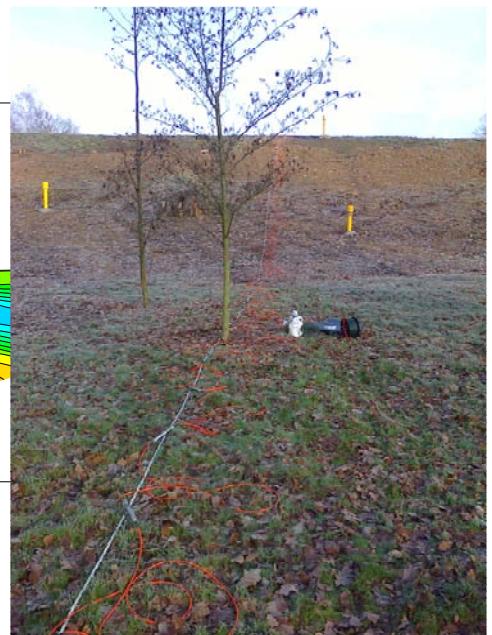
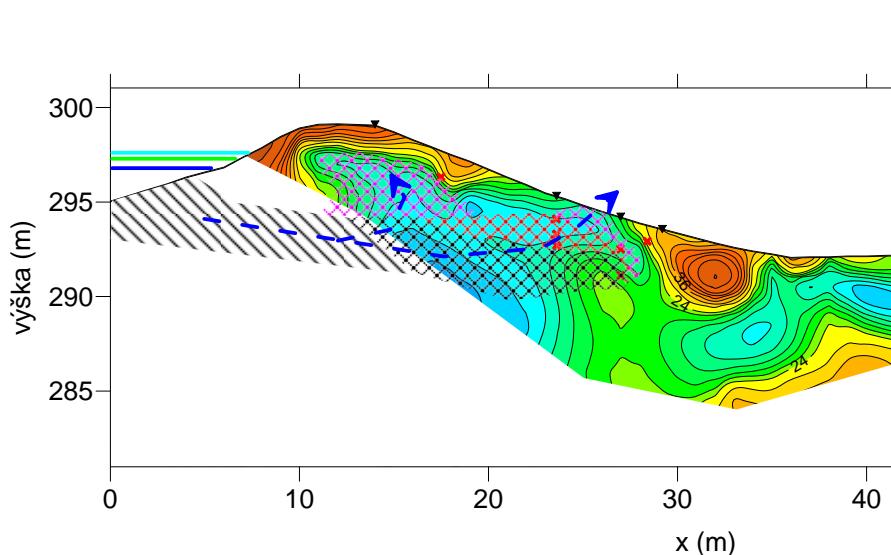




**Závěrečná zpráva o
geofyzikálním monitoringu hráze
během napouštění nádrže**

VN Vlčkovice



G IMPULS Praha spol. s r.o.
Přístavní 24, 170 00 Praha 7

tel: 605 258 213
fax: 266 712 779
e-mail: post@gimpuls.cz

VN Vlčkovice

*Závěrečná zpráva o geofyzikálním monitoringu hráze
během napouštění nádrže*

Zhotovitel : **G IMPULS Praha, spol. s r.o.**

Nerudova 232

252 61 Jeneč

pracoviště : Přístavní 24
170 00 Praha 7

Objednatel : **POVODÍ LABE s.p.**

Vítá Nejedlého 951

500 03 Hradec Králové

Odpovědný řešitel : RNDr. Vojtěch BENEŠ

Jednatel spol. s r.o. : RNDr. Jaroslav BÁRTA, CSc.

Geofyzikální práce proběhly při dodržení vnitropodnikových norem kvality řízení. Společnost G IMPULS Praha má certifikovaný systém zabezpečování jakosti podle mezinárodní normy ISO 9001:2000.



Praha, 20. 9. 2016

Obsah:

- I. Úvod***
- II. Metodika měření a zpracování dat***
- III. Výsledky měření***
- IV. Závěr***

Rozdělovník:

- 1. - 3. POVODÍ LABE, státní podnik***
- 4. VODNÍ ZDROJE, a.s.***
- 5. G IMPULS Praha, spol. s r.o.***

Seznam obrázků:

- Obr. 1** Schéma geofyzikálních profilů
- Obr. 2a** Water level in reservoir and rainfall during monitoring
- Obr. 2b** Soil and air temperature during monitoring
- Obr. 3a** Overview of DEMP method. Profile P5 - dam axis, frequency 47025 Hz.
- Obr. 3b** Overview of DEMP method. Profile P5 - dam axis, frequency 13025 Hz.
- Obr. 3c** Overview of DEMP method. Profile P10 - land slope, frequency 47025 Hz.
- Obr. 3d** Overview of DEMP method. Profile P10 - land slope, frequency 13025 Hz.
- Obr. 3e** Overview of DEMP method. Profile P5 and P10 - proportion
Ro13025/Ro47025
- Obr. 4a** DEMP method. Profile K129, frequency 47025 Hz.
- Obr. 4b** DEMP method. Profile K129, frequency 13025 Hz.
- Obr. 4c** DEMP method. Profile K146, frequency 47025 Hz.
- Obr. 4d** DEMP method. Profile K146, frequency 13025 Hz.
- Obr. 4e** DEMP method. Profile K169, frequency 47025 Hz.
- Obr. 4f** DEMP method. Profile K169, frequency 13025 Hz.
- Obr. 4g** Overview of DEMP method. Profile K129, 146, 169 - proportion
Ro13025/Ro47025 Hz
- Obr. 5a** Overview of resistivity cross-section K146. Measured data.
- Obr. 5b** Overview of resistivity cross-section K146. Corrected data for 25°C.
- Obr. 6a** SP method. Profiles P8 and P25. Graphs of SP potential.
- Obr. 6b** SP method. Profile K146. Graphs of SP potential.
- Obr. 7** Schéma geofyzikálních anomalií.

I. Úvod

Geofyzikální monitoring hráze VN Vlčkovice byl proveden na základě objednávky organizace Povodí Labe s.p. č. A911150015/Kř z července 2015. Opakované geofyzikálních měření bylo prováděno v období 10/2015 až 03/2016 během napouštění nádrže. Cílem monitoringu bylo zpřesnění interpretace průsaků, které zde byly lokalizovány během základního průzkumu hráze (viz Beneš 2013). Výsledky geofyzikálního průzkumu slouží pro potřeby TBD.

