

## Výsledky měření pórových tlaků v tělese Radovesické výsypky a indikace možných varovných stavů

Ing. Lukáš Žižka<sup>1</sup>, Ing. Josef Halíř, Ph.D.<sup>1</sup>, Vratislav Ondráček<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most, zizka@vuhu.cz, halir@vuhu.cz

<sup>2</sup>Severočeské doly a.s., Chomutov, ondracek@sdas.cz

Přijato: 4. 10. 2010, recenzováno: 22. 1. a 3. 2. 2011

### Abstrakt

Předkládaný článek poskytuje základní informace o nově realizovaných monitorovacích objektech a výsledcích monitoringu pórových tlaků v zájmovém prostoru na Radovesické výsypce. V prostoru Radovesické výsypky, v místě bývalého sesuvného území z roku 1994, byla vybudována rozsáhlá monitorovací síť. Zpočátku bylo realizováno čtrnáct hydrogeologických vrtů, vystrojených do různých zvodnělých horizontů výsypkového tělesa a jejího bezprostředního podloží. Na těchto vrtech se dlouhodobě sleduje úroveň hladiny podzemní vody. V současné době probíhá měření hladiny podzemní vody pouze u osmi vrtů. V roce 2009 a 2010 byla stávající monitorovací síť doplněna o další tři vrty, které jsou osazeny měřidly pórových tlaků (PT). Měřidla byla situována do zvodnělých horizontů tělesa výsypky a do jejího podloží. Výsledky měření pórových tlaků spolu s výsledky sledování úrovně hladin podzemní vody napomáhají k indikaci možných varovných stavů.

### Results of pore pressure measurements in the body of Radovesice dump and possible alert indication

The paper provides basic data on recently established monitoring sites and results of pore pressure measurements in the body of Radovesice dump. In the area of Radovesice dump, an extensive monitoring network was established at the site which was affected by landslides in 1994. At first, 14 hydrogeological boreholes were established. Casing of the boreholes was placed up to different aquifers of the dump and its underlying bed. The level of groundwater is monitored in these boreholes on a long-term scale. At present, groundwater level is measured only in 8 boreholes. During the years 2009 and 2010, the monitoring network was extended by 3 new boreholes, where pore pressure sensors were installed. The sensors were placed in the aquifers of the dump and its bed. The results of pore pressure measurements and groundwater level monitoring help to indicate the states of potential alerts.

### Ergebnisse der Messungen von Porenwasserdrücken im Körper der Kippe von Radovesice und Indikation potentieller Warnzustände

Der präsentierte Artikel bietet grundlegende Informationen über neu realisierte Überwachungsobjekte und über Ergebnisse des Monitorings von Porenwasserdrücken im Interessengebiet der Kippe von Radovesice (Radovesitzer Kippe). Im Raum der Kippe von Radovesice, an der Stelle des ehemaligen Rutschungsgebietes vom Jahr 1994, wurde ein ausgedehntes Monitoringsnetz ausgebaut. Zuerst wurden vierzehn hydrogeologischen Bohrungen realisiert, die in verschiedene wasserführende Horizonte des Kippenkörpers und in das unmittelbare Liegende der Kippe ausgerüstet wurden. Auf diesen Bohrungen wird das Niveau des Grundwasserspiegels langfristig verfolgt. Zurzeit wird die Messung des Grundwasserspiegels nur bei acht Bohrungen vorgenommen. In Jahren 2009 und 2010 wurde das bestehende Überwachungsnetz um weitere drei Bohrungen ergänzt, die mit den Messzeugen der Porenwasserdrücke (PT) ausgestattet sind. Die Messzeugen wurden in wasserführende Horizonte des Kippenkörpers und dessen Liegende angebracht. Die Messergebnisse der Porenwasserdrücke gemeinsam mit den Ergebnissen der Verfolgung des Grundwasserspiegels helfen zu der Indikation potentieller Warnzustände.

