

Možnosti odvodnění pomocí elektropneumatických a sifonových drenů a příklad aplikace na lokalitě Most-Ležáky

Ing. Ondřej Mrvík^{1,2}, MEng. Sébastien Bomont¹

¹ TP.GEO, Fontaines, Francie, o.mrvik@tpgeo.com; s.bomont@tpgeo.com

² FSv ČVUT, Katedra geotechniky, Praha

Přijato: 26. 3. 2009, recenzováno: 29. 5. a 5. 6. 2009

Abstrakt

Přirozené svahy či umělé zářezy mohou být v případě nepříznivých inženýrskogeologických poměrů a geotechnických podmínek ohroženy stabilitními problémy, jež mohou nezřídka zapříčinit ohrožení stávajících nemovitostí a konstrukcí nebo budovaného díla a způsobit neúměrné zvýšení nákladů na výstavbu či sanaci území. Klíčovou úlohu ve stabilitním chování horninového masivu má voda. Výběr vhodné metody odvodnění území je proto velmi důležitý. Tradičně využívané způsoby odvodnění mohou být vhodným řešením. Inovační metody hloubkové drenáže, sifonové a elektropneumatické dreny, však v některých případech mohou představovat výhodné řešení a vhodnou alternativu metodám tradičním. V příspěvku jsou popsány principy obou inovačních metod hloubkového odvodnění pomocí elektropneumatických a sifonových drenů. Jako modelový příklad je dále prezentována aplikace sifonové drenáže na lokalitě Most-Ležáky. Následuje popis modelové lokality a řešení problematiky a představení realizovaného projektu odvodnění. V poslední části článku jsou zhodnocena pozorování a naměřená data a na základě dosavadních výsledků učiněny závěry.

Ways and means of drainage with electropneumatic and liquid seal drains and examples of application at most-ležáky site

Natural or artificial slopes are very often affected by problems with instability. Such problems can lead to endanger of existing properties, excavations or structures under construction and to increase in expenses. The prime trigger for land slipping is a high groundwater level. The method of dewatering is important. Some traditional drainage techniques are proven methods. However, two innovative deep drainage systems, the Siphon and the Electropneumatic drains, could have certain advantages. During the remediation works of the former brown coal open mine "Most-Ležáky", several signs of instability at certain parts of the treated slopes were observed. To avoid the groundwater to infiltrate lower situated parts of the slopes and underlying geological structures, dewatering by innovative gravity driven deep drainage by Siphon drains was adopted. Case study introducing the design and construction of the drainage technique to control slope stability of the site is described below.

Möglichkeiten der Entwässerung mithilfe von elektropneumatischen und siphondrains und Anwendungsbeispiel auf dem Standort Most-Ležáky

Die natürlichen Böschungen oder künstlichen Einschnitte können im Falle ungünstiger ingenieurgeologischer Verhältnisse und geotechnischer Bedingungen durch Stabilitätsprobleme bedroht werden, die nicht selten eine Bedrohung von vorliegenden Immobilien und Konstruktionen oder eines Bauwerkes bewirken und infolge dessen unverhältnismäßige Kostenerrhöhung für die Herstellung oder Sanierung des Geländes verursachen können. Eine Schlüsselrolle im Stabilitätsverhalten des Gesteinsmassivs spielt das Wasser. Die Auswahl eines geeigneten Verfahrens der Entwässerung des Terrains ist deshalb von großer Bedeutung. Die herkömmlich genutzten Entwässerungsmethoden können eine sinnvolle Lösung darstellen. Die Innovationsmethoden der Tiefendrainagen, Siphondrains und elektropneumatischen Drains können in einigen Fällen eine vorteilhafte Lösung und geeignete Alternative der traditionellen Methoden darstellen. Im Beitrag sind Prinzipien beider Innovationsmethoden der Tiefenentwässerung mit Hilfe von elektropneumatischen und Siphondrains beschrieben. Als Modellbeispiel ist weiter die Anwendung der Siphondrainage auf dem Standort Most-Ležáky präsentiert. Weiter folgt die Beschreibung der Modelllokalität und der gelösten Problematik und die Darstellung eines umgesetzten Entwässerungsprojektes. Im letzten Teil des Artikels sind Beobachtungen und gemessenen Daten bewertet und auf Basis der bisherigen Ergebnissen Abschlüsse getroffen.

Klíčová slova: odvodnění, sesuv, stabilizace, hloubková drenáž, vrtly, sifonové dreny.

Keywords: dewatering, landslide, stabilisation, deep drainage, wells, siphon drains.

1 Úvod

Odvodňování, jako metoda stabilizace nestabilních území (přirozených svahů nebo umělých zářezů, včetně například těžebních jam) či dekontaminace lidskou činností postižených oblastí, je jedním z nejčastějších problémů geotechnické praxe.

