skládkový workshop Liberec-Žitava

Skládka jako poslední možnost

Aktuální otázky vyplývající z hierarchie nakládání s odpady

12. Deponieworkshop Liberec-Zittau

Deponie als letzte Möglichkeit

Aktuelle Fragen, die sich aus der Abfallhierarchie ergeben

Liberec 2016

Podpora

Tato akce je podpořena z prostředků Evropské unie prostřednictvím Programu spolupráce Česká republika-Svobodný stát Sasko 2014-2020 – číslo projektu 100246598.

Förderung

Diese Veranstaltung wird durch das SN-CZ 2014-2020 - Programm der EU zur Förderung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik gefördert – Projektnr.: 100246598.

odborný editor: Lukáš Zedek
technický editor: Kamil Nešetřil
překlady provedl: Sven Dietrich
Sborník byl připraven s využitím typografického systému LaTeX.

Obsah

Účinnost evropských předpisů **7**

Havelka, P.
Odpadové hospodářství v ČR ve světle vyhlášené evropské strategie 9

Stock, U.; Bittrich, S.
Požadavky na zpracování odpadů, především diskuse o spalování odpadů proti mechanicko-biologickému zpracování odpadů z německého pohledu 11

Hráská, D.
Způsoby energetického využívání odpadů 25

Witkowski, W.; Beyer, G.
Plánování, stavba a zprovoznění zařízení pro zpracování odpadu s kompostárnou v Marszowě (Polsko) 31

Využití stavebních materiálů pro stavbu skládek **33**

Egloffstein T.; Sehrbrock, U.
Průkazní zkoušky přírodních, minerálních stavebních materiálů – Požadavky a jejich praktické prosazování v Německu 35

Sandig, F.; Al-Akel, S.; Thiele, R.; Engel, J.
Aplikace technických rekultivačních substrátů - možnosti a hranice 39

Hrabčák, M.
Štvrtý rozmer skládky 55

Schneider, P.; Müller, M.; Hebner, A.; Kopielski, K.; Schrickel, M.; Fabian, H.
Možnosti alternativní izolace skládky pomocí sekundárních minerálních stavebních hmot v tuzemsku a v zahraniční 63

Aplikovaná informatika a měřící technika **77**

Dunger, V.; Müller, M.; Winter, C.; Winter, J.
Hydrologie zajištění povrchu v Sasku a změny klimatu 79

Datel, J. V.
Zásady geotechnického a environmentálního monitoringu odkališť 93

Weber K.
Automatizovaný monitoring skládky během fáze následné péče 111

Kast, G.
Měření objemového obsahu vody při využití kontinuálních a diskontinuálních metod měření v hydrologické vrstvě skládky v Bavorsku 117

Techniky následné péče o skládky **119**

Drews, R.
Nákladově efektivní a nízkoúdržbové systémy odvodnění povrchů skládek s přihlédnutím ke specifickým požadavkům hydrologické vrstvy. 121

Beck-Broichsitter, S.; Fleige, H.; Horner, R.
Dlouhodobá účinnost dočasného minerálního zakrytí povrchu 143

Steinbrecht, D.; Rickert, I.
Likvidace a energetické vvyužívání skládkových plynů 153

Nešetřil, K.
Informační systém pro monitoring skládek 163

Aplikovaná geologie a další témata **165**

Zeman, J.
Geochemie složitých interakcí odpadů a infiltračních vod na skládkách 167

Hrabal, J.; Kovářová, K.; Ambrožová, V.
Čištění skládkových výluhů kombinovanou membránovou technologií s použitím biologických systémů předčištění 179

Gerth, A.; Hebner, A.; Kopielski, K.; Schneider, P.
Následné využití lokality skládky Gò Cát v Ho Či Minově městě 187

Clemenz, P.; Weber, I.; Dedek, M.; Pabel, R.; Schoenherr, J.I.; Dunger, V.; Schulz, R.; Engel, J.
Vývoj environmentálních inženýrských postupů pro udržitelné využití půd 199

Pelantová, V.
Problematika černých skládek 207

Inhaltsverzeichnis

Auswirkung von EU-Richtlinien **7**

Havelka, P.
Abfallwirtschaft in der Tschechischen Republik angesichts der erklärten europäischen Strategie 9

Stock, U.; Bittrich, S.
Anforderungen an die Abfallbehandlung, insbesondere die Diskussion um Abfallverbrennung kontra mechanisch-biologische Abfallbehandlung aus deutscher Sicht 11

Hráská, D.
Möglichkeiten einer energetischen Abfallnutzung 25

Witkowski, W.; Beyer, G.
Planung, Bau und Inbetriebnahme von Abfall-aufbereitungsanlagen und die Abfallanlage mit Kompostierung in Marszow (Polen) 31

Verwendung von Baustoffen im Deponiebau **33**

Egloffstein T.; Sehrbrock, U.
Eignungsnachweise nach BQS für natürliche mineralische Baustoffe – Anforderungen und praktische Umsetzung 35

Sandig, F.; Al-Akel, S.; Thiele, R.; Engel, J.
Anwendungen für technische Rekultivierungs-Substrate – Möglichkeiten und Grenzen 39

Hrabčák, M.
Die vierte Dimension einer Deponie 55

Schneider, P.; Müller, M.; Hebner, A.; Kopielski, K.; Schrickel, M.; Fabian, H.
Möglichkeiten alternativer Deponieabdichtungen mit mineralischen Ersatzbaustoffen im In- und Ausland 63

Angewandte Informatik und Umwelt-Messtechnik **77**

Dunger, V.; Müller, M.; Winter, C.; Winter, J.
Der Wasserhaushalt von Oberflächensicherungen Sachsens im Klimawandel 79

Datel, J. V.
Prinzipien des geotechnischen Monitorings und Umweltmonitorings von Klärteichen . 93

Weber K.
Automatisierte Deponieüberwachung in der Nachsorgephase 111

Kast, G.
Zur Messung des volumetrischen Bodenwassergehaltes bei Einsatz von kontinuierlichen und diskontinuierlichen Mess-methoden in einer Wasserhaushaltsschicht einer Deponie in Bayern 117

Umwelttechnik bei der Nachsorge von Deponien **119**

Drews, R.
Kostengünstige und nachsorgearme Oberflächenentwässerungs-einrichtungen auf Deponien bei Berücksichtigung der besonderen Anforderungen einer Wasserhaushaltsschicht 121

Beck-Broichsitter, S.; Fleige, H.; Horner, R.
Langzeitwirkung einer temporären mineralischen Oberflächenabdichtung 143

Steinbrecht, D.; Rickert, I.
Entsorgung von und Energiegewinnung aus Deponiegasen 153

Nešetřil, K.
Informationssystem für das Monitorring einer Deponie 163

Angewandte Geologie, Sonstiges **165**

Zeman, J.
Geochemie komplexer Wechselwirkungen des Abfalls und des Sickerwassers auf Deponien 167

Hrabal, J.; Kovářová, K.; Ambrožová, V.
Reinigung des Deponiesickerwassers mit Hilfe einer kombinierten membranengestützten Technologie unter Anwendung biologischer Systeme der Vorbehandlung 179

Gerth, A.; Hebner, A.; Kopielski, K.; Schneider, P.
Nachnutzung des Deponiestandortes Gò Cát in Ho Chi Minh City 187

Clemenz, P.; Weber, I.; Dedek, M.; Pabel, R.; Schoenherr, J.I.; Dunger, V.; Schulz, R.; Engel, J.
Entwicklung umweltingenieurtechnischer Verfahren zur nachhaltigen Bodenressourcennutzung 199

Pelantová, V.
Problematik der illegalen Abfallablagerung 207

Aplikovaná informatika a měřící technika

Angewandte Informatik und Umwelt-Messtechnik

Zásady geotechnického a environmentálního monitoringu odkališť

Prinzipien des geotechnischen Monitorings und Umweltmonitorings von Klärteichen

Josef Vojtěch Datel[1]

Abstrakt

V úvodu příspěvek stručně shrnuje problematiku ukládaných odpadů na odkalištích. V případě nebezpečných vlastností ukládaných odpadů (toxické kovy, radioaktivní látky) se jedná o trvalou zátěž životního prostředí, k jejíž eliminaci nutno vynakládat značné úsilí spojené se zabezpečením tělesa odkaliště, jeho oddělením od okolního životního prostředí po uzavření odkaliště, bezpečným nakládáním s průsakovými vodami, a prakticky trvalým a finančně náročným monitoringem technického a environmentálního stavu odkaliště. Dále jsou shrnuty aspekty geotechnického monitoringu odkališť (vizuální metody, geodetický monitoring, přesná inklinometrie, měření pórových tlaků, svahových deformací hrází (3D inklinometrie, magnetické metody). Hydrologický monitoring se zaměřuje na množství i kvalitu všech druhů vod v odkališti a v jeho okolí (odtok či čerpání odkalištích vod, průsaková voda vnitřních a vnějších drenáží, náhodné a havarijní průsaky, povrchové a podzemní vody v blízkém okolí odkaliště včetně hodnocení povodňového rizika). V závěru jsou zmíněny další součásti environmentálního monitoringu, aktuální zejména v případě ukládání radioaktivních odpadů, např. z těžby a úpravy uranové rudy (prašnost, monitoring trasy dopravy materiálů, radiologický monitoring životního prostředí a dotčených osob aj.). Problematika je probírána jak za provozu odkaliště, tak se specifiky monitoringu po uzavření a rekultivaci odkaliště.