**Klíčová slova:** monitorovací vrt, podzemní voda, pórový tlak, varovný stav, výsypka.

**Keywords:** monitoring borehole, groundwater, pore pressure, alert state, dump.

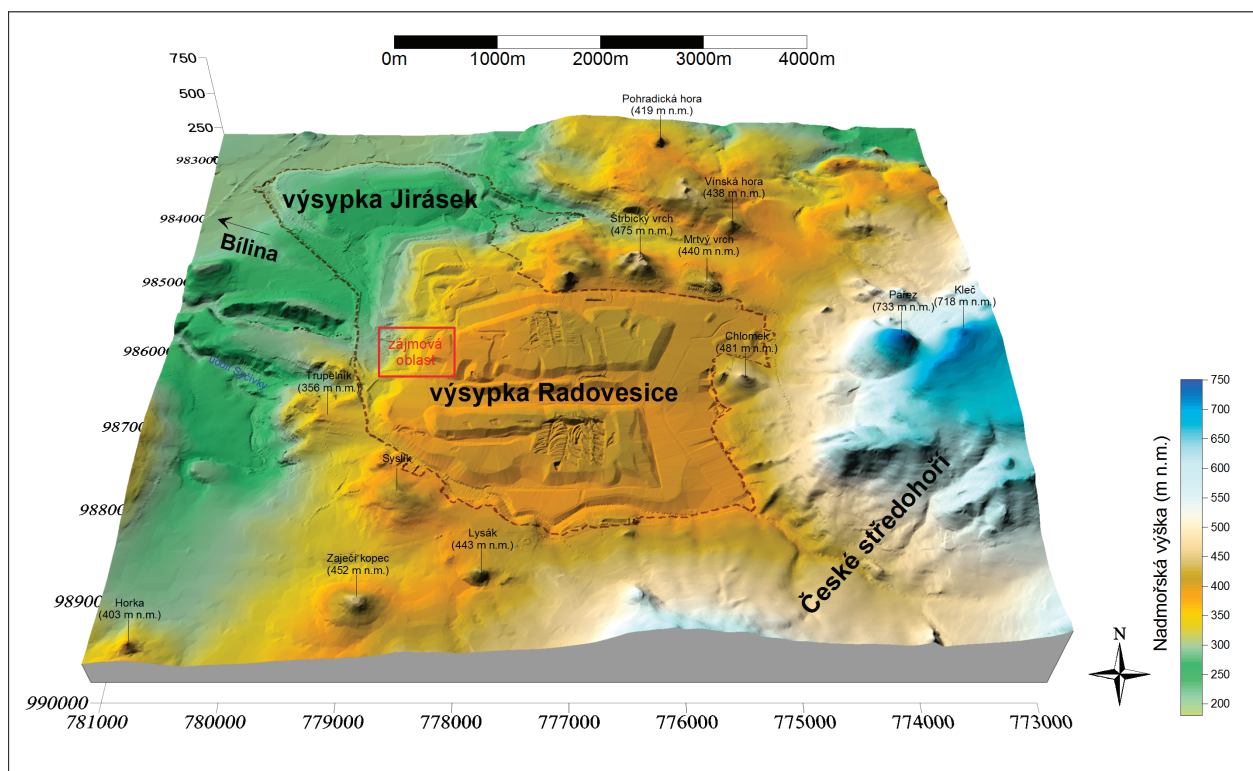
## 1 Základní údaje o Radovesické výsypce

Původní území, nyní přesypané Radovesickou výsypkou, bylo protáhlé údolí mísovitého tvaru, otevřené směrem k severozápadu. Svažující se původní terén klesal od masivu Českého středohoří z kót cca 390 m n. m. směrem k městu Bílina na kótu cca 240 m n. m. Rozsah výsypky je předurčen výrazným morfoloickým ohraničením téměř celého údolí věncem vulkanických vrchů. Tento řetěz vulkanických těles tvoří přírodnou hradbu a oporu sypaných výsypkových zemin. Pouze ve směru k severozápadu je údolí otevřené. V tomto směru sousedí Radovesická výsypka s výsypkou Jirásek. Výsypky Radovesice a Jirásek tvoří v zájmovém území významné geomorfologické útvary. [3,5] Morfologie těles výsypek a přilehlého okolí je znázorněna na obrázku č. 1.

Území vnější výsypky Radovesice a jejího bezprostředního okolí se vyznačuje poměrně pestrá geologickou stavbou. Nejstarší stratigrafickou jednotku představují výchozy rulového krystalinika v údolí bývalého Lukovského potoka. Sedymenty svrchní křídly, které vystupují na povrch v převážné části zájmového území, jsou zastoupeny zejména slínou, slínovci a jílovitými vápenci. Nejvýznamnějším stratigrafickým celkem, ovlivňujícím interakci výsypky s podložím, je kvartérní pokryv. Údolí Lukovského potoka a částečně i jeho přítoků jsou vyplněna aluviálními náplavy. [3,6]

## 2 Hydrologická situace

Odvodňování prostoru Radovesické výsypky je v současnosti zajišťováno několika hlavními recipienty. Jsou to Štrbický potok, Lukovský potok, potok Syčivka, příkop P1 – Jirásek a štolá pod



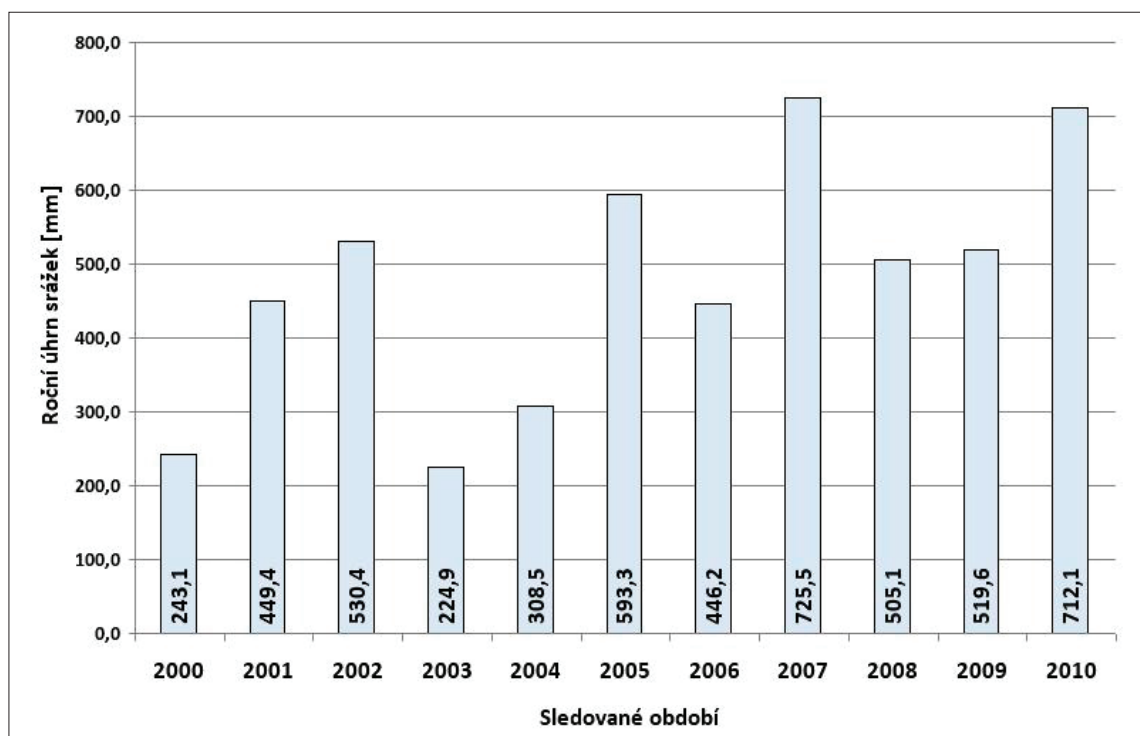
Obr. 1: Model reliéfu Radovesické výsypky a okolí s vyznačenou zájmovou oblastí.