Na základě nároků na elektrickou energii lze metody odvodňování rozdělit do dvou skupin. Tradiční metody založené na gravitačním odvodnění (např. drenážní příkopy či žebra) umožňují

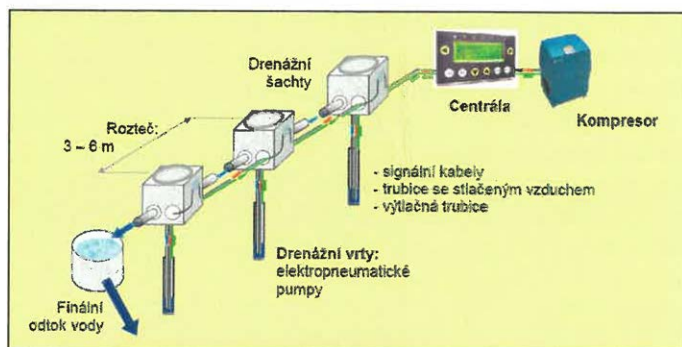
obvykle snížení hladiny podzemní vody maximálně na 3–5 metrů. V případě subhorizontálních vrtů může být nevýhodou jejich značná délka. Inovační metoda sifonových drenů je tehdy vhodnou alternativou k tradičním způsobům odvodnění. V případě odvodňování pomocí čerpání hrají roli pořizovací, provozní a servisní náklady. Ponorná čerpadla nejsou vhodná do prostředí s nízkými propustnostmi. Jiné metody (např. drenážní jehly) nemusí zajistit potřebné snížení hladiny podzemní vody. V těchto ohledech je inovační metoda elektropneumatických drenů dobrým kompromisem.

V průběhu rekultivačních prací v areálu bývalého povrchového hnědouhelného lomu Most-Ležáky byly v části svahů sanované zbytkové jámy dlouhodobě pozorovány různé projevy nestability. Hlavní příčinou nestability řešeného území bylo sycení svahu podzemní vodou, přitékající z výše položeného kolektoru a dále také povrchovou (srážkovou) vodou. Pro účely zachycení podzemní vody (a též částečně i vody srážkové) v horní části řešeného území a pro zamezení dotací vody do níže položených částí svahů bylo zvoleno odvodnění svahu hloubkovou drenáží pomocí inovační gravitační metody – sifonových drenů.

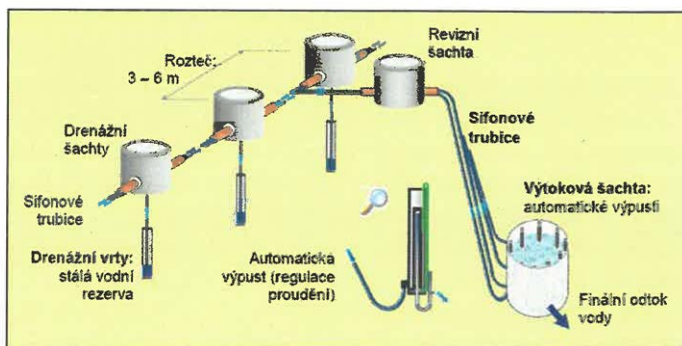
V příspěvku jsou popsány principy obou inovačních metod hloubkové odvodnění pomocí elektropneumatických a sifonových drenů. Jako modelový příklad je dále prezentována aplikace sifonové drenáže na lokalitě Most-Ležáky. Následuje popis modelové lokality a řešené problematiky a představení realizovaného projektu odvodnění. V poslední části článku jsou zhodnocena pozorování a naměřená data a na základě dosavadních výsledků učiněny závěry.

2 Metoda elektropneumatických drenů

Pomocí této metody je umožněno odvodnění do hloubek obvykle až 40 m v prostředí s propustnostmi řádů $1 \cdot 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-7}$ m/s a přítoky 0,0 – 35,0 l/min/vrt (tj. 0,0 – 0,6 l/s/vrt či 0,0 – 50,0 m³/den/vrt). Do svislých vrtů jsou vloženy speciální pumpy obsluhované řídicí jednotkou a kompresorovou technikou, umístěnými v kompresorové stanici (obr. 1). Při výstupu hladiny podzemní vody ve vrtu nad definovanou úroveň je plněna komora čerpací jednotky vodou, zabudovaný senzor vysílá signál do řídicí jednotky, která spíná kompresor a dochází k dodávce stlačeného vzduchu do komory pumpy. Tím je voda z čerpací jednotky (pumpy) vytlačována stoupací drenážní trubicí na povrch a odtud odváděna sběrnou drenážní



Obr. 1: Obecné uspořádání elektropneumatické drenáže



Obr. 2: Obecné uspořádání sifonové drenáže

trubicí na určené místo (do sběrné šachty) a dále mimo lokalitu. Cyklus plnění komory čerpací jednotky infiltrovanou vodou a dodávky stlačeného vzduchu se opakuje až do snížení (poklesu) vody, kdy již nedochází k dalšímu naplňování pumpy.

Hlavní výhody systému spočívají v jeho neustálém automatickém provozu. V činnosti je však pouze při zvýšené hladině podzemní vody, čímž jsou výrazně šetřeny provozní náklady. Čerpací jednotka neobsahuje žádné pohyblivé mechanické součásti, a tím jsou servisní náklady na údržbu pump výrazně sníženy.

3 Metoda sifonových drenů

Gravitační metoda hloubkové drenáže pomocí sifonových drenů je založena na principu sifonu (násosky). Do svislých vrtů (drenů) jsou vloženy násoskové sifonové trubice o průměru 10 – 30 mm. Vrty jsou uspořádány v řadě, s obvyklou roztečí 3 – 6 m a jsou dostatečně hluboké pro zajištění požadovaného snížení hladiny podzemní vody. Umožněno je odvodnění až do hloubek 8 – 10 m pod terénem.