Kurzfassung

In der Einführung in den Beitrag wird kurz die Problematik der Ablagerung von Abfällen in Klärteichen zusammengefasst. Im Fall von gefährlichen Eigenschaften mancher abgelagerter Abfälle (toxische Metalle, radioaktive Stoffe) handelt es sich um eine anhaltende Umweltbelastung, zu deren Beseitigung aufwendige Bemühungen notwendig sind, die mit der Absicherung des Körpers des Klärteiches, seiner Trennung von der umliegenden Umwelt nach der Stilllegung, einem sicheren Umgang mit dem Sickerwasser und einem praktisch dauerhaften und finanziell aufwendigen Monitorring des technischen sowie environmentalen Zustandes des Klärteiches zusammenhängen. Des Weiteren werden in dem Beitrag Aspekte des geotechnischen Monitorrings der Klärteiche zusammengefasst (visuelle Methoden, geodätisches Monitorring, eine genaue Abweichungsmessung, Messung des Porendrucks, der Hangverformung von Staumauern (3D-Abweichungsmessung, magnetische Methoden). Das hydrologische Monitoring zielt auf die Menge und Qualität sämtlicher Gewässer im Klärteich und in seiner Umgebung (Abfluss oder Hebung des Wassers, Sickerwasser der inneren und äußeren Dränage, flüchtige sowie Havariedurchsickerungen, Oberflächen- und Grundwasser in der nahen Umgebung des Klärteiches einschließlich einer Auswertung des Hochwasserrisikos). Im abschließenden Teil werden weitere Bestandteile des Umweltmonitorrings erwähnt, die insbesondere im Fall der Ablagerung von radioaktiven Abfällen, zum Beispiel aus dem Abbau und Aufbereitung von Uranerzen (Staubgehalt, Monitorring der Transportstrecke der Materialien, radiologisches Monitorring der Umwelt sowie der betroffenen Personen etc.) wichtig sind. Die Problematik wird für die Betriebszeit des Klärteiches behandelt, es werden auch Besonderheiten nach der Stilllegung und Rekultivierung des Klärteiches angesprochen.

[1]Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2, jvdatel@gmail.com

1 Úvod

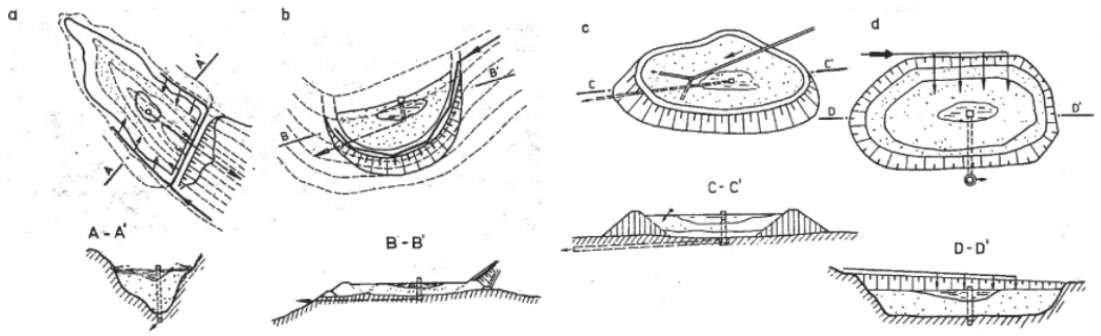
Odkaliště jsou doposud nejčastějším způsobem ukládání různých odpadů, především z těžby a zpracování rud, dále i elektrárenských popílků, a dalších odpadních materiálů podobného typu. Vzhledem k časté vyšší nebezpečnosti odpadů (kvůli obsahům toxických, radioaktivních a dalších nebezpečných látek) jde o dlouhodobou až trvalou environmentální zátěž lokality, kde je odkaliště umístěno. S tím souvisí i požadavky na podrobný a prakticky trvalý monitoring tělesa odkaliště [6].

V dalším textu jsou shrnuty zkušenosti s monitoringem odkališť na příkladu odkališť souvisejících s těžbou a zpracováním uranové rudy [6]. Jedná se o velmi sledované lokality, kde úroveň zabezpečení a monitoringu dosahuje vysoké úrovně. Používané přístupy a metody lze tak vhodně využít i na dalších lokalitách.

2 Druhy odkališť

Při současné úrovni znalostí, je možné shrnout ukládání hlušiny po těžbě a zpracování, následujícím způsobem [2]:

- depozice na povrchu - konstrukce násypu systému, na rovném povrchu nebo na svahu,
- podzemní kontejnment - vrácení materiálu do vyhloubeného prostoru v povrchových či hlubinných dolech,
- další depozice - hluboká jezera, nádrže nebo řeky.



Obrázek 1: Typy odkališť - a) údolí, b) svah, c) plochý terén, d) deprese terénu [6].

2.1 Umístění odkališť na povrchu

Kvůli potenciálnímu omezení rizik kontaminace okolního prostředí jsou nejvýhodnější odkaliště umisťována na povrchu terénu. Obrovské množství odkališť po celém světě se nachází na povrchu nebo nad ním. Typy odkališť ve velké míře závisejí na morfologii terénu vybrané lokality.

Označení odkališť jsou odvozena z jejich konstrukce:

- rovinná odkaliště s náspy kolem celého obvodu,
- údolní odkaliště s jedním nebo více hrázovými systémy,
- svahová odkaliště s hrázemi ve svahu.

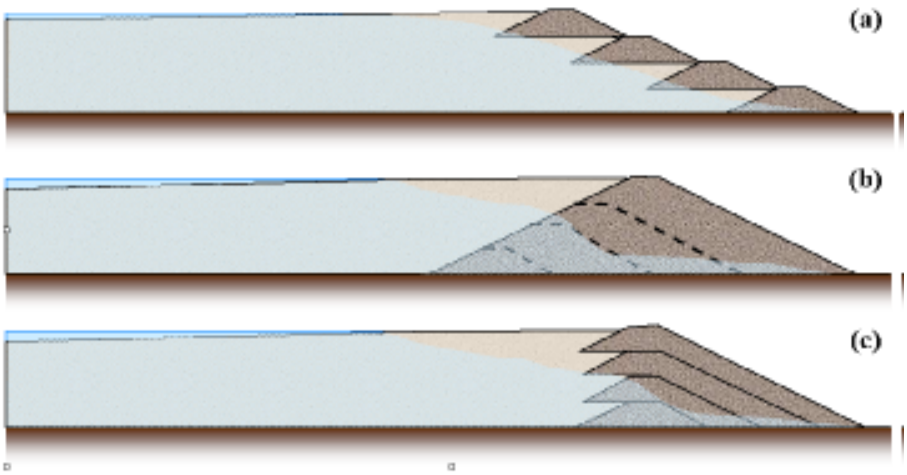
Rovinná odkaliště s náspy kolem celého obvodu jsou konstruovány pouze tehdy, pokud žádný jiný typ odkaliště je proveditelný. Je to technicky a stavebně nejméně výhodný typ odkaliště, vyžaduje obrovské množství materiálu na násypové konstrukce. Taková odkaliště mohou mít libovolný tvar - obdélníkový, kruhový, oválný, nepravidelný. Z ekonomických důvodů

a vzhledem k častému nedostatku jiného materiálu, je za tím účelem používán hrubozrnnější odpadový materiál z těžby a zpracování rudy.

Odkaliště na povrchu terénu mají ale nejmenší environmentální rizika – lze je účinně odizolovat od podloží (rovinná dostupná plocha), je možné je optimálně odvodňovat a lze je nejlépe ze všech stran monitorovat a sledovat. Nutným předpokladem tohoto tvrzení je ale skutečnost, že jsou umístěna mimo inundační území a nehrozí zaplavení odkaliště povodňovou vlnou.

Náspy jsou konstruovány buď na plnou definitivní výšku hráze, nebo sestávají z konstrukce zemní hráze s dalšími postupně budovanými vyššími násypy. Tyto vyšší násypy mohou být konstruované několika způsoby:

- zvyšování proti proudu, kde je osa vyvýšené hráze odsazena od osy předchozí hráze směrem ke středu odkaliště; vyšší hráze jsou tak částečně situovány na uloženém materiálu,
- zvyšování hrází po proudu (na vzdušné straně), kde je zvýšená hráz konstruována přidáním materiálu na přední straně spodní hráze; taková hráz je stabilnější a zvětšuje postupně plochu odkaliště, vyžaduje však větší množství konstrukčního materiálu,
- zvyšování hráze v její ose, což omezuje rozšiřování odkaliště na další pozemky.