Opakované geofyzikální měření bylo součástí výzkumných prací na lokalitě v rámci projektu STAMFOR (program EUREKA, projekt EUREKA CZ LF14032). Projekt STAMFOR kombinuje geofyzikální měření s dlouhodobým monitoringem hrází pomocí bodových a liniových teplotních senzorů. Teplotní senzory umožňují dlouhodobý monitoring vzniku a vývoje průsaků tělesem zemních hrází. Hlavním řešitelem projektu je firma VODNÍ ZDROJE a.s..

Terénní práce probíhaly během napouštění nádrže v 5 etapách:

- 1. etapa, 18.10. 2015, hladina v nádrži cca 295,1 m, bez viditelných průsaků
- 2. etapa, 11.12. 2015, hladina v nádrži cca 296,83 m, bez viditelných průsaků
- 3. etapa, 21.12. 2015, hladina v nádrži cca 297,34 m, drobný průsak ve střední části
- 4. etapa, 29. 1. 2016, hladina v nádrži cca 297,60 m, výrazný průsak ve střední části
- 5. etapa, 18. 3. 2016, hladina v nádrži cca 297,67 m, po vydatných srážkách, setrvalý stav průsaku ve střední části hráze

Průběh změny hladiny vody v nádrži a průběh srážek během monitoringu na lokalitě je graficky znázorněn na obr. 2a. Interpretace měřených dat probíhala průběžně a po dohodě s objednatelem mimo jiné sloužila k optimální instalaci a hodnocení stavu teplotních čidel v rámci projektu STAMFOR.

II. Metodika měření a zpracování dat

Opakovaná geofyzikální měření byla navržena v souladu s metodikou GMS (tj. Geofyzikální Monitorovací Systém). Tato metodika byla popsána v rámci mezinárodních projektů 5. a 6. RP EU IMPACT a FLOODSite jako nový nástroj TBD nad protipovodňovými

hrázemi a zemními hrázemi malých vodních děl. Metodika kombinuje rychlé a levné geofyzikální techniky pro základní plošný popis celé hráze s náročnějšími metodami pro detailní popis vyhodnocených problematických úseků. Monitoring je založen na základě analýzy opakovaných měření při změně výšky hladiny vody v nádrži ve srovnání s výchozím stavem při prázdné nádrži. Při opakovaných měřeních se uplatnily následující geofyzikální metody:

- dipólové elektromagnetické profilování (dále DEMP)
- odporová tomografie (dále ERT)
- spontánní polarizace (dále SP)

Metoda DEMP patří mezi elektromagnetické geofyzikální metody. Měřeným parametrem je zdánlivá vodivost (resp. zdánlivý měrný odpor) geologického prostředí v místě měření. Na základě odporu lze interpretovat hranice jednotlivých vrstev prostředí a posoudit jejich vlastnosti. Toho lze využít pro sledování materiálového složení hráze, tj. kolísání obsahu jílovité a písčité frakce, a tedy relativní propustnosti prostředí hráze. Hliny a jíly totiž obecně mají ve srovnání s písky a štěrky výrazně nižší odpory. Vodivost, resp. odpor prostředí závisí také na obsahu vody ve zkoumaném prostředí. Za předpokladu homogenity hráze nebo při srovnání opakovaných měření kolísání odporů často odpovídá změnám v nasycení tělesa hráze vodou, a tedy ukazuje na možnou existenci průsaků. Pro měření byl použit přístroj GEM2 (GEOFHEX, USA), který pracuje jako širokopásmová digitální multifrekvenční elektromagnetická aparatura. V našem případě byly nastaveny 4 pracovní frekvence, které se jeví jako nevhodnější na základě analýzy elektromagnetického šumu na většině lokalit v ČR. Jedná se o frekvence 6525 Hz, 13025 Hz, 27025 Hz a 47025 Hz. Těmto frekvencím odpovídá orientační hloubkový dosah 8 m, 6 m, 4 m a 2 m. Aparatura byla propojena s navigačním systémem GPS, díky tomu byla pozice proměřených profilů zaznamenána automaticky. Výstupem měření jsou grafy měrných odporů. Analýza naměřených dat byla provedena s využitím programu GMS Analyzer.

Metoda ERT (nebo také OT) spočívá v měření měrných odporů zemin a hornin pomocí velkého množství elektrod umístěných podél profilu. Elektrody jsou spojeny speciálním kabelem, který umožnuje elektrody postupně zapojovat jako proudové i potenciálové. Díky tomu lze proměřit velký počet variant 4 elektrodového uspořádání s různou geometrií a hloubkovým dosahem. Celkový hloubkový dosah měření závisí na maximální vzdálenosti proudových elektrod a lze ho odhadnout jako cca 1/5 maximální vzdálenosti proudových elektrod. Pro interpretaci naměřených dat byl použit program Res2Dinv. Program slouží k 2D inverzi naměřených odporových dat a výpočtu 2D odporového řezu prostředím pod profilem. Odporový řez sledovaného profilu se blíží skutečnému rozložení jednotlivých odporových (horninových) vrstev. Pro měření byla použita aparatura ARES (GF Instruments, ČR).

Metoda SP sleduje přirozený elektrický potenciál horninového prostředí. Při průzkumu hráze se nejčastěji setkáme s filtračním potenciálem, který vzniká filtrací vody přes

porézní prostředí. Obecně při filtrace platí, že ve vodě rozpuštěné anionty se hromadí v místě vsaku do porézního prostředí (tj. v oblasti hráze). Je však třeba odlišit toto přirozené elektrické pole od rušivých polí vzniklých např. na železných podzemních konstrukcích, v blízkosti elektrifikované železnice, apod. Výstupem měření jsou profilové křivky – grafy elektrických potenciálů. Na základě jejich analýzy lze vymezit místa možných průsaků vody hrází. U hrází za rizikové anomálie považujeme jak lokální minima křivek SP (zasakování vody zvláště na návodní straně), tak lokální maxima (vývěr, mělký průsak na vzdušní straně). Metoda je vhodná pro opakování – monitorovací měření s cílem sledování dlouhodobých změn průsakového režimu hráze a jejího podloží. Měření bylo provedeno aparaturou GEOTOR I (ČR) potenciálovou metodou.