Radovesickou výsypkou, navazující přes nádrž Bezovka na spodní úsek původního toku Lukovského potoka. [5]

Přehled měsíčních a ročních úhrnů srážek z měřicí stanice na Radovesické výsypce za období od ledna 2000 do listopadu 2010 je znázorněn v grafu č. 1.

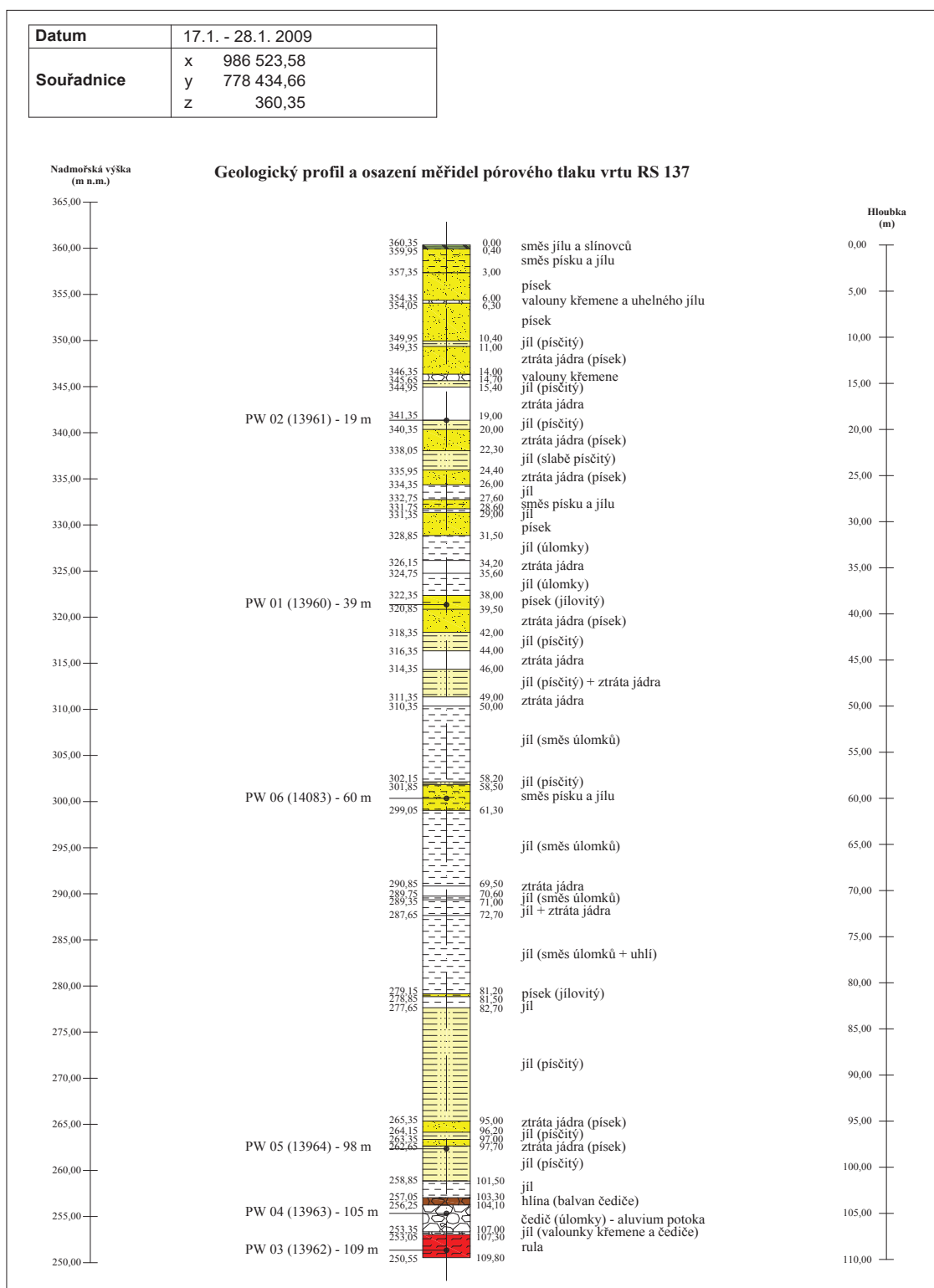
### 3 Měření pórových tlaků

Vztlak a pórové tlaky vody se měří s pomocí otevřených nebo uzavřených piezometrů. Pro uzavřené piezometry se též používá termín měřidla pórového tlaku. Pro monitorování pórových tlaků se používají piezometry s kmitající strunou. V měřeném horizontu je snímač obsypán štěrkem a od okolních



Graf 1: Přehled ročních úhrnů srážek [mm] z měřicí stanice na Radovesické výsypce.