Obrázek 2: Příčné řezy ukazující různé techniky pro zvýšení hrází odkaliště: a) zvyšování proti proudu, b) zvyšování po proudu, c) zvyšování v ose základní hráze [6].

V případě ukládání radioaktivního materiálu v konstrukci hráze systému, je nutné pokrýt vzdušné strany násypů příslušným izolačním materiálem, aby se minimalizoval únik radonu a také se zajistila dlouhodobá stabilita tělesa násypu. Z příkladů rovinného typu odkališť lze jmenovat např. Ranger a Olympic Dam (Austrálie), Key Lake (Kanada), Homestake, Kerr McGee, nebo Ambrosia Lake (USA).

2.2 Údolní a svahová odkaliště

Údolní odkaliště jsou nejčastěji volený typ odkališť. Jsou konstruovány vybudováním sypané hráze přes vybrané údolí. Konstrukce i zvyšování násypu je shodné s předchozím typem odkaliště. Výhody zahrnují příznivé geologické a hydrogeologické poměry, které minimalizují možné selhání hrázového systému v důsledku přírodních katastrof, jako jsou povodně nebo zemětřesení. Za nevýhodu lze označit vyšší nároky na odvodnění lokality, na zachycení povrchových i podzemních vod drénovaných údolím, zatrubnění a izolace povrchového toku, pokud se v údolí nachází apod. Svahová odkaliště mají podobný charakter, i ta obvykle

využívají morfologické deprese ve svahu (např. boční údolí). Jako příklad tohoto typu odkaliště, je možné zmínit Cluff Lake, Saskatchewan, Kanada, nebo odkaliště DIAMO ve Stráži pod Ralskem (mělké údolí po bývalém rybníku).

2.3 Podpovrchová odkaliště

Tato metoda kontejnmentu zajišťuje dlouhodobé oddělení uložených odpadů od povrchu terénu. Plavený materiál může být uložen do stávajících vytěžených prostor jak v povrchových, tak hlubinných dolech. Výhody podzemního uložení zahrnují minimalizaci potřeby dalších pozemků a omezení možných katastrofických scénářů, protože všechny vstupy do dolu jsou následně uzavřeny. Omezeno je i riziko eroze a úniku radonu. Vytěžený a zpracovaný materiál se vrací zpět do původního horninového prostředí. Nevýhody této možnosti skládkování souvisejí s existencí cizorodých chemických látek po úpravě rudy, které – společně s látkami ze zbytkového množství rudy mohou způsobovat problémy s kontaminací okolních podzemních vod (dokonalé utěsnění prostoru obvykle není možné).

Mezi příklady těchto řešení ze světa lze jmenovat např. Ranger a Nabarlek(Austrálie), Seelingstädt (Německo), MAPE Mydlovary (Česká republika), Spook (USA), Rabbit Lake a Key Lake (Kanada).

2.4 Ukládání odpadů do hlubokých jezer

V minulosti se v Kanadě odpady z těžby a zpracování rud ukládaly do hlubokých jezer, kde obrovské množství jezer na odlehlých místech toto řešení ve své době umožňovalo. V roce 1950, odpad z úpraven rudu Lorado a Gunnar se začal ukládat do jezer Nero a Mudford, a to bez jakékoliv kontroly nebo zajištění. Je zřejmé, že tento způsob ukládání nebezpečných odpadů má velmi negativní dopad stav přírodních vod, na celý vodní ekosystém a celé životní prostředí, včetně dotčeného obyvatelstva v území. Dnes jde tedy o naprosto nepřijatelný způsob nakládání s odpadem, vytvářející trvalou ekologickou zátěž a vážné poškození životního prostředí. Možnosti následné sanace jsou omezené kvůli velkým hloubkám jezer.

3 Geotechnický monitoring odkališť

Geotechnický monitoring by měl tvořit nedílnou součást každé významné a složité stavby, jakou určitě konstrukce hrází odkaliště je. Tento monitoring pomáhá k posouzení chování stavby a umožňuje předvídání možných rizik v průběhu a po ukončení jejího provozu. Monitorovací systém je nutné zejména v případech, kdy předpovídání geotechnického chování je buď komplikované (vlivem komplikovanosti stavby nebo okolních přírodních podmínek) nebo, pokud nemůže být dostatečně popsáno pomocí matematického modelu, případně pokud hrozí významná rizika, takže stavba vyžaduje nadstandardní pozornost (opět i toto platí v případě odkališť) [3].

Monitorovací systém neslouží jen k monitorování projektu jako takového. Používá se i ke kontrole odezvu horninového masivu, který podléhá změně původních napěťově-deformačních podmínek.

Monitoring by měl být standardně kombinován s numerickým modelováním, které umožňuje sofistikované hodnocení zjištěných dat, a korektně stanovit interval hodnot, ve kterých by se měly měřené veličiny pohybovat. Při překročení těchto hodnot jsou pak navrhovány tzv. varovné stavy. Jednotlivé varovné stavy charakterizují hodnocené deformace nebo poruchy, pro které jsou navržena příslušná opatření. Tato opatření jsou obvykle aplikována, jakmile sledované veličiny překroč přijatelné meze.

Geotechnický monitorovací systém by měl být zaveden s určitým předstihem před provedením stavby a obvykle nezůstává beze změn ani po dobu výstavby ani po dobu životnosti

konstrukce. Např. některé monitorovací prvky musí být vyměněny po dosažení limitních hodnot, celý systém může vyžadovat rozšíření o další měřená místa či veličiny, kdykoli je zjištěno, že optimální požadované informace nejsou k dispozici.

Dostatečně spolehlivý geologický a geotechnický konceptuální model zájmového území představuje základ pro instalaci a používání jakéhokoliv geotechnického monitorovacího systému. Konceptuální model zahrnuje stanovení litologických rozhraní, mechanické vlastnosti vyskytujících se zemin a hornin, jejich případná náchylnost k porušení a změnám (vodní režim, seismicita atd.). Geotechnický konceptuální model znamená pohled na stabilitu a deformační odezvu horninového masivu na různé zásahy do původního stavu. Toho se dosáhne tím, výpočty stability a distribuce napětí / deformace zahrnují různé okrajové podmínky.

Výše uvedené skutečnosti ukazují, že je zapotřebí poměrně detailní inženýrskogeologický průzkum předtím, než může být připravena finální verze konstrukčního řešení hráze odkaliště. Tento průzkum je nezbytný pro definování (posuzování) počáteční stability celého území, včetně potřeby možných preventivních opatření k posílení a udržení stability území, které by měly být provedeny před zahájením stavebních prací [16].

Monitorovací geotechnický systém představuje řetězec činností počínaje technickými pracemi a statistickými zjištěními, přes geomechanický model (geotechnický model a geotechnické výpočty), prognózy chování horninového masivu, až k přímému měření skutečných deformací [10] [11]. Po sběru reálných dat z monitoringu pak následuje proces rozhodování. To znamená, že posouzení skutečného chování horninového masivu, jeho srovnání s předem stanoveným limitem chování (varovné stavy), a přijetí příslušných technických a technologických opatření s cílem zajistit, aby vývoj deformace odkaliště zůstal v rámci požadovaných limitů.

Detailní návrh monitoringu je připraven na základě podrobných geotechnických výpočtů a výsledné prognózy stability a deformačního chování haldy nebo odkaliště. Vlastní struktura odkaliště pak definuje jednotlivé monitorovací prvky, jejich funkci a předpokládané využití, metodiku měření, rozvržení monitorovacích bodů a možné očekávané hodnoty měřených veličin [12]. V každém případě by měla být monitorovací systém instalován před započetím se stavbou, aby se bezpečně pokryl tzv. nulový stav, to znamená takový stav napětí-deformace, který předchází změnám souvisejícím s navrhovanou konstrukcí.

4 Součásti geotechnického monitorovacího systému

4.1 Vizuální prohlídky

Pravidelné kontroly tvoří podstatnou část každého monitorovacího programu. Ty by se měly zaměřit především na detailní vizuální identifikaci a posouzení trhlin (paralelní nebo příčné) v oblasti koruny hráze a/nebo podobných trhlin na samotném svahu. Dále i prasklin, deformací a poruch podloží a odvodňovacích systémů na úpatí svahu.

Zvláštní pozornost je třeba věnovat poklesům v koruně hráze, jakémukoliv uvolňování a vyplavování materiálu z hráze. Kromě toho je třeba pečlivě sledovat jakékoliv zamokření a podmáčení, včetně místního výskytu vlhkomilné vegetace, a také známky erozních procesů na povrchu svahu hráze, protože to vše může signalizovat známky nestability tělesa hráze, např. v důsledku změněné hladiny vody.