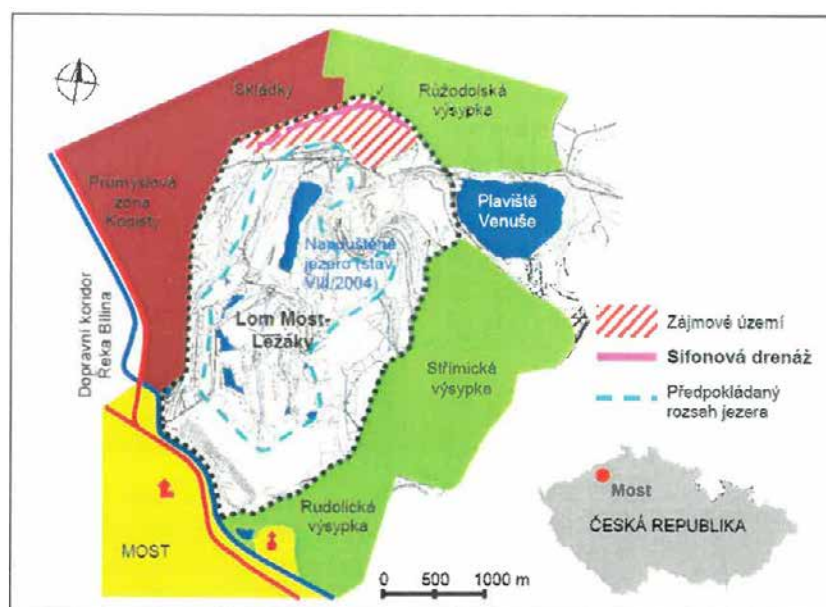
Funkčnost systému je zajištěna jednak pomocí stálé vodní rezervy ve vrtech a dále pomocí speciálních regulačních výtokových kusů, umístěných na dolním výtokovém konci každé sifonové trubice ve společné výtokové šachtě (obr. 2).

Při zvýšení hladiny podzemní vody ve vrtu nad srovnávací rovinu je proudění sifonovou trubicí okamžitě obnoveno a voda je tak odváděna do výtokové šachty a dále mimo zájmové území. Při poklesu (snížení) vody zpět ke srovnávací rovině je proudění zastaveno při zachování vodního sloupce v sifonové trubicí.

Zavzdušnění systému a ztrátě funkčnosti je zamezeno použitím automatických regulačních výtokových kusů, které zastavují proudění při minimálních hodnotách průtoků. Systém je vhodný do prostředí s propustnostmi méně než $1,10^{-5}$ m/s a s přítoky 0,0 – 2,0 až 15,0 l/min/vrt (tj. 0,0 – 0,03 až 0,3 l/s/vrt či 0,0 – 2,9 až 24,0 m³/den/vrt).

Hlavní výhody systému sifonových drenů spočívají v samostatném snižování hladiny podzemní vody bez nároků na elektrickou energii. Drenáž je neustále v provozu, vysoce efektivní, umožňující odvodnění až do hloubky 10 m a snadné revize i pozdější adaptace dle posouzení účinnosti systému odvodnění či vývoje svahových deformací.

Obě představené inovační metody hloubkové drenáže mohou mít buďto dočasnou nebo trvalou funkci. Elektropneumatické pumpy mohou sloužit například pouze v průběhu stavebních prací (a snižování přítoků do základové jámy) nebo například pouze během ražby podzemního díla. Obě metody umožňují snadné zřízení monitoringu, dálkového odečtu dat a systému varovných stavů. Elektropneumatické i sifonové dreny jsou aplikovatelné při řešení širokého okruhu problematiky stability a odvodnění v geotechnice a i v dalších odvětvích. Například pro odvodnění nestabilních území, odvodnění základových nebo těžebních jam, snižování přítoků do podzemních děl, sanace, rekultivace a dekontaminace území aj.



Obr. 3: Situace popisované lokality

4 Popis lokality a zájmového území

Spojený bývalý lom Most-Ležáký se nachází v centrální části mostecké hnědouhelné pánve při severním okraji nového města Mostu (obr. 3). Je ohraničen z jihu koridorem inženýrských sítí a řekou Bílinou, ze západní strany koridorem tratí ČD, z východní strany vnější Střimickou výsypkou. Severní stranu lomu omezuje Růžodolská výsypka, areály společnosti UNI-PETROL RPA a řízených skládek odpadu.

Na lomu Most-Ležáký byla povrchovým způsobem těžena kvalitní a mocná uhelná sloj. Od roku 1995 byl započat útlum dobývání uhlí, v roce 2000 byla těžba ukončena a následně zahájena celková revitalizace území formou vybudování vodní nádrže. Těžební jáma dosahuje rozměrů přibližně 2 x 3 km. Napouštění zbytkové jámy lomu bylo zahájeno v roce 2008. Předpokládané ukončení napouštění je v roce 2011. Plocha jezera by měla dosáhnout 311,0 ha, konečná hladina by měla být udržována na kótě 199,0 m n.m., max. hloubka tak bude činit 75,0 m. Současný stav hladiny (leden 2009) se pohybuje na kótě 158 m n.m. Od roku 2002 do doby zahájení napouš-

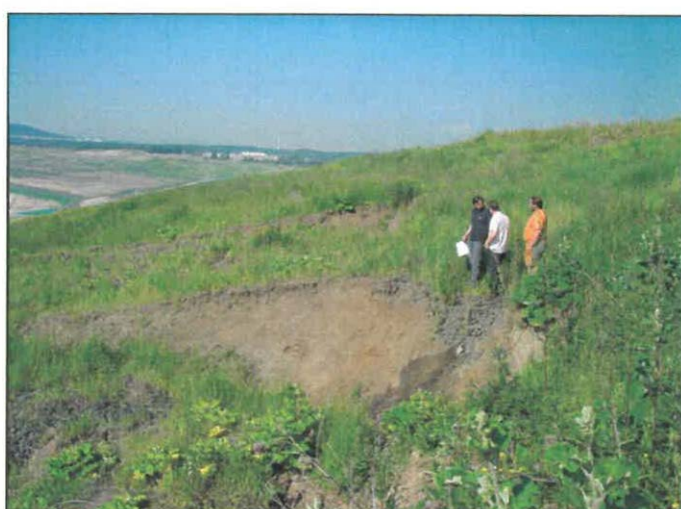
tění se voda v budoucím jezeře akumulovala z atmosférických srážek a z vývěřů ve svazích lomu. Hlavním zdrojem vody od zahájení napouštění je voda přiváděná do jezera z Nechranické přehrady.