Geofyzikální měření bylo provedeno na profilech paralelních s podélnou osou hráze i na profilech příčných. Metodou **DEMP** byla hráz proměřena v celé ploše. Proměřeny byly podélné profily P5 (osa hráze s přesahem do zavázání), P10 (vzdušní svah na úrovni průsaků), P11 (pata hráze u patního drénu) a příčné profily na metráži 129 (K129), 146 (K146) a 169 (K169). Metráž měření na profilech podélných s osou hráze roste vždy ve směru zleva doprava při pohledu po proudu vody. Na příčných profilech metráže rostou ve směru proudu vody. Pro potřeby průzkumu byla na hrázi zvolena lokální délková metráž, která odpovídá metráži profilu P5. Významné objekty na hrázi mají následující lokální metráže:

- levé zavázání: 110
- spodní výpust SV: 161
- bezpečnostní přeliv BP: 189
- pravé zavázání: 192

Metodou ERT byl opakován měřen příčný profil K146. Krok elektrod byl zvolen po 1 m, koruna hráze má metráž 10 až 13,5. Hloubkový dosah odporových řezů se pohybuje kolem 7 m. Metodou SP byly proměřeny dva podélné profily (tj. na návodním svahu profil P8 a na vzdušním svahu P25 = úsek profilu P10) a příčný profil K146. Krok měření potenciálu SP byl po 2 m. Situace profilů použitých pro opakování měření je zakreslena na obr. 1. Výjimkou je profil P11 měřený metodou DEMP, který nakonec nebyl pro hodnocení monitoringu použit. V blízkosti profilu se nacházejí monitorovací vrty a objekt SV, které výsledky měření zkreslily.

Pro správnou interpretaci opakovaných měření jsme u odporových měření zavedli teplotní korekci odporů dle Kellera a Frischknechta (1965). Jedná se o přepočet odporů naměřených při určité teplotě na teplotu 25°C za použití vzorce:

$$\rho_T = \rho_{25} / (1 + \alpha(T - 25))$$

where ρ_T denotes electrical resistivity at temperature T , ρ_{25} electrical resistivity at $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; α is an empirical coefficient that often equals $0.025\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. In these conditions, a deviation of $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the temperature leads to a deviation of 2.5% in electrical resistivity.

Teplotu tělesa hráze v době měření jsme převzali z měření teplotních čidel, viz obr. 2b. Hodnoty měření SP byly opraveny na vlastní polarizaci elektrod, která byla měřena na začátku a na konci každého profilu.

III. Výsledky měření

Výsledky měření metodou DEMP jsou dokumentovány na obr. 3a-d (grafy odporů pro podélné profily) a 4a-f (grafy odporů pro příčné profily). Uvedeny jsou grafy pro frekvenci 47025 Hz a 13025 Hz. V horní části jsou grafy s naměřenými daty, ve spodní části jsou hodnoty odporů po korekci na teplotu 25°C. Při hodnocení opakovaných měření byla analyzována data po teplotní korekci. Na grafech je dobře patrná změna odporů s časem. Nejvyšší odpory byly registrovány při první etapě monitoringu, kdy byla vypuštěná nádrž a končilo dlouhodobé období sucha. Hodnoty odporů během 2., 3. a 4. etapy vykazují přibližně shodné hodnoty odporů. Jedná se o období postupného napouštění nádrže a o období s běžnými srážkami. Odpory pro 5. etapu vykazují generelně nejnižší odpory. V době 5. etapy byla nádrž již cca 2 měsíce na provozní hladině, došlo k ustálení průsaku ve střední části hráze a končilo jarní období srážek. Uvedené generelní změny odporů se týkají jak tělesa hráze, tak přírodních svahů kolem hráze. Jsou převážně projevem celkové změny nasycení půdy vodou v souvislosti s klimatickým vývojem. Na příčných profilech (obr. 4a-f) je na vzdutém svahu červeně vyznačen úsek profilu, kde je patrný výrazný lokální pokles odporů mezi 1. a dalšími etapami monitoringu. Úsek má metráž cca 20 až 25 m. Jedná se patrně o projev anomálního sycení více propustné vrstvy v tělese hráze vodou, která může být příčinou průsaků.

Na obr. 3e (podélné profily) a obr. 4g (příčné profily) jsou grafy poměru odporů pro frekvenci 13025 Hz/47025 Hz. Tyto grafy ukazují relativní změnu odporů s hloubkou. Nižší hodnoty ukazují na vyšší vodivost v hloubce, což může mít souvislost se zvýšeným obsahem vody, a tedy s průsaky. Zobrazena jsou data z etapy 1., 3. a 4., které měřil stejný operátor, a jsou tak dobře srovnatelná. *Poznámka: ukázalo se, že pro detailní srovnání opakovaných měření je třeba zcela přesně dodržet metodiku měření. V datech jsou patrné drobné odchyly i v případě změny operátora, kdy*

je mírně změněná výška senzoru nad zemí i orientace senzoru vůči kabelům, systému GPS a kovovým prvkům oblečení operátora. V grafech jsou vyznačena místa s postupným poklesem poměru odporů v čase (žluté úseky) a červeně úseky podélných profilů, kde jsou celkově lokální poklesy poměru odporů. Žluté úseky signalizují postupné zvýšené sycení materiálu hráze vodou při napouštění nádrže, červené úseky odpovídají dlouhodobě více zvodnělým partiím. Situace popisovaných anomalií ze vzdušního svahu hráze je zakreslena na obr. 7.

Opakování měření metodou OT na profilu K146 je zpracováno ve formě odporových řezů na obr. 5a. Ukázalo se, že v případě dlouhodobého monitoringu, který zahrnuje období kolem půl roku a delší, je třeba zavést teplotní korekci měřených odporů. Přepočtené odporové řezy po teplotní korekci jsou zobrazeny na obr. 5b. Tyto řezy sloužily pro interpretaci změn odporů v tělese hráze v souvislosti s postupným napouštěním nádrže. Stav v etapě 1. ukazuje postupně "vysychající" těleso hráze, kde však zůstává v jakýchsi kapsách "uzamčená" vlhkost. Provlhčená zóna při povrchu je vidět i v místě pozorovaného průsaku kolem metráže 20-25. Nádrž byla vypuštěná cca 14 dní před 1. etapou měření. Ukazuje se, že za tak krátkou dobu dokážou reagovat pouze více propustné zóny, kde se vyskytuje více propustný materiál nebo kde existují diskontinuity typu trhliny, pracovní spáry apod. To jsou často poruchy, kudy se šíří průsak. Taková zóna byla registrována ve středu tělesa hráze ve výšce cca 292 až 295 m. Je však pravděpodobné, že odporový model mocnost zóny nadhodnocuje a že skutečná mocnost je menší. V dalších etapách dochází s postupem napouštění nádrže k sycení různých částí tělesa hráze. V každé etapě jsou největší změny zvýrazněny černou šrafou. V období 2. etapy došlo k rychlému nasycení výše popsané propustné polohy. Výrazně odporové změny zasahují k nejhlubším teplotním senzorům ve vrtech MVT2-1 i MVT2, nezasahují však k povrchu. Ve 3. etapě došlo k postupu odporových změn směrem k povrchu, a to zvláště v okolí metráže 25. Změny dosáhly na výškovou úroveň nejvyšších senzorů ve vrtech MVT2-1 i MVT2-2. Ve 4. etapě odporové změny dosahují do úrovně všech teplotních senzorů (včetně optokabelů) a kolem metráže 25 dosahují i k povrchu hráze. Zajímavé je šíření poklesu odporů i směrem do koruny hráze. To může být dánou kapilárním vzlínáním vlhkosti nebo se skutečně jedná o sycení hráze vodou při zvýšené hladině vody v nádrži. Stav v 5. etapě ukazuje již víceméně setrvalý stav, kdy je kolem metráže 25 celkem intenzivní průsak. Zajímavá je anomálie v koruně hráze, která pravděpodobně ukazuje na zasakování srážkových vod do tělesa hráze. Zjištěné anomálie jsou schematicky zakresleny na obr. 7.