Obr. 3: Geologický profil a osazení vrtu RS 137 měřidly pórového tlaku.

vrstev utěsněn cementovým mostkem a bentonitovým těsněním. Voda vytlačující se z porů zeminy vlivem geostatického tlaku působí na sensitivní membránovou destičku, která je spojena s vibrující strunou, jež frekvenčním vlněním odesílá data ve čtecí jednotce převáděná na digity. Měření veličiny jsou závislé na teplotě, proto je v sondě umístěn i termistor. Výhodou těchto piezometrů je poskytování velmi přesných a dlouhodobě stálých výsledků měření, a také skutečnost, že čtení výsledného měření je možné uskutečnit v reálném čase. Nevýhodou je vysoká technická náročnost a cena. [2,4]

#### 4 Realizace monitorovacích objektů osazených měřidly pórových tlaků

V rámci geologického úkolu „Revitalizace systému monitoringu vodních hladin v tělese Radovesické výsypky“, projektovaného Severočeskými doly a.s., byl počátkem roku 2009 realizován monitorovací vrt RS 137, v závěru roku 2009 pak monitorovací vrt s označením RS 138. V srpnu 2010 byl realizován a uveden do provozu zatím poslední monitorovací vrt s označením RS 139. Vrt RS 137 a RS 138 prošly plnou moc-

ností výsypky a zastihly i její bezprostřední podloží. Podloží je v případě vrtu RS 137 tvořeno propustnými kvartérními aluviálními sedimenty Lukovského potoka a zvětralými horninami krystalinika. Celková hloubka vrtu RS 137 je 109,80 m, mocnost výsypky je 103,30 m, mocnost kvartérních sedimentů cca 4,00 m a zastižená mocnost krystalinických hornin činí 2,50 m. Celková hloubka vrtu RS 138 je 80,20 m, přičemž mocnost výsypky je 72,15 m a zastižená mocnost podloží činí 8,05 m. Podloží je u tohoto vrtu tvořeno polohou křídových slínů a slínovců. Vrt RS 139 je hluboký 92,00 m a je v celém profilu tvořen výsypkovými zeminami. Vrtové práce byly provedeny společností Vrtný a geologický průzkum s.r.o., pobočka Osek. Instalaci měřidel pórového tlaku a zařízení měřicí stanice bylo provedeno ve spolupráci se společností ARCADIS Geotechnika a.s.

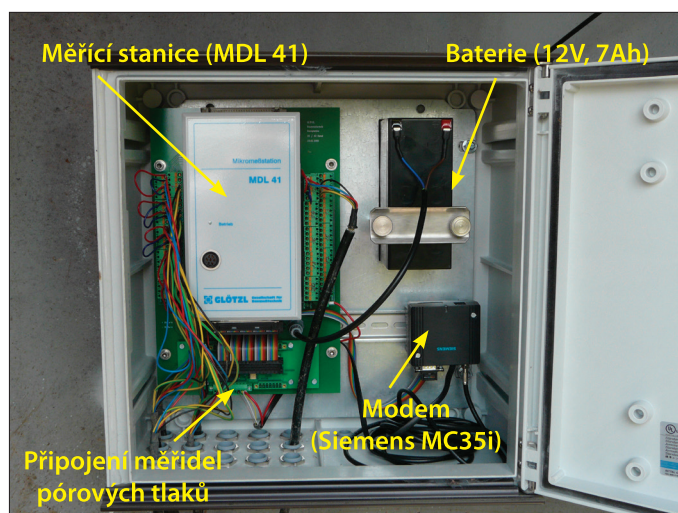
Na základě geologické dokumentace byly realizované vrtu v požadovaných hloubkách vystrojeny perforovanými pažnicemi a v těchto hloubkách byly osazeny snímače pórového tlaku. Jedná se o strunové elektrické snímače pórových tlaků s teplotním čidlem GLÖTZL, typ EPVW 3 K10 F. Snímače byly do předem daných hloubek usazeny do pískového lože a jednotlivé sledované horizonty byly shora i zdola izolovány cementovým můstkem a bentonitovým těsněním. Zbytek vrtu byl pak vyplněn šterkem. Po instalaci snímačů do vrtů bylo zhlaví zakryto ocelovým uzamykatelným objektem a kabely od snímačů byly zapojeny do měřicí ústředny (GLÖTZL typ MDL 41/20), která se nachází uvnitř objektu. Ústředna zajišťuje automaticky odečty měřených hodnot, jejich ukládání a následný přenos pomocí GSM modemu k dalšímu zpracování. Odběr měřených hodnot lze provádět přímo na místě (po připojení notebooku) nebo dálkově přes vestavěný GSM modem. Ústředna je napájena výměnným akumulátorem. [1] K vyhodnocení získaných dat je využíván software GLA V7.9.8 společnosti GLÖTZL. Na obrázku č. 3 je znázorněn geologický profil vrtu RS 137 s umístěním měřidel pórových tlaků, obrázky č. 4 a 5 zobrazují ochranný objekt a zařízení měřicí stanice.

Pro sledování vývoje pórových tlaků byly u jednotlivých vrtů vytipovány následující hloubkové úrovně:

- vrt RS 137 (19,0 m; 39,0 m; 60,0 m; 98,0 m; 105,0 m a 109 m),



Obr. 4: Uzamykatelný ocelový objekt vrtu RS 137.