Zájmové území o rozsahu přibližně 1500 x 500 metrů se nachází na severních svazích zbytkové jámy lomu. Svahy jsou částečně tvořeny bývalými skrývkovými řezy, v současné době z větší části zarovnanými. Generelní sklon území je zhruba 8° – 10° směrem k jihu. Nadmořské výšky řešeného území se pohybují od 200 m n.m. do 270 m n.m. Nejvyšší partie zájmového území leží mimo vlastní těžební jámu a jsou tvořeny plošinou, jež je od jámy oddělena hranou nejvyššího skrývkového řezu. Přechod mezi plošinou mimo těžební jámu a svahy jámy byl na mnoha místech zarovnán. Jinde je však dosud zřetelný a projevuje se výrazným terénním skokem nebo nápadnou změnou sklonu svahu.

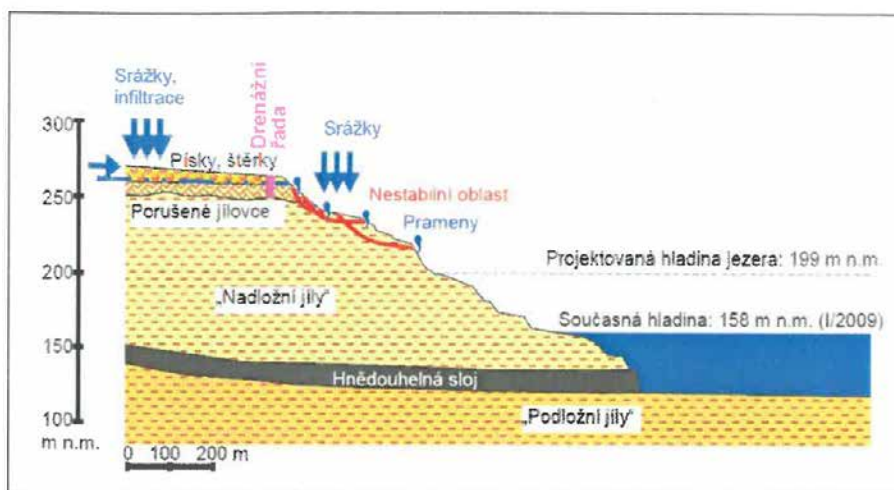
Ve vyšší části svahů, pod hranou nejvyššího bývalého skrývkového řezu, na úseku délky asi 1500 m, byly zaznamenány četné svahové deformace, jako jsou sesuvy, terénní zátrhy



Obr. 4: Celkový pohled na lokalitu



Obr. 5: Příklad sesuvu ve svahu těžební jámy



Obr. 6: Geologický řez zájmovým územím (zjednodušeno)

a další charakteristické projevy nestability (obr. 4, obr. 5). Ve svahu byla vyvinuta řada lokálně zamokřených a vlhkých míst a také drobných vývěrů vody.

5 Inženýrskogeologické poměry

Řešené území bylo ve značném rozsahu poznamenáno rozsáhlou antropogenní činností. V průběhu těžby, i po jejím ukončení a následné rekultivaci území, docházelo k významnému přetváření původní morfologie.

Inženýrskogeologické poměry na plošině v nejvyšší části zájmového území jsou tvořeny reliktem fluvialních uloženin. Jedná se patrně o denudační zbytek pleistocenní terasy řeky Biliny (obr. 6). Podle laboratorních rozborů jsou fluvialní sedimenty reprezentovány především hlinitými šterky a písčitými hlínami. Mocnost pokryvných útvarů je velmi proměnlivá, na některých místech pleistocenní sedimenty zcela chybí. Ověřená mocnost uloženin činí 0,2 m až více než 4 m. Předpokládá se, že mocnost pokryvných útvarů nepřesahuje v žádné části zájmového území maximálně 6 m. Pleistocenní sedimenty se vyskytují pouze na plošině v nejvyšší části zájmového území, kde nebyly, na rozdíl o níže položených částí svahu, odstraněny v důsledku těžby povrchového dobývání uhlí.

Na některých místech plošiny jsou pleistocenní sedimenty porušeny nebo odstraněny činnostmi souvisejícími s lomovou aktivitou, překryty nebo promíseny se zeminami antropogenního původu různého charakteru – navážkami proměnlivé mocnosti.

Terciární podklad je budován miocenními jílovci, jež (v tzv. regulační zóně při povrchu, která může dosahovat až 20 m) jsou postiženy intenzivním mechanickým zvětráváním – rozpukáním. Tyto účinky se na povrchu projevují charakteristickým drobně lupenitým rozpadem jílovců. Po kontaktu s vodou se jílovce stávají silně rozbídnými a extrémně náchylnými ke všem projevům svahových deformací.