4.2 Geodetický monitoring

Geodetické metody měření deformací / pohybů patří ve většině případů mezi ekonomicky nejvýhodnější způsoby monitorování. V tomto případě povrch terénu nebo stanovené body na různých objektech jsou sledovány. K měření je třeba používat stabilizované geodetické body zajištěné proti nechtěnému pohybu nebo deformaci, tedy obvykle body, které jsou mimo dosah vlivu sledované konstrukce.

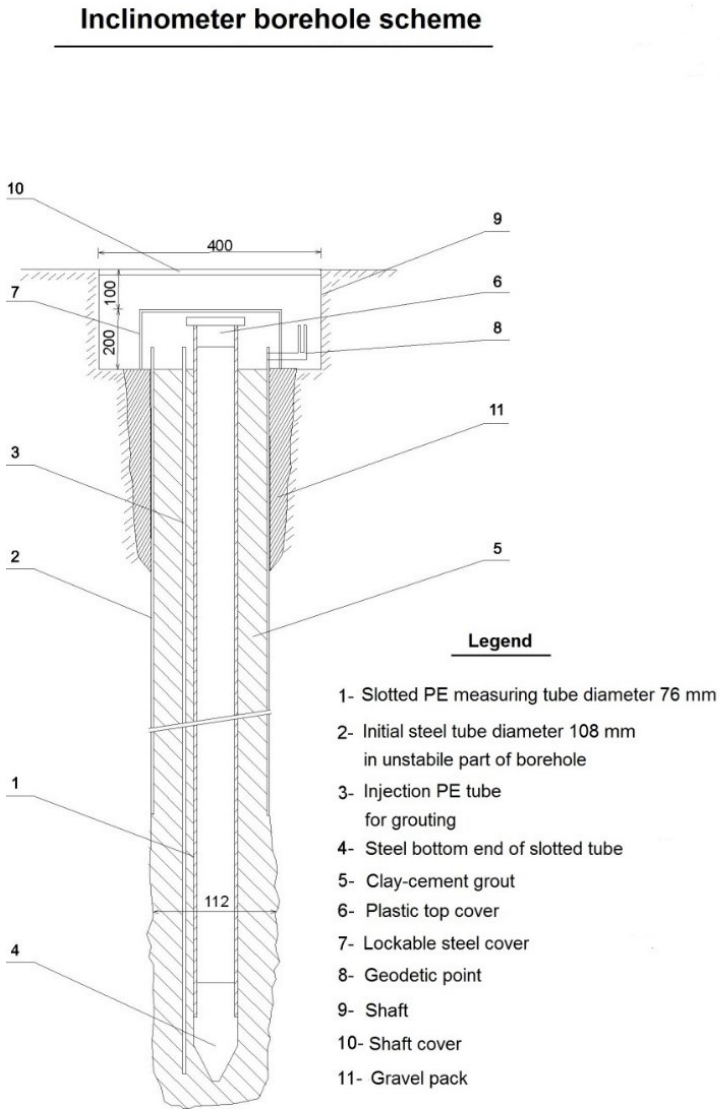
Geodetické měření se používá ke sledování nárůstů, poklesů nebo změn polohy půdorysu. Mapovací body jsou umístěny s ohledem na potřeby monitorovacího systému. Z pohledu hodnocení se doporučuje, aby stanovené geodetické body byly uspořádány v profilech kolmých k podélné ose svahu nebo násypu.

Geodetické sledování deformací a pohybů na povrchu odkaliště nebo hald může být prováděno za použití tradičních metod ručně nebo v automatickém režimu sběru dat ve stanovených intervalech, včetně jejich dálkového přenosu.

4.3 Vysoce přesná inklinometrie

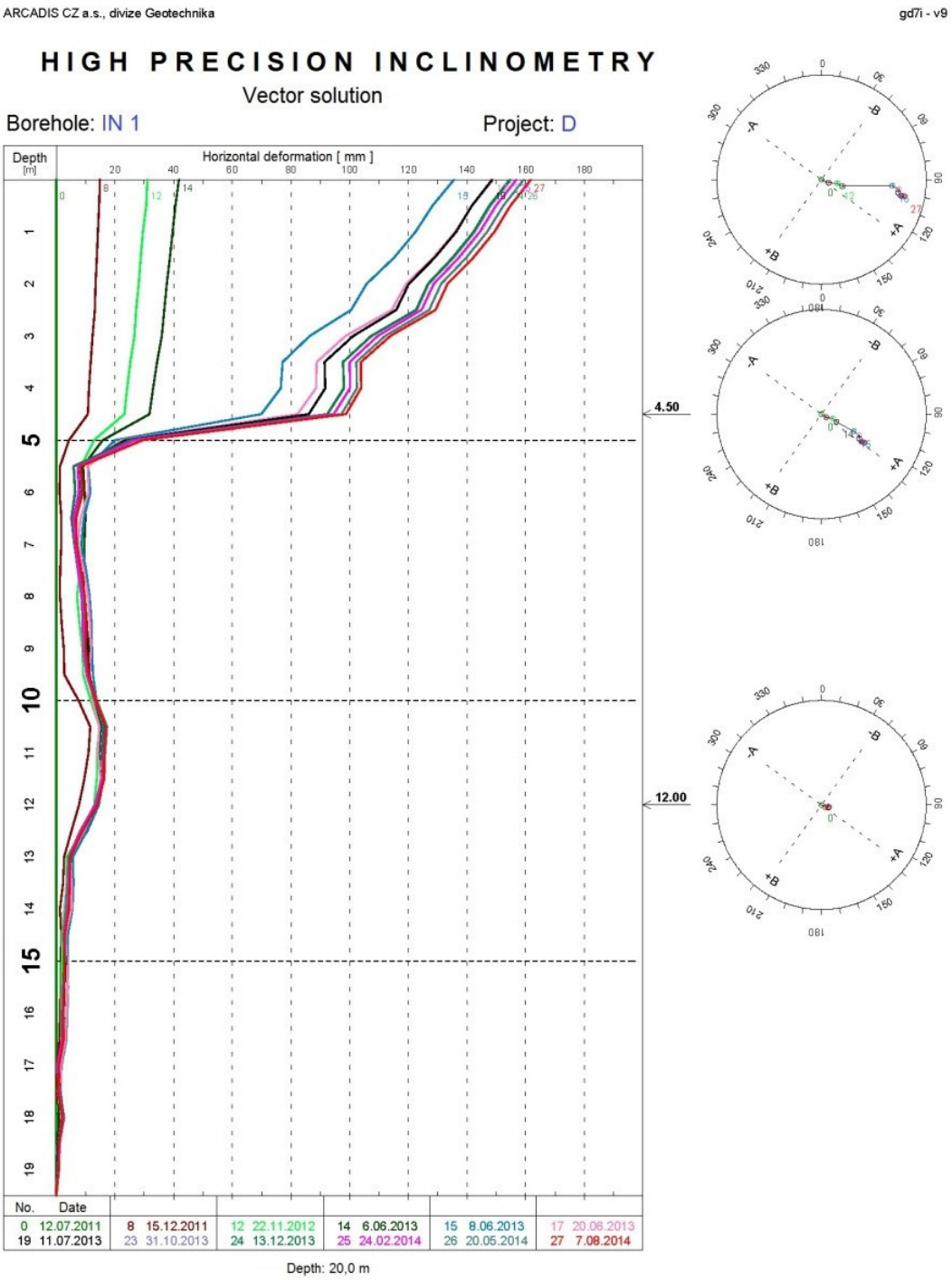
Vysoce přesná inklinometrie umožňuje monitorování horizontálních pohybů osy monitorovacího vrtu procházejícího tělesem hráze. Tato metoda spolehlivě určuje hloubku, rychlost a směr pohybu v počínajícím sesuvném procesu, a také pomáhá s hodnocením ostatních deformací - například změna sklonu nebo pokles vrstev.

Následující obrázek znázorňuje schéma inklinometrického vrtu. Jedná se o typ se zhlavím umístěným v zapuštěné šachtici, který je vhodný pro místa, kde výstroj vrtu nesmí vyčnívat nad povrch. V normálním terénu, vrt může být ukončen nadzemním zhlavím s uzávěrem na speciální klíč nebo visací zámek.



Obrázek 3: Schéma inklinometrického vrtu [6].

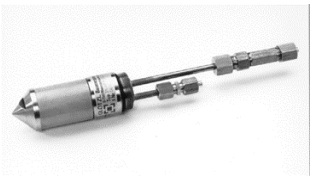
Přesné inklinometry vyžadují minimální vrtu průměru 112 mm. Tento vrt je opatřen oválnými trubkami PE, které vedou inklinometrickou sondu při následném měření. Prstencový prostor mezi PE měřicí trubky a stěnou vývrtu je bezprostředně zainjektován jílovo-cementovou injektážní směsí, optimálně s podílem voda : cement : bentonit = 80 litrů : 50 kg : 5 kg. Ochranné zhlaví vrtu je vhodné umístit před zatvrdnutím směsi a vrt je nakonec opatřen ochranným uzávěrem.