Grafy přirozeného elektrického potenciálu SP jsou uvedeny na obr. 6a (podélné profily a obr. 6b (příčný profil K146). Měřené hodnoty potenciálu SP byly opraveny o vlastní polarizaci elektrod, která byla měřena opakováně během každé etapy. Na podélném profilu na návodním svahu hráze (P8) nebyly registrovány žádné anomálie přesahující chybu měření, které by ukazovaly na soustředenou infiltraci oblast. Zdá se, že přičinou průsaků je široká deskovitá poloha se zvýšenou propustností. Na profilech na vzdušním svahu hráze byly registrovány anomálie, které svědčí o vzniku průsaku a ukazují na oblast jeho vývěru. Anomálie se začaly zvýrazňovat v období 3. a 4. etapy a zvláště v etapě 5. Zdá se, že vznik

měřitelného filtračního elektrického potenciálu vázaného na průsaky, potřebuje určitý čas. V našem případě cca 2 měsíce po aktivaci průsaku. Popisované anomálie jsou zvýrazněny na obr. 6a-b červeně, jejich poloha je zakreslena na obr. 7.

Výsledky geofyzikálního monitoringu lze shrnout do následujících odstavců:

- V 1. etapě 18. 10. 2015 byl zaznamenán stav hráze cca 2 týdny po úplném vypuštění nádrže. Měření proběhlo ke konci dlouhodobého sucha. Tyto okolnosti se projevily výrazným růstem odporů v připovrchové vrstvě (viz grafy DEMP). Uvnitř hráze poklesl obsah vody v anomální propustné zóně, která je patrně primární příčinou průsaků (viz poloha zvýšených odporů na obr. 5b). V hrázi místy zůstaly kapsy s vysokou vlhkostí místy vázané na průsak. Hráz nevykazovala anomálie SP.
- 2. etapa 11. 12. 2015 byla měřena po dešťovém období, kdy se nádrž naplnila zhruba k výškové úrovni, kdy byly v minulosti pozorovány aktivní průsaky (cca 296,85 m). Měřené odpory generelně poklesly, pravděpodobně v souvislosti s částečnou saturací připovrchových vrstev po deštích. Průsak nebyl přímo pozorován. Dle teplotních senzorů došlo v období od 1. 12. 2015 do 3. 12. 2015 k dosažení saturace hráze na úroveň senzoru MVT2-2 v hloubce 2,9 m (1.12.) a MVT2-1 v hloubce 1,8 m (3.12.). To potvrzuje odporové změny v řezu ERT na obr. 6b. Anomálie SP jsou pouze velmi nevýrazné na hranici chyby měření.
- 3. etapa 21. 12. 2015 byla měřena po dalších srážkách, kdy došlo k překročení hladiny v nádrži nad úroveň 297,30 m. Odpory v připovrchové vrstvě byly na úrovni z etapy 2., tj. saturace zemin byla srovnatelná. V období kolem 13. až 15. 12. 2015 došlo dle analýzy teplotních senzorů k zesílení průtoku kolem výše zmiňovaných senzorů. Dle řezu ERT došlo k posunu výšky saturace tělesa hráze, a to zvláště kolem metráže 25 (tj. v místě známého průsaku). Při odkopání drnu se objevila rostoucí vlhkost, průsak patrně zrovna dosahoval k povrchu hráze. Anomálie SP jsou zhruba na úrovni 2. etapy.
- 4. etapa 29. 1. 2016 byla měřena ve vrcholném zimním období bez výraznějších srážek v mezidobí. Odpory (zvláště DEMP) po teplotní korekci ukazují na podobné hodnoty (saturaci) jako v etapě 2. a 3. V řezu ERT je patrný progres ve stoupání výškové úrovni saturované zóny v tělese hráze. Kolem metráže 25 pokles odporů dosáhl povrchu hráze. Odpory výrazně klesají i v koruně hráze až na výškovou úroveň hladiny vody v nádrži. Nelze vyloučit saturaci tělesa hráze i v této výškové úrovni, může se jednat o kapilární vlhkost. Odporové změny v tělese hráze dosahují hloubkové úrovně mělkých teplotních senzorů i optických vláken. V okolí metráže 25 bylo pozorováno silné zvlhčení, místy s viditelným výronem vody.
- 5. etapa 18. 3. 2016 byla měřena v jarním období po vydatných srážkách. Voda v nádrži v mezidobí občas vystoupala až na úroveň přelivné hrany (cca 298,10 m). Svrchní poloha půd vykazuje výrazný pokles odporů (zvláště u metody DEMP), což je projevem zvláště silné saturace vodou. Z hlediska vývoje saturace vnitřního prostředí

hráze nedošlo k výrazným změnám ve srovnání se 4. etapou (viz obr. 5b). Výjimkou je pokles odporů na povrchu koruny hráze, který je pravděpodobně projevem zasakování srážek. U metody SP došlo k podstatnému zvýraznění anomálií SP, které již překročily úroveň chyby měření. Pozorovaný průsak měl obdobnou intenzitu jako při 4. etapě, ale výrazně větší plošný rozsah (cca 9 x 3 m).

- z hlediska metodiky lze konstatovat, že u dlouhodobého monitoringu je potřeba do odporových měření zavádět teplotní korekci. Metoda DEMP dokáže plošně vymezit oblasti anomální saturace hráze, zvláště pomocí poměru odporů pro mělké a hlubší měření. Nejpřesnější výsledky přináší metoda ERT. Je třeba použít identickou metodu inverze odporových řezů a identický počet iterací. Vývoj anomálií SP probíhá s určitým zpožděním za vývojem průsaků.