V zájmovém území lze vymezit dva základní hydrogeologické kolektory. Mělký kolektor je vázaný především na propustné pleistocenní písčité a šterkovité uloženiny a lokálně též na zónu rozpukání terciálních jílovců. Jeho mocnost se pohybuje řádově v metrech. Hlubší kolektory jsou vázané na propustnější (písčité) vrstvy v rámci neporušeného jílovcového pánevního komplexu.

Z hlediska řešeného problému byla pozornost věnována mělkému (pleistocennímu) kolektoru. Propustnost vrstev v něm lze charakterizovat koeficienty filtrace $1,10^{-4} - 1,10^{-5}$ m/s.



Obr. 7: Instruktivní odřez ve svahu



Obr. 8: Detail geologického rozhraní

Inženýrskogeologickým průzkumem dokumentovaná ustálená hladina podzemní vody se pohybovala v hloubkách 0,3 – 3,8 m pod terénem.

6 Charakter řešeného problému

Před započítím prací na hloubkové drenáži a v průběhu provádění prací bylo předpokládáno, že dobře propustné pleistocenní uloženiny slouží jako kolektor podzemní a srážkové vody, která v úrovni nejvyššího skryvkového řezu (na rozhraní fluvialních pleistocenních sedimentů a řádově méně propustných terciérních jílovců) volně vytéká na povrch a dochází tak k následnému sycení nižších částí svahu, tvořených odhalenými terciérními pánevními sedimenty (obr. 7, obr. 8).

Ve svazích pod hranou nejvyššího skryvkového řezu s obnaženou bází propustného pleistocenního kolektoru byla umožněna akumulace volně vytékající vody, tvorba drobných vodních zdrží a pramenních vývěrů. Přítomnost vody ve svahu vedla k doprovodnému lokálnímu porušování stability a následnému pronikání podzemní a povrchové vody podél vzniklých smykových ploch, trhlin a zátrhů v odlučných oblastech níže do svahu. Bylo tak umožněno postupné porušování stability ve stále nižších částech svahů a zvětšování rozsahu postiženého území.

Za hlavní příčinu projevů nestability bylo označeno sycení svahu podzemní vodou, přitékající z pleistocenního kolektoru, a dále také povrchovou (srážkovou) vodou.

Pro účely zachycení podzemní vody (a též částečně i vody srážkové) v horní části řešeného území a pro zamezení nekontrolovaného dotování vody do níže položených částí svahů byl vypracován projekt odvodnění svahu hloubkovou drenáží pomocí gravitační metody sifonových drenů.

7 Projekt sifonové drenáže

Systém odvodnění je uspořádán do tří nespojitých zalomených úseků drenážních řad, které přibližně sledují linii horní úrovně bývalého nejvyššího skryvkového řezu (obr. 9). Poloha drenážních řad byla zvolena v ploché, nejvyšší části zájmového území, nad hranicí skryvkovými řezy obnaženého styku pleistocenních uloženin a terciérních jílovců – s ohledem na požadavek zachycení co největšího množství podzemní (a povrchové – srážkové) vody, přitékající pleistocenním kolektorem do bývalé těžební jámy. Drenážní řady se nacházejí rovněž nad oblastí

veškerých dokumentovaných projevů nestability, tj. ve stabilním území. Nadmořské výšky terénu v místě drenážních řad se pohybují v rozpětí přibližně 238 – 265 m n.m. Celková délka drenážních řad činí 1491 m.

Řady jsou tvořeny celkovým počtem 255 sifonových drenů – vrtů o jednotné hloubce 11,5 m, s roztečí 6 m. Drenážní řady jsou ve 12 uzlových bodech napojeny na řady výtokové. V linii výtokových řad je umístěno 23 výtokových šachet. Z výtokových šachet je voda odvedena k místům finálních výtoků zachycené podzemní a povrchové vody.

Drenážní řady jsou budovány jako drenážní příkopy hloubky 1,0 – 1,5 m, šířky 0,8 – 1,0 m, se sklonem minimálně 2,5 % (2,0 %) pro zaručení spádu v sifonových trubcích a samovolného odtoku zachycené povrchové vody. V drenážních příkopech je uložen trubkový kolektor sifonových trubců průměru 200 mm (mezi jednotlivými dreny) a průběžný perforovaný trubkový kolektor průměru 100 mm pro zachycení mělkých horizontů podzemní vody a infiltrované vody povrchové. Drenážní příkopy jsou částečně, asi ze 70 % hloubky, vyplněny šterkovým materiálem pro infiltraci vody, částečně

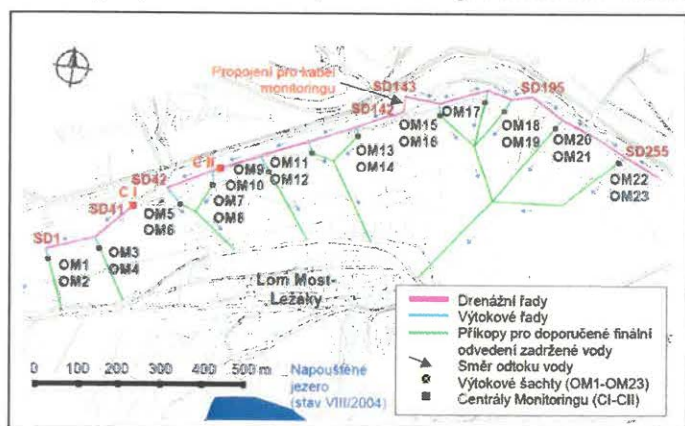


Obr. 10: Konstrukce drenážních řad

je proveden zpětný zásyp vytěženou zeminou. V místech drenů byly provedeny drenážní šachty pro ochranu drenů proti mrazu a mechanickému poškození. Šachty jsou konstruovány z prefabrikovaných betonových dílců – skruží (obr. 10).