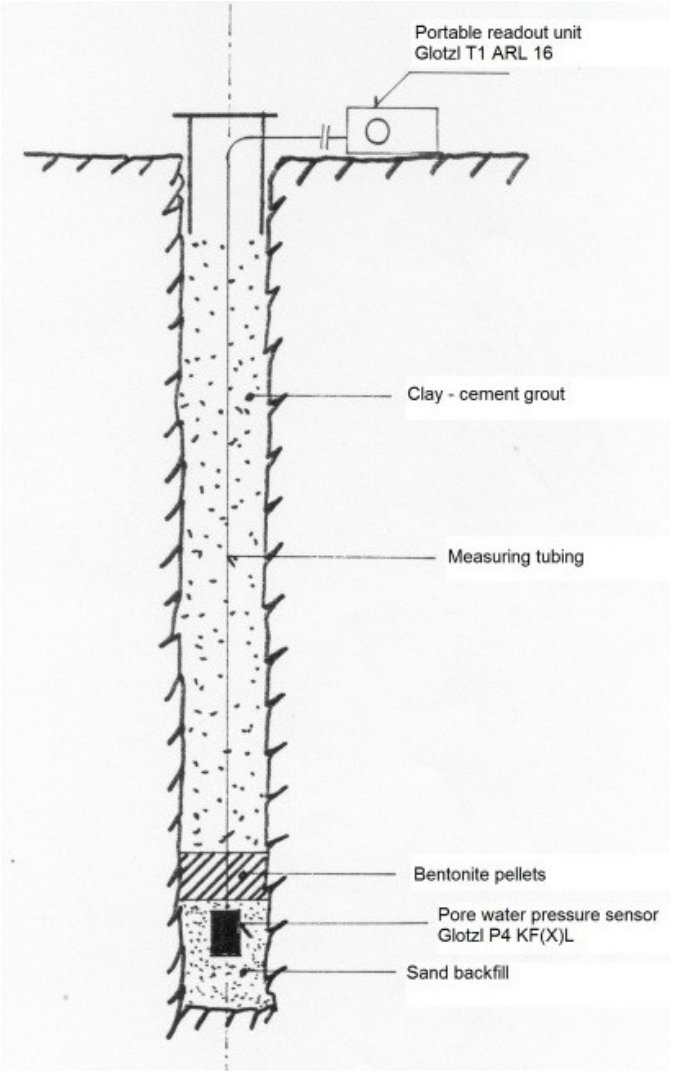
Obrázek 4: Grafický výstup vysoce přesné inklinometrie (velikost a orientace horizontálních změn s hloubkou) [6].

4.4 Měření pórových tlaků

Vrty osazené tlakoměry jsou určeny pro měření pórových tlaků v horninách. Vrty jsou vybaveny hydraulickými senzory, které jsou instalovány v hloubkách, kde má být monitorován pórový tlak. V požadované hloubkové úrovni jsou senzory instalované v pískovém loži a utěsněny peletami bentonitu, které nabobtnají po kontaktu s vodou a vytvoří nepropustnou vrstvu. Tato vrstva odděluje sledovaný interval od okolního prostředí. Tlaková potrubí (PE trubky 6 mm) se umístí do prostoru vrtu. Snímač se skládá z porézní keramické desky, jejímž prostřednictvím je pórový tlak přenášen na membránový ventil, který je spojen s tlakovým potrubím. Obvyklý měřící rozsah tohoto senzoru je 0-1 MPa s přesností 1 kPa, k dispozici jsou čidla s rozsahy od 60 kPa až 5 MPa. Kromě pneumatických snímačů existují i piezoelektrické snímače a optické vláknové jednotky.



Obrázek 5: Snímač pórového tlaku [6].

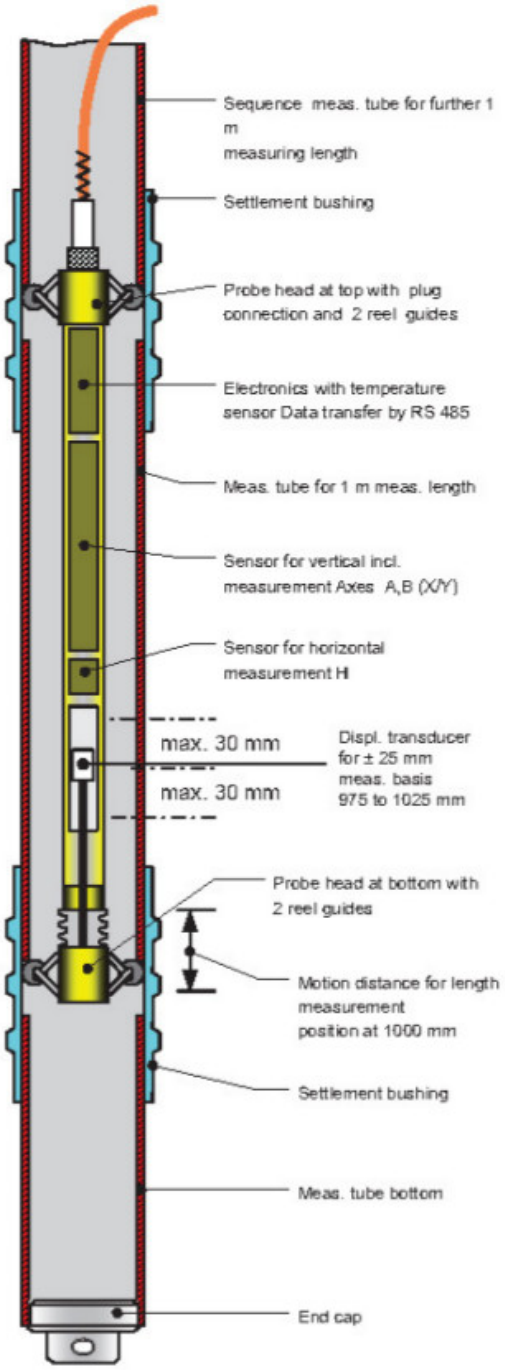


Obrázek 6: Schéma vrtu s umístěným snímačem pórového tlaku [6].

4.5 Posuvný deformetr (3D-inklinometr)

Pro vysoce přesné měření jak svislých tak i vodorovných deformací posuvným deformetrem (někdy také nazývaný 3D inklinometr) vrty musí být vybaveny speciální měřicí trubkou GLÖTZL ⊘ 49/55 mm. Jedná se o systém plastových trubek, které mají dvě dvojice podélných vodicích

drážek (viz následující obrázek). Tyto štěrbiny jsou uspořádány ve dvou vzájemně kolmých rovinách (rovina ”A”a ”B”).



Obrázek 7: Schéma sondy s deformetrem [6].

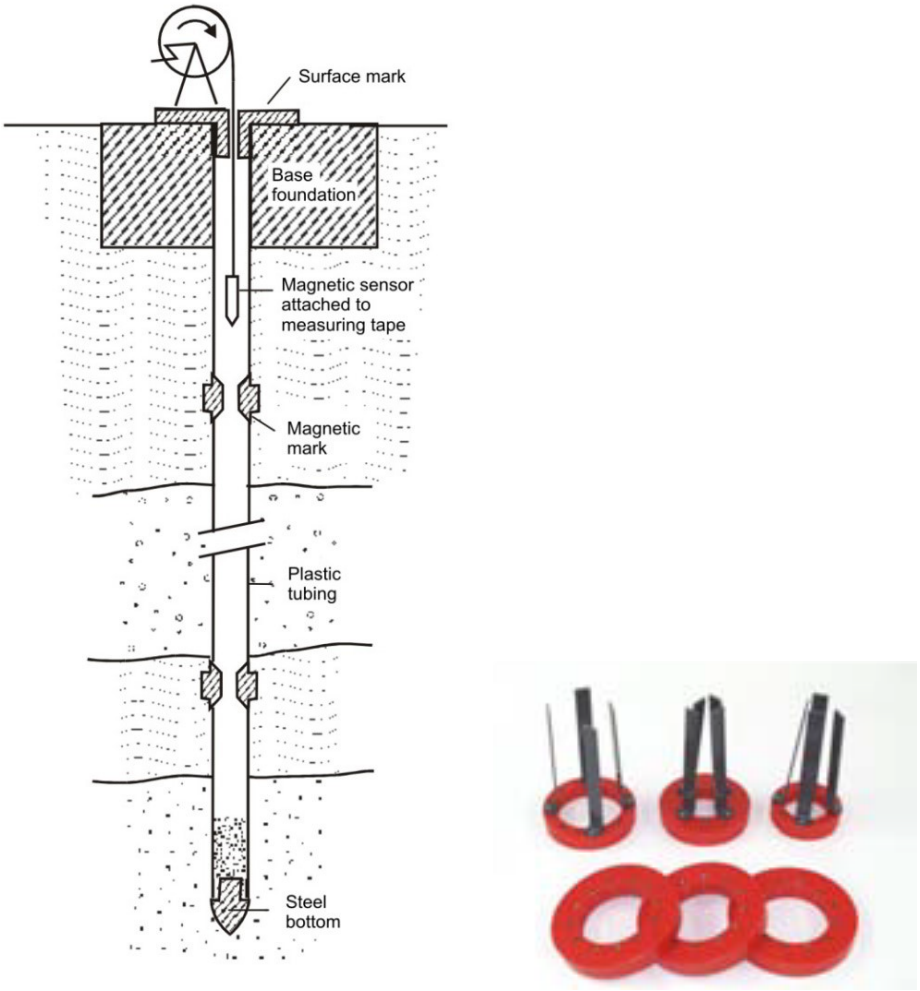
Měřicí trubky jsou k dispozici v délkách 1 m, které jsou spojeny teleskopickými spojkami se speciálně navrženými přesnými dorazy pro měřicí sondy. Vnější průměr spojek 76 mm určuje průměr celého řetězce. Plastové měřicí trubky jsou vloženy do předem vyvrtaného vrtu s minimálním průměrem 112 mm. Prstencový prostor mezi měřicí trubkami a stěnou vrtu je zainjektován jílovo-cementovou směsí, aby byl zaručen dokonalý kontakt měřicí trubice a okolního prostředí. Deformace měřicí trubice pak bude kopírovat možné svislé a vodorovné deformace prostředí, ve kterém se nachází. Aby byl zajištěn dobrý kontakt měřicí