IV. Závěr

Cílem geofyzikálního monitoringu hráze VN Vlčkovice při postupném napouštění nádrže bylo lépe pochopit příčiny a výskyt průsaků v tělese hráze. Monitoring byl proveden pomocí metod DEMP, OT s SP na profilech zvolených dle základního průzkumu z roku 2013. Celkem bylo provedeno v období 10/2015 až 03/2016 5 etap opakovaných měření.

Výsledky průzkumu sloužily pro průběžnou interpretaci monitoringu průsaků pomocí teplotních čidel instalovaných na hrázi v rámci projektu STAMFOR. Geofyzikální monitoring ukazuje, že příčinou průsaků je s velkou pravděpodobností deskovitá poloha v tělese hráze se zvýšenou propustností. Příčinou zvýšené propustnosti může být materiálová změna nebo vývoj trhlin a existence pracovních spár. Poloha se v hrázi nachází kolem kóty 295 m. Při zvyšování hladiny v nádrži se zvedá i úroveň saturace tělesa hráze. Kolem metráže 25 geofyzikálního příčného profilu K146 je propustná poloha patrně propojena s povrchem, což je příčinou vzniku průsaků. Na návodním svahu nelze určit jednoznačnou infiltraci oblast. Dle interpretace DEMP se jeví, že se jedná o 4 hlavní směry infiltrace "pravidelně" rozmístěné podél hráze. Jejich průběh je naznačen na obr. 7. Stejně tak projevy zvýšené saturace vodou na vzdušném svahu byly registrovány na všech 3 příčných profilech. Nejvýraznější je však ve středu hráze na profilu K146, kde byl od 4. etapy měření pozorován i aktivní průsak. Plošně lze oblast průsaku vymezit podle vývoje anomálie SP a metody DEMP. Po 5. etapě má oblast zasažená nejvýraznějšími průsaky rozměr cca 9 x 3 m (viz obr. 7).

Výsledky geofyzikálních měření slouží pro potřeby TBD a pro hodnocení teplotních čidel instalovaných v rámci výzkumného projektu STAMFOR. Lze konstatovat, že výsledky základního geofyzikálního průzkumu z roku 2013 (metodika GMS) sloužily pro optimální

návrh lokalizace teplotních čidel a optických vláken. Geofyzikální monitoring slouží pro kontrolu interpretace vývoje průsaků pomocí teplotních čidel.

VN Vlčkovice
Geofyzikální monitoring hráze

Obr. 1 Schéma geofyzikálních profilů

Vysvětlivky: rozsah měření během monitoringu

- profily měřené metodou DEMP
- profily měřené metodou OT
- profily měřené metodou SP

- vrť s hladinoměrem
- vrť s teplotními čidly
- sonda pro měření hladiny v nádrži
- optické vlákno pro měření teploty