Obr. 11: Konstrukce výtokových šachet



Obr. 9: Schema projektu sifonové drenáže

V místech drénů byly po ukončení zemních a terénních prací z horní úrovně drenážních šachet provedeny vrtné práce. Vrtý jsou vystrojeny trvalým pažením – perforovanou PVC trubkou průměru 103/113 mm se strojně provedenými zářezy (drážkami) šířky 1 mm po celé výšce pažení. Prostor mezikruží mezi zeminou a pažnicí byl vyplněn drobným štěrkovým filtračním materiálem. Zhlaví vrtu (prostor mezikruží mezi zeminou a pažnicí) bylo na mocnost 0,5 m zatěsněno. Vrtý byly vyčištěny aplikací air-liftu.

Realizováno bylo 12 výtokových řad (obr. 11). Výtokové řady směřují od uzlových bodů drenážních řad po svahu (kolmo na vrstevnice) směrem k zatápěné části rekultivovaného lomu. Výtokové řady jsou řešeny identicky jako řady drenážní. V linii výtokových řad jsou situovány výtokové šachty (celkem 23 šachet). Na každou výtokovou šachtu je napojeno 6 – 15 drénů. Ve výtokových šachtách jsou umístěny automatické výpusti (regulace proudění) na každém konci každé z přivedených sifonových trub.

Funkčnost drenážního systému je zajištěna základními návrhovými prvky a jejich uspořádáním. Stálá vodní rezerva je řešena pomocí neperforované dolní části vnitřního pažení vrtů. Vnitřní pažení je provedeno jako PCV trubka průměru



Obr. 12: Instalace technologie sifonové drenáže



Obr. 13: Pohled do výtokové šachty



Obr. 14: Hloubení příkopů finálního odvedení zadržené vody

51 mm se zátkou ve dně nejnižšího kusu pažnice (obr. 12). Do stálé vodní rezervy ve dnech drénů jsou zasunuty sifonové trubice svými násoskovými konci. Sifonové trubice vyúsťují nad zhlavími vrtů v drenážních šachtách a dále průběžně probíhají v trubkovém kolektoru mezi jednotlivými drény (šachtami). Trubice jsou dále svedeny do výtokových řad (příkopů) a poté vyvedeny ve výtokových šachtách a připojeny na speciální automatické výpusti (regulace proudění). Sifonové trubice jsou plastové, vnitřního průměru 10 mm. Všechny drény (sifonové trubice) byly natlačovány vodou a uvedeny tak do provozu (obr. 13).

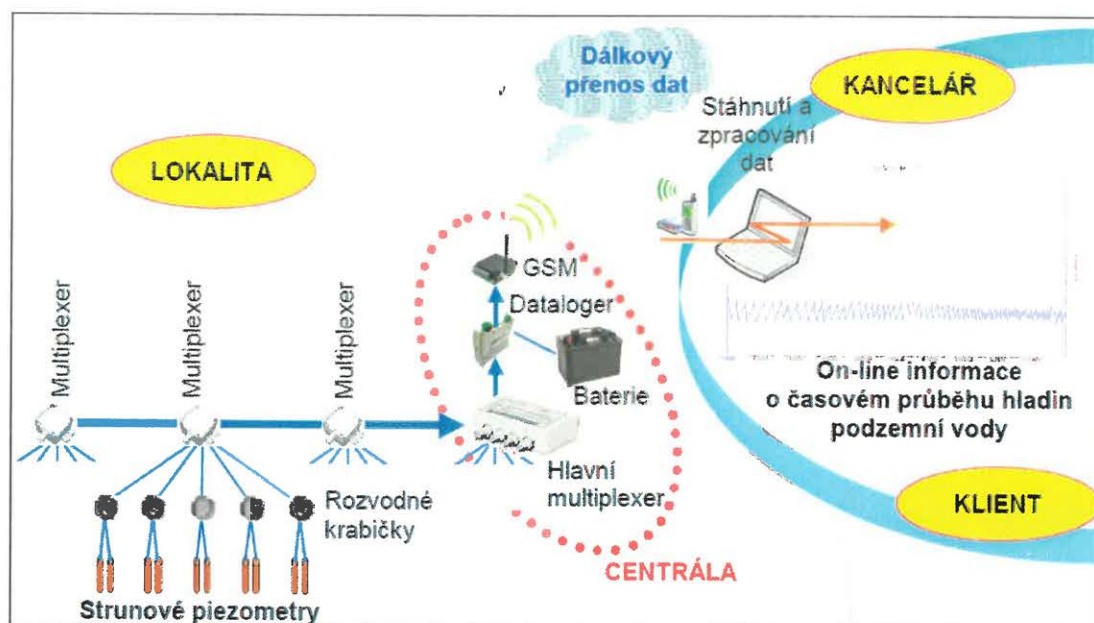
Za výstupem z výtokových šachet je v drenážním příkopu veden jednotný trubkový kolektor průměru 200 mm pro odvádění veškeré zachycené podzemní i povrchové vody (obr. 14).

Sifonová drenáž umožňuje kdykoliv přímou kontrolu funkčnosti jednotlivých drénů a v případě potřeby též učinění patřičných kroků ke vhodným úpravám. K zajištění dlouhodobé životnosti drenáže a její správné funkce slouží pravidelné kontrolní návštěvy lokality.