trubice s okolním prostředím, sledovaná část vrtu nesmí být osazena ocelovými pažnicemi. V případě, že vrtová stěna je nestabilní a během vrtání je nutné provádět dočasné pracovní pažení, pažnice musí být po osazení měřících trubic vyjmuty.

Deformace se měří pomocí posuvné deformetrické sondy GLÖTZL. Jedná se o multifunkční měřicí přístroj, který měří deformace dané měřicí trubice a tím i okolního prostředí, ve vodorovné rovině, ve směru ”A”a ”B”ve vertikálním směru, to znamená ve směru podélné osy monitorovacího vrtu je. Dále měří lokální teploty ve vrtu. Sonda může měřit svislé deformace s přesností 0,01 mm, její rozlišení je 0,001 mm. Měřící rozsah je 25 mm/běžný metr. Přesnost měření vodorovných deformací je 1 mm/10 metrů. Měřicí rozsah snímačů je 30 mm od svislé čáry. Naměřené hodnoty jsou automaticky zaznamenávány.

4.6 Magnetické značky

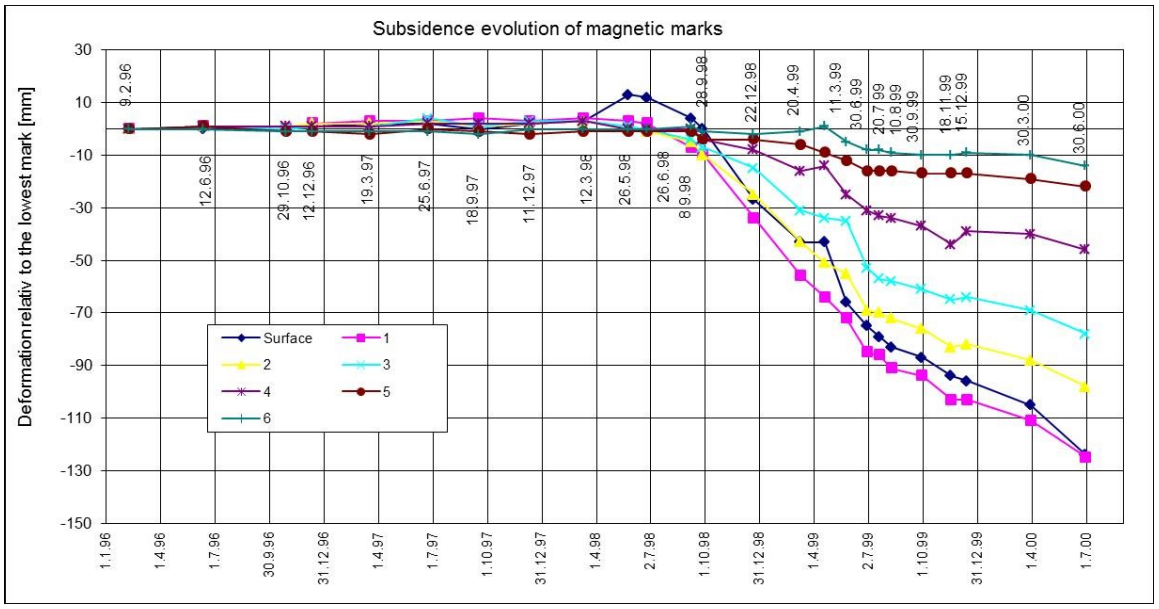
Magnetické značky umožňují snadné, rychlé a relativně levné určení polohy, kde se vyskytují svislé deformace skalního masívu (poklesy nebo zvedání) s celkovou přesností kolem 2 mm. Tyto značky jsou připojeny k plastovým trubkám ve vybraných hloubkových intervalech (například 1 m), jejich pozice ve vrtu je zainjektována jílovo-cementovou směsí.



Obrázek 8: Schéma sondy s magnetickými značkami, vpravo magnetické značky před osazením do vrtu [6].

Jejich pozice (a možná následná změna této polohy) lze ručně sledovat spuštěním magnetického senzoru připojeného k měřícímu pásmu s certifikací potřebné přesnosti měření. Pro

zvýšení přesnosti je odměrný pevný bod na povrchu terénu opatřen noniem. Výhoda tohoto způsobu spočívá v možnosti výběru libovolného počtu měřených bodů, a v možnosti kombinace s jinými geotechnickými monitorovacími metodami, např. značky mohou být přidány k měření přesným inklinometrem. Nevýhodou je poměrně nízká přesnost měření 2 mm.



Obrázek 9: Příklad dat z měření poklesových pohybů pomocí magnetických značek [6].

5 Hydrologický a hydrogeologický monitoring povrchových a podzemních vod v okolí odkališť

Podzemní vody přítomné v nasycené i nenasycené zóně v podloží a okolí odkališť jsou ohroženy v podstatě třemi způsoby [9] [21]:

- Průsakem kontaminovaných vod z tělesa odkaliště do podloží [13]
- Infiltrací povrchových a dešťových vod kolem odkaliště, které mohou být kontaminovány, například v důsledku atmosférické depozice prachu z odkaliště, z kontaminace vlivem dopravy kalu do odkaliště apod.
- Jednorázovými mimořádnými událostmi (haváriemi) [20], kde se povrch v okolí odkaliště kontaminuje, např. při průvalu hráze odkaliště, při zatopení území povodní apod.

Povrchové vody v okolí odkaliště jsou ohroženy následujícími způsoby:

- Drenážemi průsaků z odkaliště do povrchových vod
- Splachy dešťovými srážkami na kontaminovaném povrchu terénu (např. z prachové depozice)
- Drenážemi kontaminovaných podzemních vod (viz výše)
- Jednorázovými mimořádnými událostmi (haváriemi), kde se povrch v okolí odkaliště kontaminuje, např. při průvalu hráze odkaliště, při zatopení území povodní apod.

Průzkumné práce v okolí odkališť mohou být definovány ve třech hlavních směrech [4] [22]:

- Zajištění preventivního průzkumu a monitoringu podzemních a povrchových vod v okolí odkaliště tak, aby byla umožněna včasná detekce úniků látek z odkaliště

- V případě již existující kontaminace (úniky a průsaky do podloží a stran) se zajišťuje průběžný průzkum a monitoring stavu, který by měl identifikovat časové změny kontaminační situace a upozornit na potenciální zhoršování stavu
- V případě náhlé mimořádné události (průval hráze, přelití hráze apod.) se zajišťuje havarijní hydrologický a hydrogeologický průzkum na celém zasaženém území s cílem co nejrychleji ohraničit zasažené území a získat informace pro primární sanační zásah.