Obr. 5: Zařízení měřicí stanice vrtu RS 137.

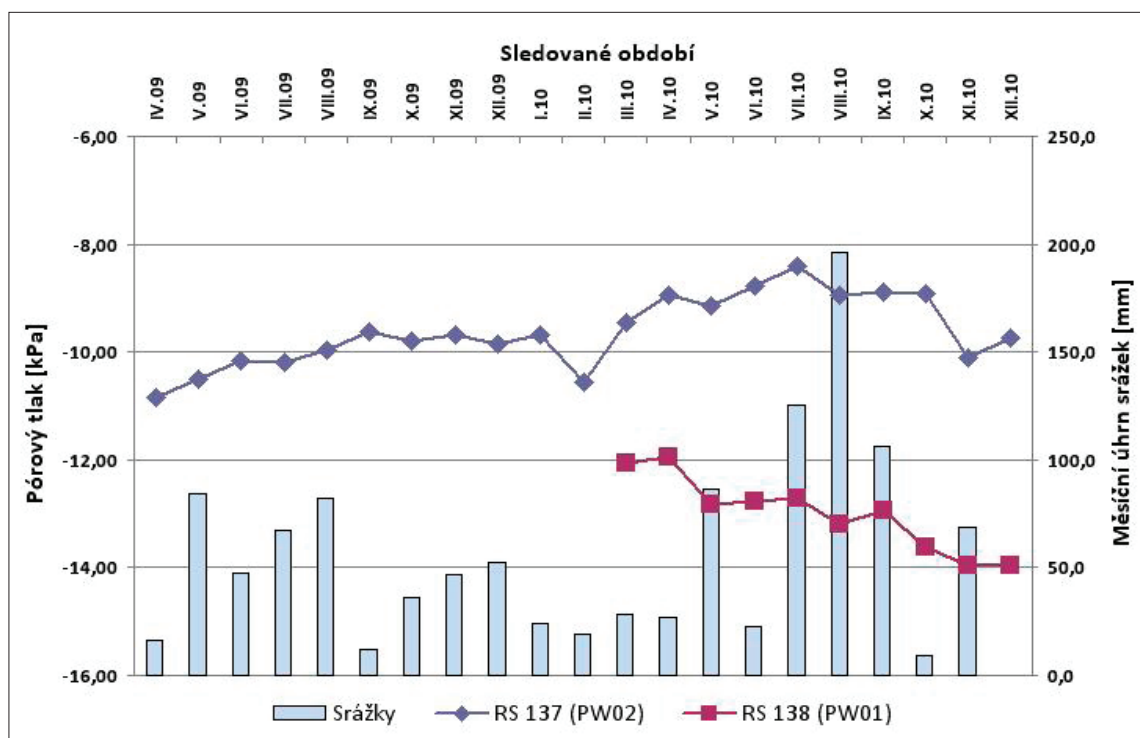
- vrt RS 138 (21,5 m; 39,5 m; 46,5 m; 55,0 m a 62,5 m),
- vrt RS 139 (16,0 m; 35,0 m; 57,0 m; 75,0 m; 87,0 m).

Vrt RS 137 je osazen šesti měřidly pórového tlaku (PW01 – PW06), přičemž čtyři měřidla se nacházejí v propustných horizontech tělesa výsypky (v hloubkách 19 – 98 m), jedno měřidlo je umístěno do kvartérních aluviálních sedimentů Lukovského potoka (v hloubce 105 m) a další měřidlo je situováno do propustného povrchu krystalinika (v hloubce 109 m). Vrt RS 138 je osazen pěti měřidly pórového tlaku, která jsou situována pouze do propustných horizontů tělesa výsypky. Vrt RS 139 je osazen pěti měřidly pórového tlaku, která jsou situována opět pouze do propustných horizontů tělesa výsypky. Měření pórových tlaků u všech vrtů probíhá v šestihodinových intervalech (0:00; 6:00; 12:00; 18:00).

## 5 Vyhodnocení výsledků měření pórových tlaků

Vlastní konsolidace tělesa Radovesické výsypky probíhá již řadu let. Z hlediska interpretace vývoje pórových tlaků pravděpodobně můžeme přijmout hypotézu, že hodnoty pórových tlaků jsou závislé především na režimu proudění podzemní vody v jednotlivých zvodnělých vrstvách a stupni jejich nasycení vodou. Hodnoty pórových tlaků v tělese výsypky v oblasti vrtů RS 137 a RS 138 jsou odlišné od oblasti, ve které se nachází vrt RS 139. Na základě geologické skladby výsypky v oblasti bývalého sesuvu lze těleso výsypky rozdělit do tří částí. Svrchní část výsypky do hloubky cca 20 m je tvořena převážně propustnými zeminami. Naměřené hodnoty pórových tlaků u vrtů RS 137 a RS 138 dosahují záporných hodnot, jedná se tedy o podtlak (sání). Naproti tomu svrchní propustný horizont u vrtu RS 139 lze považovat za nasycený. Vývoj pórových tlaků ve svrchním horizontu u vrtů RS 137 a RS 138 je znázorněn v grafu č. 2.