měřítka 1 : 500

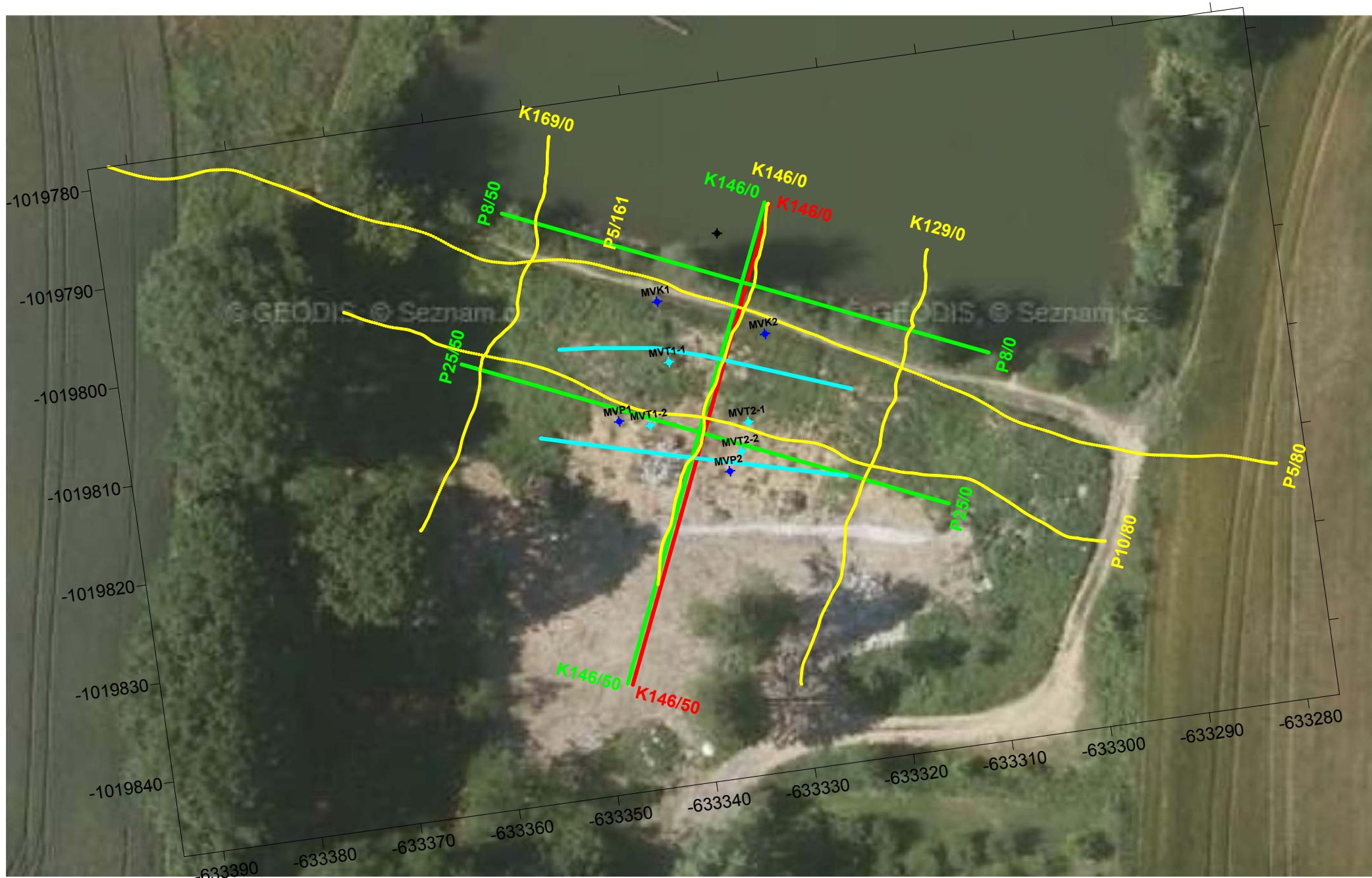
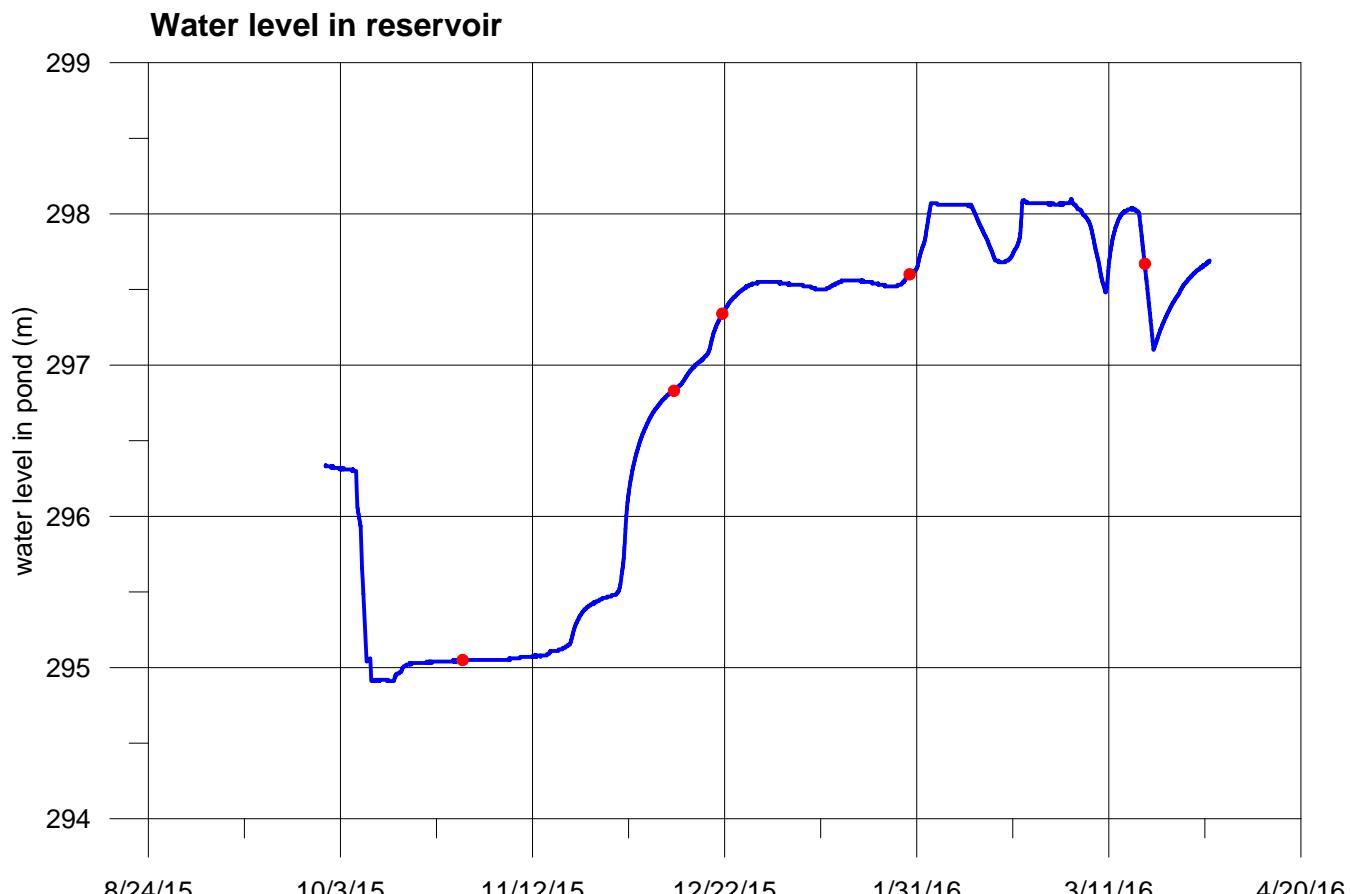