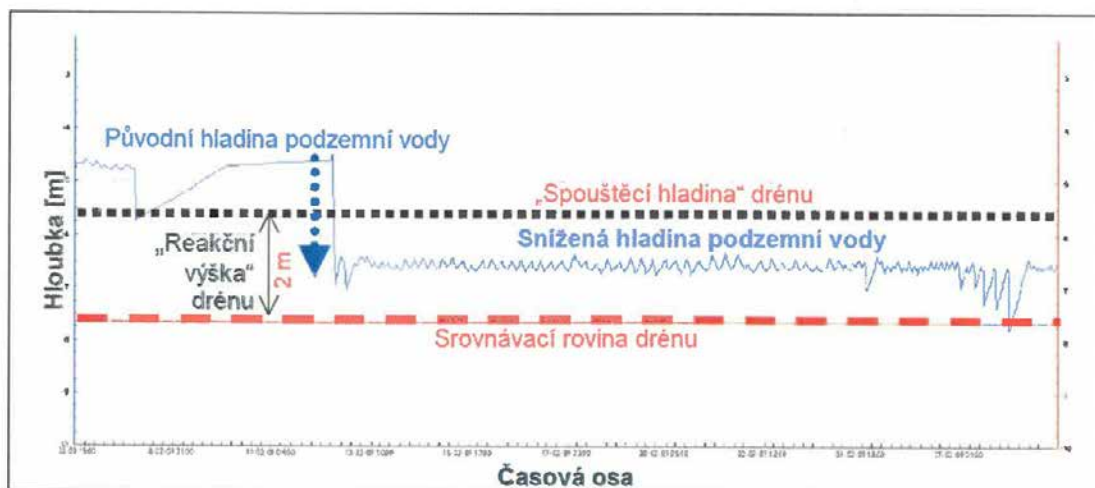
Četnost revizí je dána především kvalitou podzemní vody. Časová náročnost údržby celého drenážního systému (255 drénů) činí 5 dnů v počtu 2 – 3 pracovníků, standardně 3 x za rok. V průběhu inspekčních návštěv jsou prováděny následující úkony: přímá měření hladin podzemní vody, kontrola průtoků odváděné vody, čištění a údržba sifonových trub a automatických výpustí, dle potřeby výměna sifonových trub (změna průměru s ohledem na naměřené průtoky). Závěrem každé inspekční návštěvy je vytvořený protokol a záznamy z měření a pozorování doplňované do dokumentačních listů drénů.

8 Projekt monitoringu

V místech vybraných drénů bylo po celé délce všech úseků drenážních řad rovnoměrně, tj. reprezentativně, instalováno 50 piezometrických sond pro sledování hladin podzemní vody. Sondy jsou na kabelu volně zapuštěny do vrtů. Použity byly strunové piezometry.



Obr. 15: Schema systému monitoringu



Obr. 16: Grafický výstup monitoringu hladin podzemní vody

Monitorovací systém byl rozdělen do 5 úseků po 10 sondách (obr. 15). Signál ze sond z každého úseku byl zpracován použitím celkem 5 multiplexerů. Multiplexery jsou umístěny v drenážních šachtách. Jednotlivé multiplexery jsou propojeny hlavním signálním kabelem vedoucím do šachet vybavených příslušenstvím pro kontinuální odečet dat a dálkový přenos.

Vzhledem k nespojitosti drenážních řad nebylo umožněno propojení všech úseků jedním hlavním signálním kabelem. Data jsou proto zaznamenávána 2 centrálymi opatřenými datalogery, modemem a napájecí baterií a jsou přenášena prostřednictvím GSM. Obě centrály jsou umístěny v drenážních šachtách. První z centrální obsluhuje 40 sond, druhá zbývajících 10 piezometrů.

Výstupem monitoringu jsou časové průběhy hladin podzemní vody na vybraných drénech (obr. 16). Naměřená a zpracovaná data jsou ve formě grafů pod heslem zpřístupněna odpovědným a zainteresovaným osobám na internetových stránkách monitoringu společnosti TP.GEO.

9 Výsledky pozorování a monitoringu a jejich interpretace

V průběhu provádění zemních prací, zvláště při hloubení hlubších zářezů a rýh výtokových řad drenážního systému, byly ověřeny předpokládané inženýrskogeologické poměry. Byla zaznamenána přítomnost podzemní vody s hladinou při bázi pleistocenního kolektoru i její lokální výrony, vázané na pukliny v podložních terciérních jílovcích.

Ustálené hladiny podzemní vody po provedení vrtných prací se téměř v celém rozsahu všech úseků drenážních řad, tj. v délce téměř 1500 metrů, pohybovaly nejčastěji na terénu nebo velmi mělce pod terénem, tj. v hloubkách 0,0 – 4,0 m, což jsou hodnoty totožné s hladinami ustálené podzemní vody zjištěné inženýrskogeologickým průzkumem.

Při provádění vrtných prací a při čištění vrtů pomocí airliftu byly zaznamenávány hladiny podzemní vody ve vrtech. Z těchto údajů byly odvozeny orientační hodnoty přítoků podzemní vody do drénů, jež se pohybovaly v rozmezí maximálně obvykle 0,5 – 4,0 l/min. Bylo vypořazováno několik míst

s lokálně zvýšenými přítoky podzemní vody do vrtů (drénů). Tato místa korespondují s oblastmi níže ve svahu s největším výskytem dříve zaznamenaných svahových pohybů.