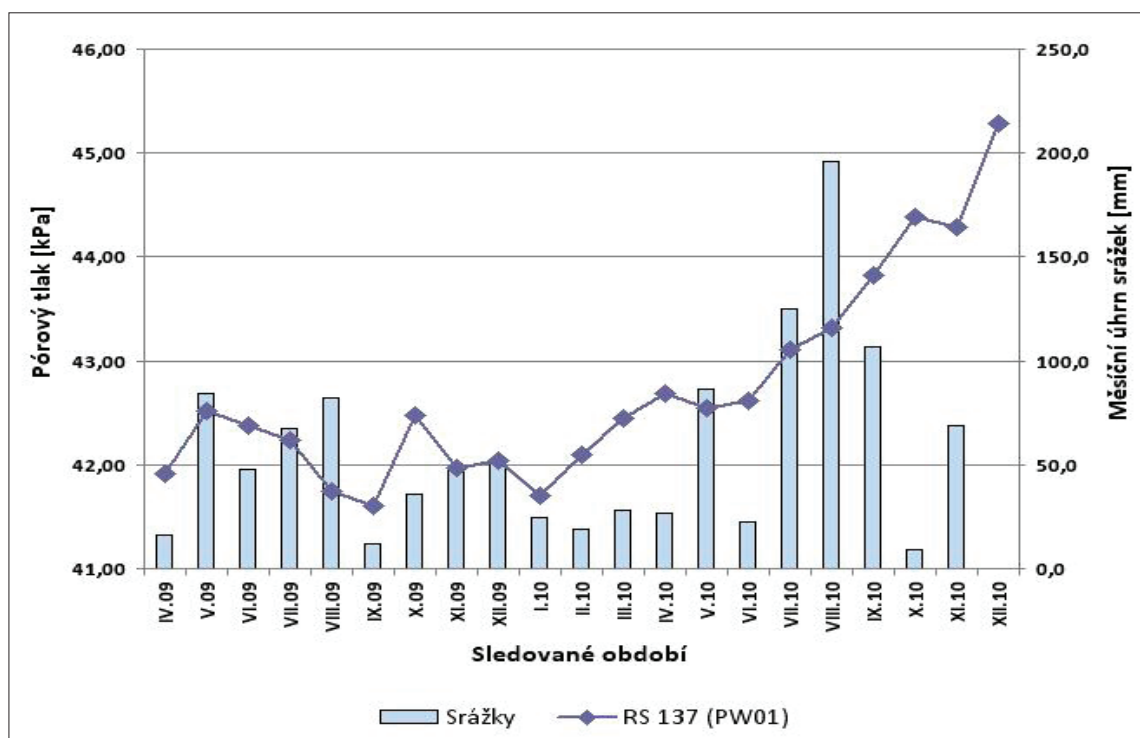
Střední část výsypky (do hloubky cca 50 m) je tvořena střídajícími se polohami písků a jílu. Zvodnění této části výsypky bylo v minulosti s největší pravděpodobností příčinou stabilitních problémů zájmové oblasti. Skladba zemin u vrtu RS 137 je podobná jako u dříve realizovaného hydrogeologického vrtu RS 128/P2, nacházejícího se v těsné blízkosti potenciálního sesuvného území. Naproti tomu u vrtu RS 138 dominuje v této



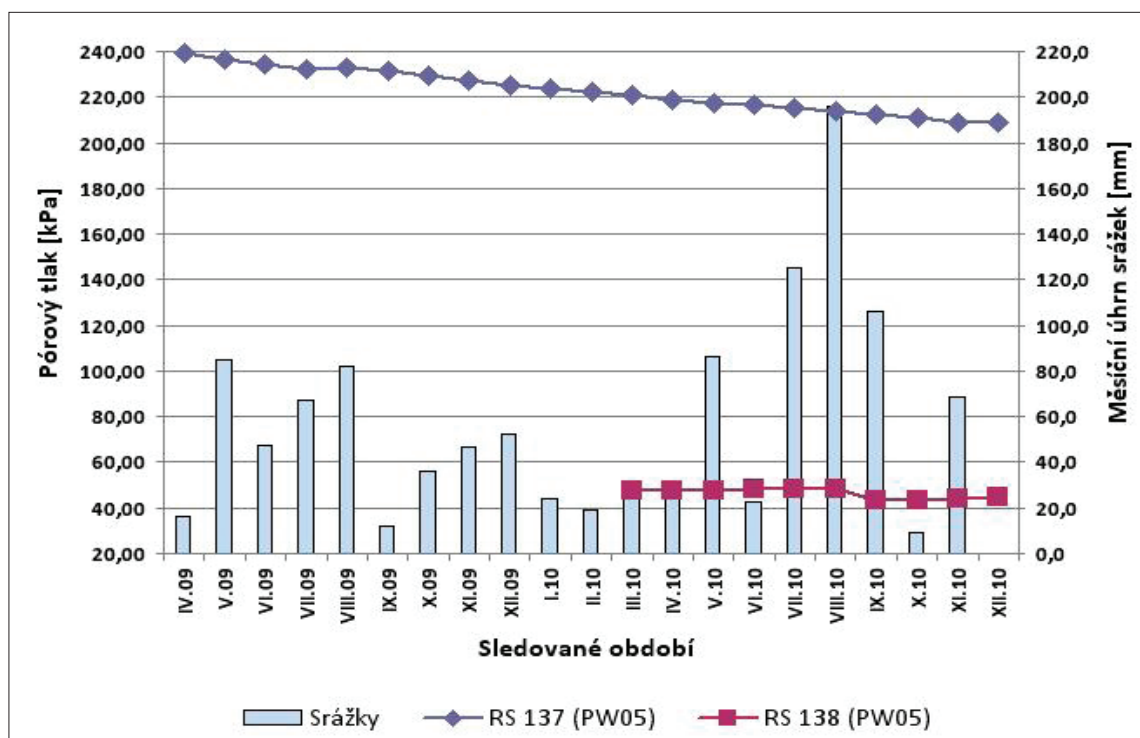
Graf 2: Vývoj pórových tlaků v nenasyceném horizontu.