5.1 Druhy monitoringu vod v okolí odkališť

V okolí odkališť se lze setkat s následujícími typy monitoringu vod [5]:

- Preventivní a operativní monitoring povrchových a podzemních vod v těsné blízkosti odkaliště jako potenciálního zdroje kontaminace
- Sledování kontaminačního mraku a jeho pohybu, v případě že dochází k reálným únikům látek z odkaliště
- Monitoring kvality povrchových a podzemních vod na vstupu do monitorovaného prostoru (přírodní hodnoty pozadí sledovaných parametrů)
- Sledování účinnosti přijatých nápravných a sanačních opatření (pokud jsou prováděna v kontaminovaném prostoru nebo přímo v odkališti)
- Provozní monitoring využívaných vodárenských zdrojů v okolí
- Plošný monitoring stavu povrchových a podzemních vod (státní pozorovací síť ČHMÚ)
- Postoperativní a postsanační monitoring odkaliště (v případě, že provoz a sanace/rekultivace odkaliště již byla provedena a odkaliště již není v provozu)

5.2 Součásti preventivního a operativního monitoringu vod

Za účelem získání nezbytných informací o bezpečném provozu odkaliště z hlediska ochrany okolního životního prostředí, s přihlédnutím k nebezpečí možného úniku škodlivých látek, tento monitoring zahrnuje tyto dílčí části:

- Monitorování vod v rámci odkaliště - sondy instalované v předem určených bodech na přítoku, odtoku, v dočasně vznikajících akumulacích apod.
- Monitoring průsakových vod (pronikání kontaminovaných vod napříč hrázemi a do podloží mělké sondy na vnějším úpatí svahů hrází kolem odkaliště, vizuální sledování divokých průsaků na vzdušné straně hráze, v některých případech i šikmé vrty pod těleso odkaliště)
- Monitorování drenážních vod (vzorkování vod z vnitřních drenáží – voda z tělesa odkaliště, vzorkování vod z vnějších drenáží, zachycujících vodu vně odkaliště, aby nepronikala do tělesa uložených sedimentů)
- Monitoring povrchových vod v okolí odkaliště (povrchových toků, nádrží, mokřadů, srážkových vod)
- Monitorování podzemní vody v okolí odkaliště - síť monitorovacích vrtů kolem odkaliště, především ve směru proudění podzemní vody a využívaných vodárenských zdrojů

5.3 Hydrogeologické monitorovací vrty

Hydrogeologický monitorovací vrt se používá ke sledování a dokumentování hladiny podzemní vody ve vybraném území, a k odběru vzorků podzemní vody [7] [8] [19]. Hydrogeologický vrt se obvykle konstruuje jako vertikální (v některých případech šikmý) a je vybaven perforovanou trubkou (výstrojí) z PE nebo PVC (s atestací na pitnou vodu) za účelem sledování zvodněného kolektoru. Rozsah perforace výstroje a filtrační obsyp vrtu je volen s ohledem na okolní horninové prostředí tak, aby vrt umožnoval kontakt s podzemní vodou a při čerpání „nepískoval“, tzn., aby přitékající voda s sebou nestrhávala částice horniny a neucpávala vrt. Ve spodní části vrtu je prostor pro sedimentaci kalů – tzv. kalník (obvykle 50 - 100 cm). Průměr vrtu a výstroje by měla být dobře zvolen s ohledem na velikost čerpadla, vzorkovače apod. - menší průměr (100 - 125 mm) je dostatečný pro mělké vrty, hlubší vrty by měly používat průměr výstroje 140 - 160 mm. Ještě menší průměr vrtu se používá u tzv. piezometrů, tedy u vrtů otevřených jen ve velmi krátkém úseků, které monitorují konkrétní tlakové nebo chemické podmínky v přesně definované hloubce [14].

Horní část vrtu musí být dostatečně izolována proti zatékání povrchové vody, obvykle jílocementovou injektáží zaplášťového prostoru [15]. Nadzemní část vrtu (pokud vrt je opatřen podzemí nosnosti hlavy) je chráněna ocelovou trubkou s uzávěrem bránící vrt před poškozením a neoprávněným přístupem. Někdy se vrt zakončuje v manipulační šachtici pod úrovní terénu, která může uzavřena pojezdovým poklopem - například u silnic, chodníků, atd.). V případě, že se v horninovém prostředí vyskytuje systém s více hydrogeologickými kolektory nad sebou, je důležité, aby vrt tyto oddělené kolektory nepropojil [23]. Pokud je třeba monitorovat různě hluboké kolektory, je třeba zkonstruovat samostatný vrt do každého kolektoru, jehož speciální konstrukce zamezí (s využitím tlakové cementace a teleskopického pažení) propojení kolektorů V opačném případě naměřené hodnoty hladin i údaje o chemismu vody mohou být zkresleny přetékáním mezi kolektory.

Síť monitorovacích vrtů kolem odkaliště musí být navržena hydrogeologem s ohledem na potřeby a charakteristiky vyskytujících se vodních útvarů podzemních vod, které mohou být ovlivněny z tělesa odkaliště. Pokud monitorovací hydraulické vrty slouží i k ověření hydraulických parametrů hydrogeologických kolektorů nebo nesaturované zóny, je třeba při jejich výstavbě zvolit dostatečně průměr a kvalitu zařízení (minimálně 140 mm), aby bylo možné použití běžně dostupného čerpadla s vhodným výkonem a velikostí.

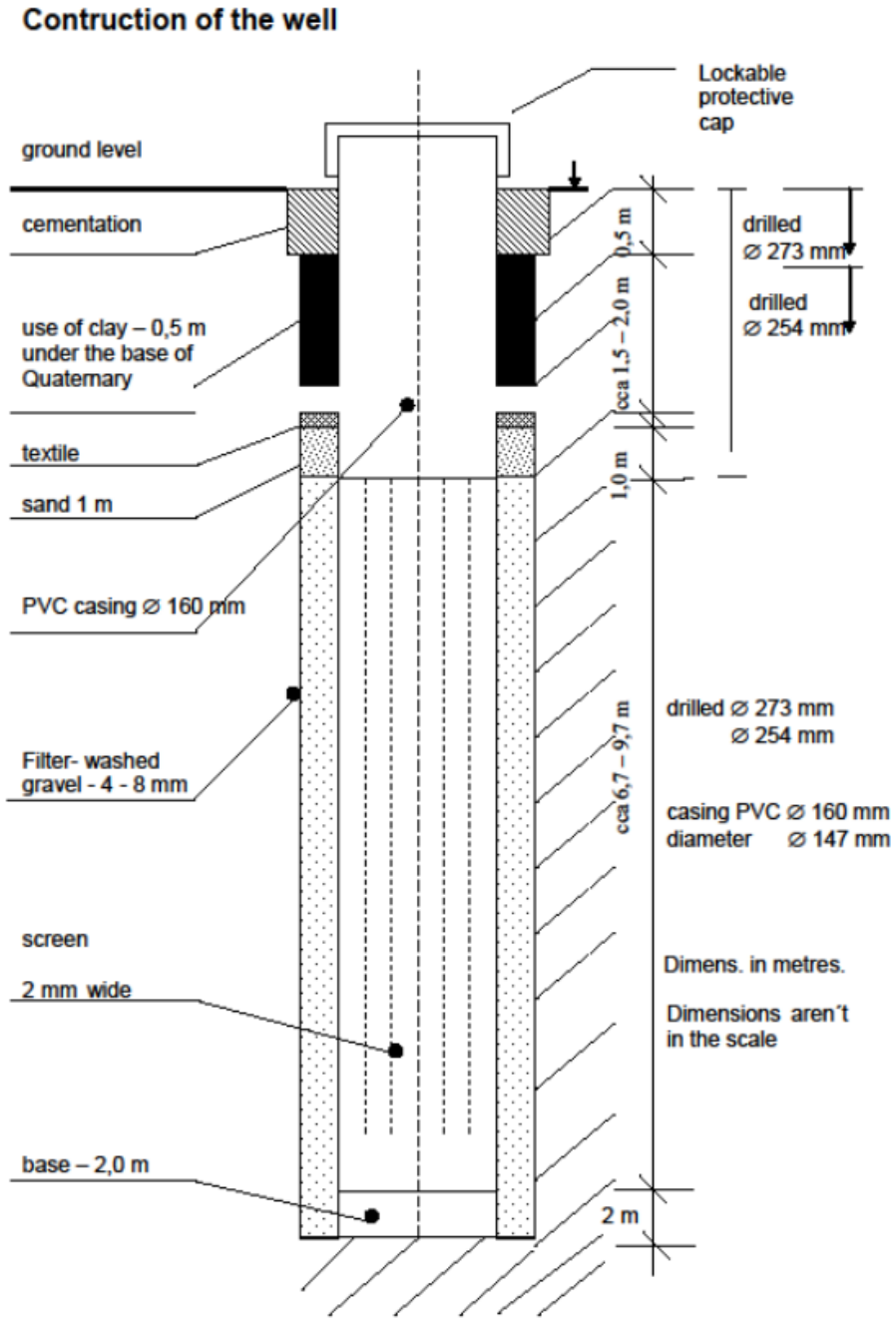
Monitorovací hydrogeologické vrty se používají pro následující aktivity [18]:

- Čerpací zkoušky ve vrtech se používají k ověření hydraulických parametrů daného prostředí - koeficient hydraulické vodivosti (nasycené nebo nenasycené), koeficienty transmisivity a storativity, a jejich případné změny. Čerpací zkoušky ověřují dále snížení hladiny vody ve vrtu v závislosti na čerpaném množství, dosah vlivu čerpání na vrtu (dosah depresního kužele), využitelnou vydatnost vrtu, velikost ovlivnění jiných blízkých vrtů či studní apod.

- Měření hladiny podzemní hladiny vody v monitorovacích vrtech lze měřit ručně s akustickými nebo elektrickými hladinoměry s přesností měření cca 1 cm nebo s automatickými stanicemi měření hladiny zabudované ve vrtech (na principu plováků nebo tlakových snímačů), které dosahují přesnosti měření až 1 mm. Frekvence měření hladiny může být od několika sekund či minut až po roční periodicitu v závislosti na okolnostech a účelu monitoringu.