Po uvedení systému do provozu byly zaznamenány maximální průtoky sifonovými trubicemi (drény) 0,6 – 4,2 l/min/drén. Některé z drénů protékaly nepřetržitě po celý den, od natlakování vodou a uvedení do provozu až po ukončení instalace sifonové drenáže na lokalitě. Průtoky drény odpovídají orientačním hodnotám přítoků podzemní vody do vrtů získaným při měření během aplikace air-liftu po ukončení vrtných prací. Drény s největšími (nebo nepřetržitými) průtoky se nacházejí v úsecích svahů s největším výskytem dříve zaznamenaných stabilitních problémů.

V současné době jsou monitorovány hladiny podzemní vody v místech 50 vrtů. Hladina podzemní vody byla snížena na projektovanou úroveň a je systémem automaticky udržována v hloubkách 7 – 10 m pod současným terénem.

Již v průběhu prvních několika týdnů režimního sledování hladin podzemní vody se na základě změny v četnosti cyklů regulačních výpustí na většině z pozorovacích míst podařilo vysledovat anomálie v přítocích podzemní vody do vrtů, tj. v průtocích drény a sifonovými trubicemi. Podle údajů srážkoměrné stanice KS Horní Jiřetín korespondují zvýšené průtoky přesně se změnou úhrnu srážek ve stejném časovém období.

10 Závěr

V příspěvku byly představeny inovační metody hloubkové drenáže pomocí elektropneumatických a sifonových drénů. Obě metody mají široké uplatnění v problematice řešení odvodňování a stabilizování horninového masivu či odvodňování inženýrských děl.

Na představené lokalitě Most-Ležáky byl využit systém sifonových drénů pro odvodnění a stabilizaci nestabilních svahů v části zatápěné zbytkové jámy rekultivovaného hnědouhelného lomu.

Projekt čítá 255 drénů do hloubky 11,5 m s roztečí 6 m. Celková délka všech drenážních řad probíhajících podél horní hrany zbytkové jámy činí téměř 1500 m. Drenážní systém obsahuje 23 výtokových šachet. Na lokalitě byl spuštěn monitorovací systém hladin podzemní vody. Bylo instalováno 50 piezometrických sond s kontinuálním odečtem a dálkovým přenosem dat.

Pozorování uskutečněná v době provádění zemních a vrtných prací a instalace drenážního systému potvrdila očekávání předpokládaná na základě vstupních údajů pro návrh odvodnění (inženýrskogeologického průzkumu). Byla potvrzena přítomnost podzemní vody v pleistocenním kolektoru, obecně vysoké hladiny podzemní vody v zájmovém území, vysoké hodnoty přítoků do vrtů nad místy nejvíce postiženými svahovými pohyby a přímá dotace podzemní vody z pleistocenního kolektoru do nižších částí svahů.

Dle dosavadních výstupů monitoringu se hladiny podzemní vody podařilo snížit na požadovanou úroveň (7 – 10 metrů pod současným terénem). Zaznamenané maximální hodnoty průtoků jednotlivými drény činí 0,6 – 4,2 l/min/drén a odpovídají tak orientačním hodnotám získaným v průběhu provádění vrtných prací.

Na lokalitě jsou prováděny pravidelné revizní návštěvy za účelem údržby drenážního systému a přímého měření hladin podzemní vody a průtoků drény. Dle výsledků dosažených periodickými inspekcemi bude navržen program budoucích revizí, jež zajistí dlouhodobou funkci hloubkového odvodnění sifonovými drény.

Sledování hladin podzemní vody a průtoků v průběhu delšího časového horizontu umožní vytvoření komplexnějších interpretací týkajících se režimu podzemní vody, sezónních výkyvů v dotacích infiltrované vody a efektivnosti drenáže vzhledem ke stabilitě sanovaných svahů.

Literatura

- [1] BOMONT, S., MRVÍK, O. (2008). Back Experience from Two Cases of Stabilization of Coastal Landslides by Innovative Deep Drainage Systems. 11th Baltic Sea Geotechnical Conference.
- [2] BOMONT, S., et al. (2005). Two Applications for Deep Drainage Using Siphon and Electropneumatic Drains. The International Conference on Landslide Risk Management. 18th Annual Vancouver Geotechnical Society Symposium.
- [3] DVOŘÁK, P., ŠVEC, J. (2008). Napouštění zbytkové jámy lomu Most-Ležáky. Palivový kombinát Ústí, s.p.
- [4] MAREK, J., MRVÍK, O., HÁJOVSKÝ, J. (2005). Závěrečná zpráva z řešení projektu Sanace a revitalizace území v oblastech s relikty dobývání a ostatní energetické činnosti, Etapa č. IX. SG – Geotechnika, Praha.

Poděkování

Autoři článku by tímto rádi poděkovali všem subjektům zainteresovaným na návrhu a realizaci drenážního systému na předmetné lokalitě. Jmenovitě projektantovi sanačních a drenážních prací, společnosti AZ CONSULT, spol. s r.o., objednateli drenážního systému a spoluzhotoviteli zemních a vrtných prací, společnosti AZ SANACE, a.s., generálnímu dodavateli stavby, společnosti ŠILHÁNEK A SYN, a.s., a investoru, PALIVOVÉMU KOMBINÁTU ÚSTÍ, s.p. Na instalaci systému sifonové drenáže se vedle techniků společnosti TP.GEO podíleli zástupci partnerských organizací PROEXROM (Rumunsko) a STUMP FORATEC AG (Švýcarsko).