části výsypky písčité složka. Z hlediska predikce varovných stavů je tedy nutno sledovat vývoj pórových tlaků v tomto horizontu zejména u vrtu RS 137, neboť skladba zemín je bližší sesuvné oblasti. Dosavadní výsledky měření pórových tlaků u vrtu RS 137 tuto domněnku potvrzují. V průběhu roku 2010 dochází v této části výsypky k pravidelnému nárůstu hodnot pórového tlaku. Časový vývoj pórového tlaku ve střední části výsypky je znázorněn v grafu č. 3.

Báze výsypky je tvořena zejména písčitémi jíly střídajícími se s polohami písků. U vrtu RS 137 nasedá báze výsypky na propustné kvartérní sedimenty koryta Lukovského potoka. Báze výsypky u vrtu RS 138 je pak v přímém kontaktu s křídovými horninami charakteru slínů a slínovců. Lze tedy předpokládat, že zeminy na bázi výsypky v prostoru vrtu RS 137 jsou odvodňovány prostřednictvím kvartéru a pod ním ležícího zvětralého povrchu krystalinika. Naproti tomu u vrtu RS 138 lze křídové sedimenty považovat za relativně málo propustné,



Graf 3: Vývoj pórových tlaků ve střední části výsypky u vrtu RS 137 (měřidlo PW01).

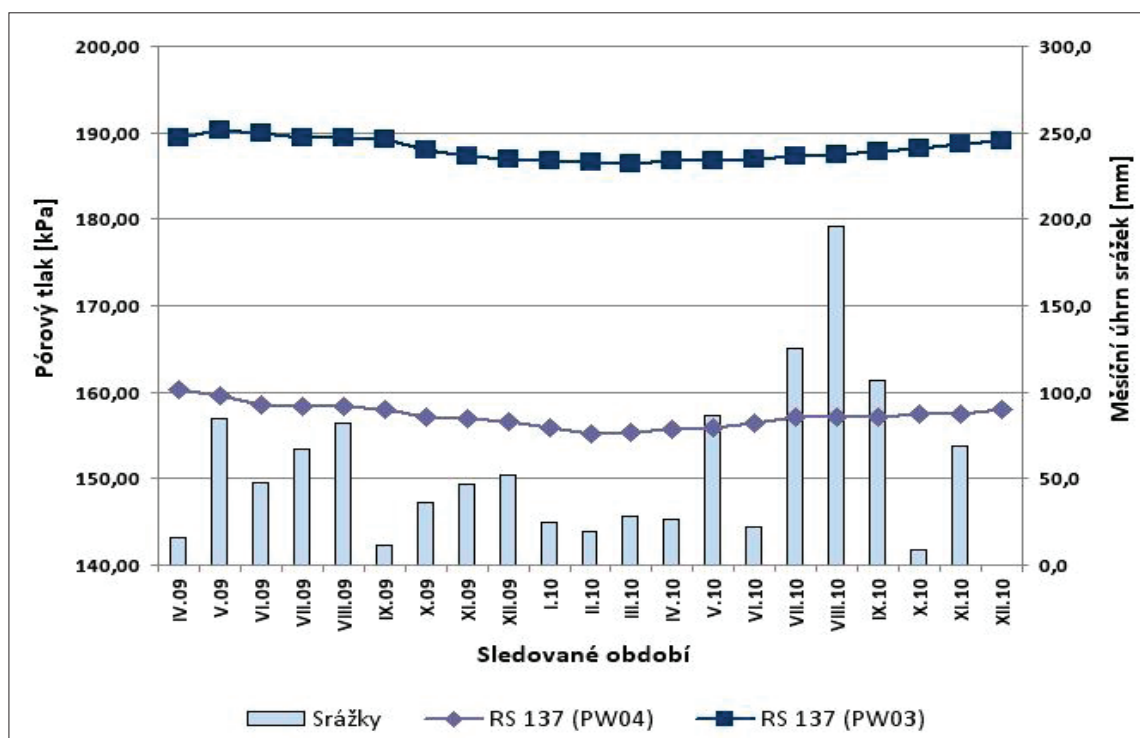


Graf 4: Vývoj pórových tlaků ve zvodněných vrstvách na bázi výsypky.

a tudíž by zvodnění báze výsypky v tomto prostoru mělo být stagnující. Z dosavadních získaných výsledků měření je patrné, že u vrtu RS 137 dochází k téměř kontinuálnímu poklesu hodnot pórových tlaků za celé sledované období. Tuto skutečnost si vysvětlujeme možnou komunikací mezi zeminami báze výsypky a propustným podložím tvořeným kvartérními sedimenty. U vrtu RS 138 je situace naprosto odlišná. V prvních šesti měsících vykazovaly hodnoty pórového tlaku velmi pozvolný nárůst, avšak ke konci srpna 2010 došlo k poklesu PT ve sledo-

vaném horizontu o cca 5 kPa. Od té doby dochází opět k pomalému nárůstu hodnot. Ke správné interpretaci vývoje pórového tlaku v tomto zvodnělém horizontu bude pravděpodobně zapotřebí měření delší časové řady. Pro názornost je v grafu č. 4 uvedeno srovnání vývoje pórových tlaků na bázi výsypky u vrtů RS 137 a RS 138.