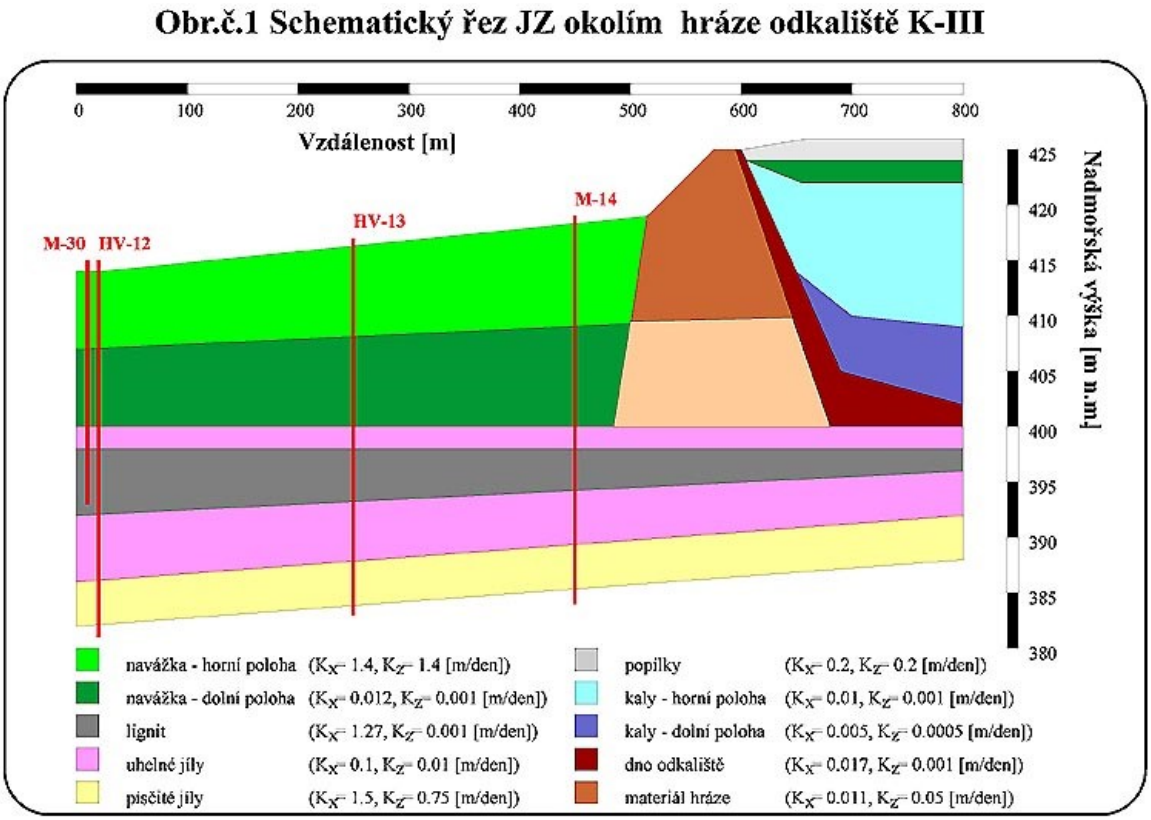
- Fyzikálně-chemické parametry podzemních nebo povrchových vod lze měřit přímo na místě s terénními detektory pro měření pH, T, redox potenciálu, vodivosti, rozpuštěného kyslíku atd. Tato měření jsou často používána současně při odběrech podzemních a povrchových vod.

- Odběry vzorků podzemních vod pro laboratorní rozbory (chemické, bakteriologické apod.) za pomocí mechanických vzorkovačů různých typů a konstrukcí, nebo za pomocí vzorkovacích čerpadel. Způsob a metodiku odběru vždy musí stanovit odpovědný hydrogeolog s ohledem na přírodní podmínky, sledované parametry a účel monitoringu [1].



Obrázek 10: Schéma hydrogeologického monitorovacího vrtu [6].

Principiálně stejným způsobem se zajišťuje monitoring povrchových vod.



Obrázek 11: Schéma lokalizace monitorovacích hydrogeologických vrtů v blízkosti odkaliště v různých vzdálenostech od hráze [17].

6 Závěr

Odkaliště mnohdy obsahují uložené odpady s nebezpečnými vlastnostmi, které jsou dlouhodobou zátěží okolního životního prostředí, a to i po jejich uzavření a rekultivaci. Z tohoto důvodu je nezbytné zajišťovat trvalý monitoring, jak během výstavby a provozu, tak i po uzavření odkaliště.

Monitoring sestává ze dvou základních částí: geotechnického monitoringu, který sleduje technický stav konstrukce hrází a vlastního skládkového tělesa, a environmentálního monitoringu, který monitoruje potenciální a reálné negativní dopady odkaliště na okolní hydrosféru (povrchové a podzemní vody), případně další složky životního prostředí, pokud to je relevantní (atmosférická depozice, kontaminace půd, organismů, měření radioaktivity apod.).

Poděkování: Článek byl zpracován s využitím podkladů metodiky Methodology for Assessment the Safety of Uranium Mining and Milling Facilities, který je výsledkem práce kolektivu VÚV TGM (Datel J.V., Hrabánková A., Balvín P.), ARCADIS CZ (Ďurove J., Kučera P., Sekyra Z.), FJFI ČVUT (Čechák T., Klusoň J.) a PROGEO (Uhlík J., Baier J.).

Literatura

[1] ISO 5667 Water Quality – Sampling. 1995-2014.

[2] BAT: Best Available Techniques (BAT) for the Management of the Generation and Disposal of Radioactive Waste, Code of practice, BAT working group, Nuclear Industry Safety Directors Forum http://www.nuclearinst.com/, UK. 2010.

[3] BLIGHT, G.: Geotechnical Engineering for Mine Waste Storage Facilities. CRC Press, London, UK. 2010.

[4] BOULDING, J.; GIN, J.: Practical Handbook of Soil, Vadose Zone and Ground-water Contamination, Assessment, Prevention and Remediation, 2nd edition. CRC Press, USA. 2003.

[5] BRASSINGTON, R.: Field Hydrogeology, 3rd edition. Wiley, UK. 2007.

[6] DATEL, J.; ČECHÁK, T.; ĎUROVE, J.; aj.: Methodology for Assessment the Safety of Uranium Mining and Milling Facilities. MS. ÚJV Řež, ARCADIS CZ a VÚV TGM. Praha. 2016.

[7] DELLEUR, J.: Groundwater Engineering, 2nd edition. CRC Press, USA. 2007.

[8] DOMENICO, P.; SCHWARTZ, F.: Physical And Chemical Hydrogeology, 2nd Edition,John Wiley & Sons, Inc., New York, USA. 1998.

[9] ERDELYI, M.; GALFI, J.: Surface and Subsurface Mapping in Hydrogeology. Akademiai Kiado, Budapest, Hungary. 1988.

[10] EUROCODE 7: Geotechnical design. European Standard EN 1997. 2004-2007.

[11] EUROCODE 8: Design of structures for earthquake resistance. European Standard EN 1998. 2004-2006.

[12] FELL, R.; MCGREGOR, P.; STAPLEDON, D.; aj.: Geotechnical Engineering of Dams, 2nd edition. CRC Press, London, UK. 2014.

[13] FETTER, C.: Contaminant Hydrogeology, 2nd edition. Waveland Press, USA. 2008.

[14] FETTER, C.: Applied Hydrogeology, 4th edition. Pearson Education Limited, USA. 2013.

[15] GILLI, E.; MANGAN, C.; MUDRY, J.: Hydrogeology – Objectives, Methods, Applications. CRC Press. USA. 2008.

[16] KUCERA, P.: Laboratory tests of the barrier soil materials. MS. Arcadis CZ, Praha. 2000.

[17] KUCERA, P.: PRLP Mydlovary – remediation of the deposit K IV/R. MS Arcadis CZ. Praha. 2008.

[18] NAZAROFF, W.; ALVAREZ-COHEN, L.: Environmental Engineering Science. Wiley, USA. 2001.

[19] POEHLS, D.; SMITH, G.: Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology. Elsevier, USA. 2009.

[20] STREFFER, C.; GETHMANN, C.; KAMP, G.; aj.: Radioactive Waste, Technical and Normative Aspects of its Disposal (Ethics of Science and Technology Assessment). Springer, Berlin Heidelberg, Germany. 2011.

[21] WALTON, W.: Principles of Groundwater engineering. Lewis Publishers, USA. 1991.

[22] WARD, A.; TRIMBLE, S.: Environmental Hydrology, 2nd edition. Lewis Publishers, USA. 2004.

[23] WEIGHT, W.: Hydrogeology Field Manual, 2nd edition. McGraw Hill, USA. 20008.