Fig. 2a Water level in reservoir and rainfall during monitoring



● stage of geophysical monitoring

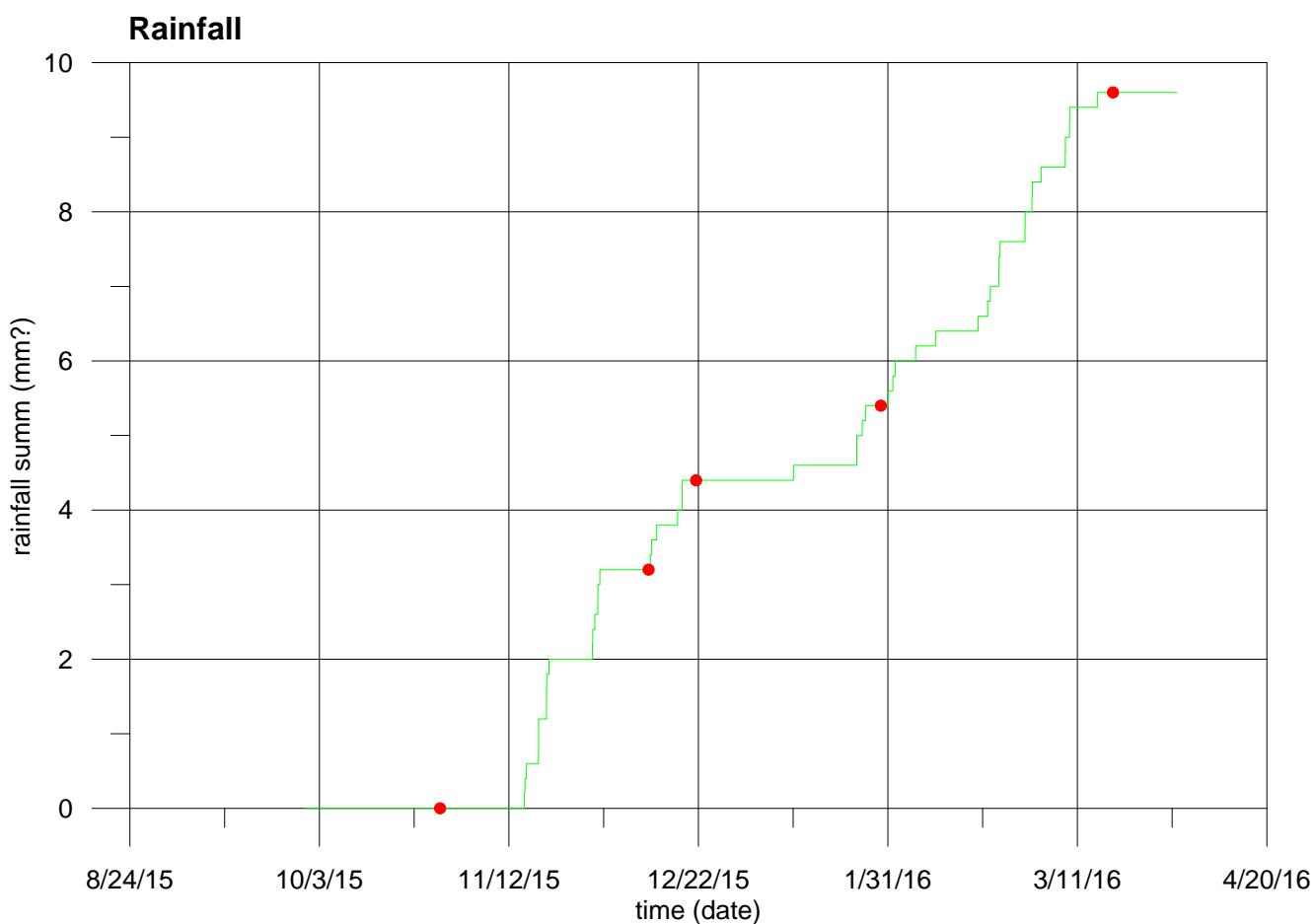


Fig. 2b Soil and air temperature during monitoring

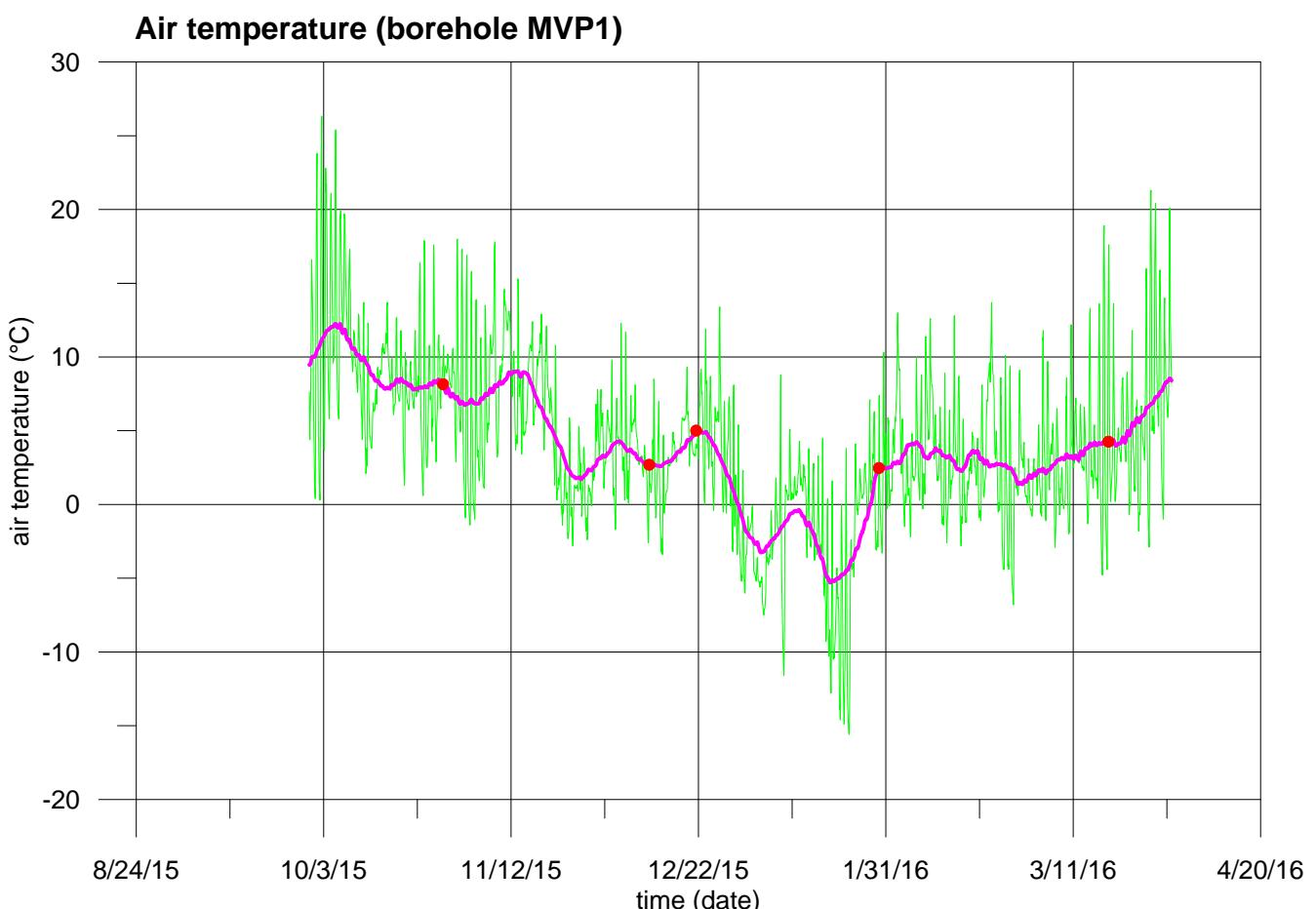
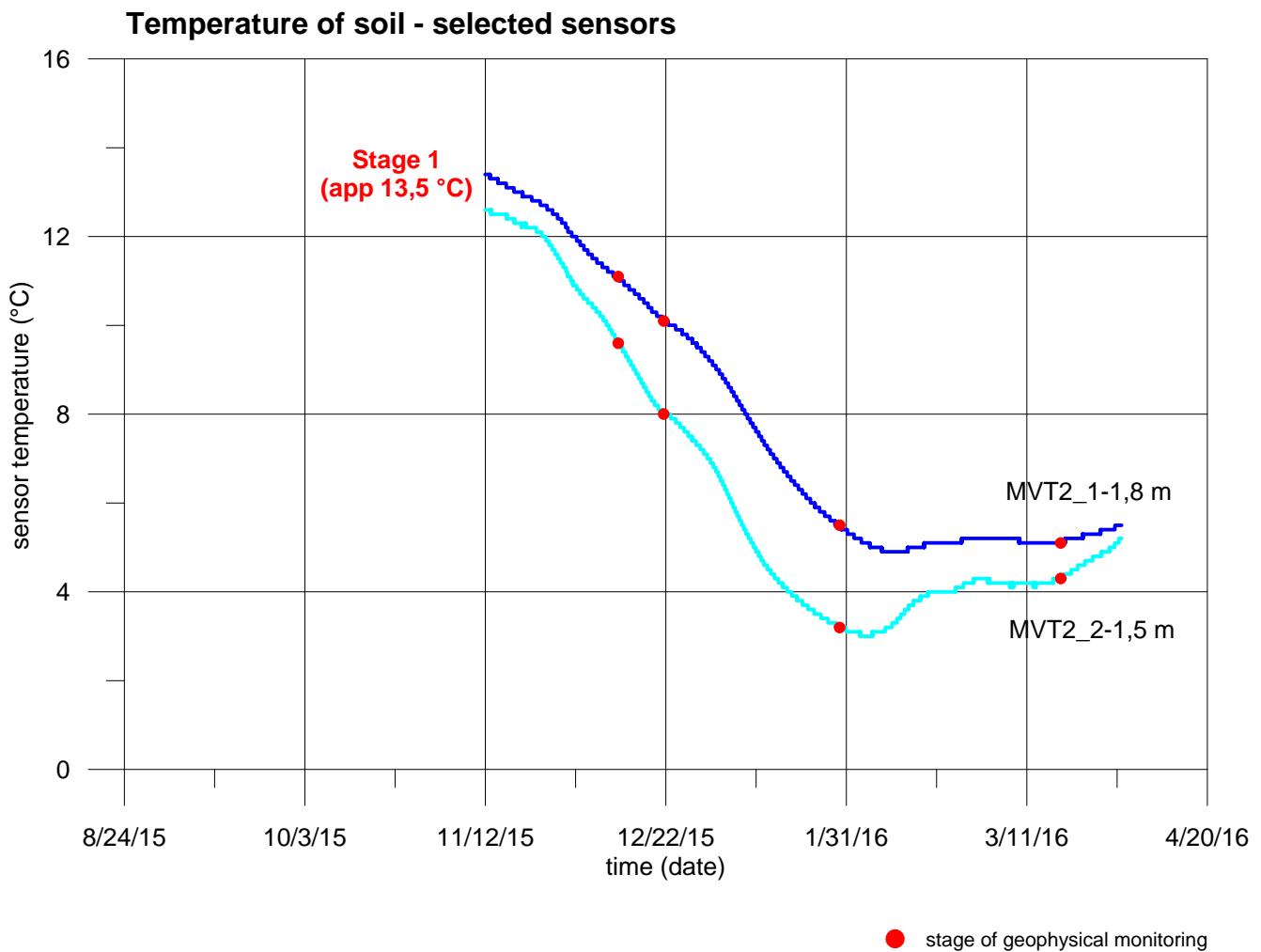