V podloží výsypky jsou situovány snímače pórového tlaku pouze u vrtu RS 137. Vzhledem k tomu, že oba kolektory (kvar-



Graf 5: Vývoj pórových tlaků v podloží výsypky.

térní sedimenty a krystalinikum) jsou zvodnělé a plošně značně rozsáhlé, lze u nich očekávat podobný trend v naměřených hodnotách pórových tlaků. Z naměřených hodnot je patrný kolísavý trend, který je zřejmě způsoben množstvím vody dotované do těchto kolektorů. Dotační oblast kvartéru a krystalinika tvoří přilehlé svahy Českého středohoří.

## 6 Diskuze

Dílejší výsledky měření pórových tlaků ukazují, že svrchní propustné polohy v oblasti potenciálního sesuvu jsou do hloubky cca 20 m nenasyčenou zónou. Toto tvrzení prokazují naměřené záporné hodnoty pórového tlaku v tomto horizontu.

Střední část výsypky již představuje částečně nasycenou zónu, u které lze na základě vývoje pórových tlaků konstatovat, že zde dochází ke zvýšení zvodnění propustných zemin. Vzhledem ke skutečnosti, že hodnoty pórového tlaku a hodnoty hladin podzemní vody měly v průběhu roku 2010 vzestupný trend, byl v závěru roku vydán varovný stav o počáteční fázi porušování stability svahu výsypky. Rekognoskace terénu v lednu 2011 potvrdila výsledky měření a prokázala porušení stabilitních poměrů střední části svahu před zátrhovou hranou skluzu z roku 1994. Z těchto důvodů bude i v budoucnu nutné sledovat jak vývoj pórových tlaků ve střední části výsypky, tak i vývoj hladin podzemní vody.

Vývoj pórového tlaku v propustných zeminách na bázi výsypky je pravděpodobně ovlivněn přítomností propustného podloží a částečně také pokračující konsolidací výsypkového tělesa. Propustné zeminy na bázi výsypky v prostoru vrtu RS 137 jsou pravděpodobně odvodňovány prostřednictvím kvartéru a pod ním ležícího zvětralého povrchu krystalinika. Z dosavadních získaných výsledků měření pórového tlaku je patrné, že u vrtu RS 137 dochází k téměř kontinuálnímu poklesu hodnot PT za celé sledované období. Naproti tomu u vrtu RS 138 dochází zatím pouze ke kolísání hodnot pórového tlaku na bázi výsypky. Tuto skutečnost lze interpretovat tak, že zachycené vodonosné těleso je prostorově omezené. Také skutečnost, že podloží výsypky je u tohoto vrtu tvořeno relativně málo propustnými křídovými sedimenty, přispívá pravděpodobně k tomu, že zde nedochází k tak velkému poklesu pórových tlaků. Od března do srpna 2010 vykazovaly hodnoty pórového tlaku velmi pozvolný nárůst, avšak ke konci srpna 2010 došlo k poklesu pórového tlaku. Po tomto poklesu dochází opětovně k postupnému nárůstu hodnot pórového tlaku.

Měření pórových tlaků v podložních vrstvách vykazuje kolísavý trend, který je pravděpodobně způsoben průsakem vody do těchto vrstev ze širšího povodí.

## 7 Závěr

Realizací vrtů s měřidly pórových tlaků byly získány nové poznatky o geologické stavbě a o hydrogeologických poměrech uvnitř výsypkového tělesa. Dosavadní výsledky měření pórových tlaků potvrzují možnost doplnění hydrogeologického monitoringu metodou měření pórových tlaků zvodnělých poloh výsypkového tělesa a jejího podloží. Realizované vrtky také potvrdily možnost osazení jednoho vrtu více měřidly pórového

tlaku v různých hloubkových úrovních. Vývoj pórových tlaků v jednotlivých sledovaných horizontech zároveň potvrdil určitý systém proudění podzemních vod ve zvodnělých partiích výsypky a v jejím podloží. Měření pórových tlaků napomohlo spolu s měřením vývoje úrovně hladin podzemní vody k možné indikaci varovných stavů.

## Poděkování

Príspevek byl zpracován v rámci prací na státním úkolu MŠMT „Centrum výzkumu 1M06007 - Centrum výzkumu integrovaného systému využití vedlejších produktů z těžby, úpravy a zpracování energetických surovin“.

## Literatura

- [1] BOHÁČ V.: *Zpráva o instrumentaci monitorovacího vrtu na Radovesické výsypce*, Praha, 2010.
- [2] CHYČZYIOVÁ R.: *Sledování pórových tlaků v podloží vysokých násypů*, VUT Brno, 2007.
- [3] PLETICHOVÁ M.: *Komplexní zhodnocení vodního režimu Radovesické výsypky v roce 1998 a její digitální zpracování*, Odborný posudek, VÚHU a.s., Most, 1998.
- [4] ROZSYPAL A.: *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*, Bratislava, 2001, ISBN 80-88905-44-3.
- [5] ŽIŽKA L., PLETICHOVÁ M.: *Monitorování hladiny podzemní vody v tělese Radovesické výsypky v roce 2008 a indikace varovných stavů*, Odborný posudek, VÚHU a.s., Most, 2008.
- [6] ŽIŽKA L., PLETICHOVÁ M.: *Monitorování hladiny podzemní vody v tělese Radovesické výsypky v roce 2009 a indikace varovných stavů*, Odborný posudek, VÚHU a.s., Most, 2009.