Fig. 3a Overview of DEMP method. Profile P5 - dam axis, frequency 47025 Hz.

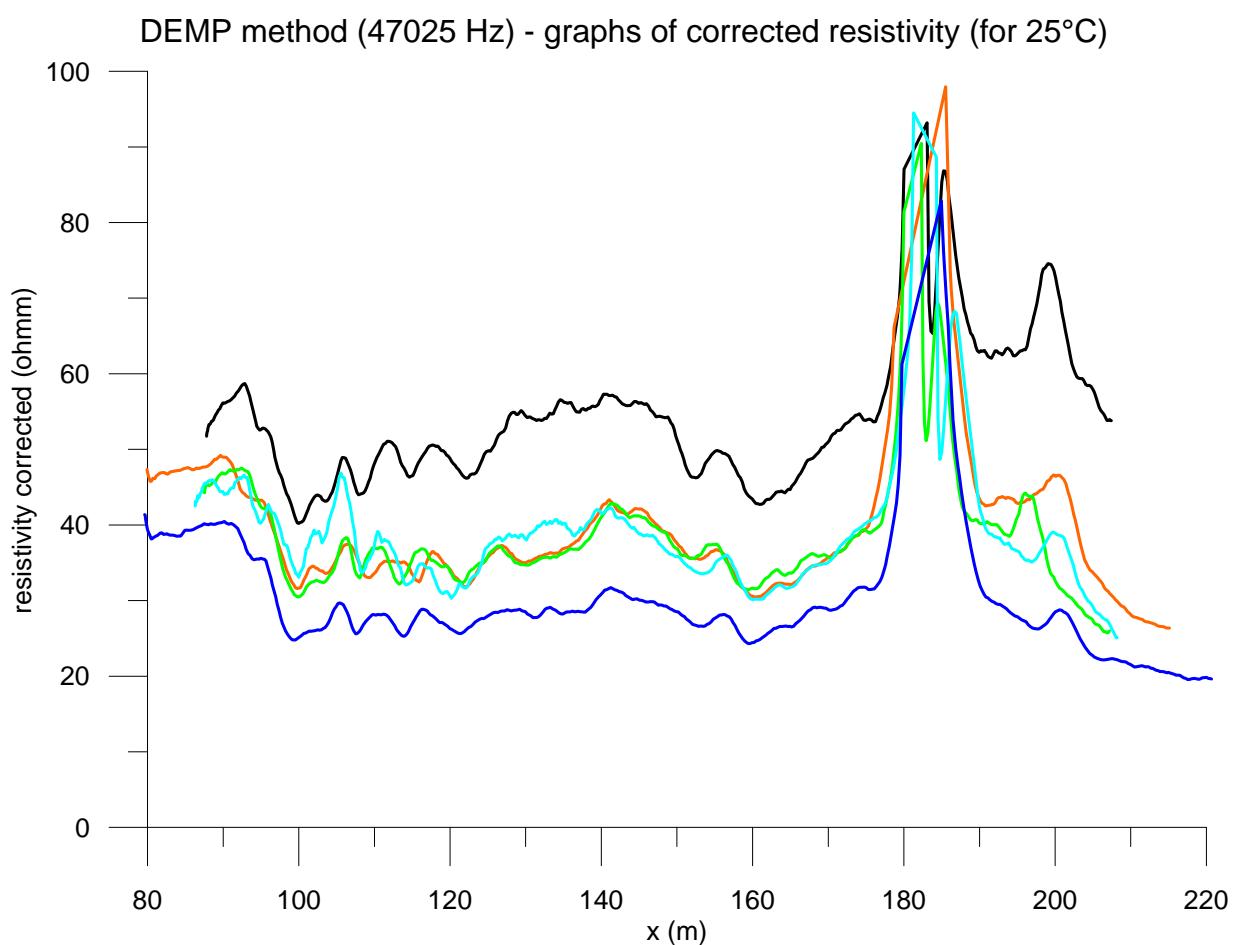
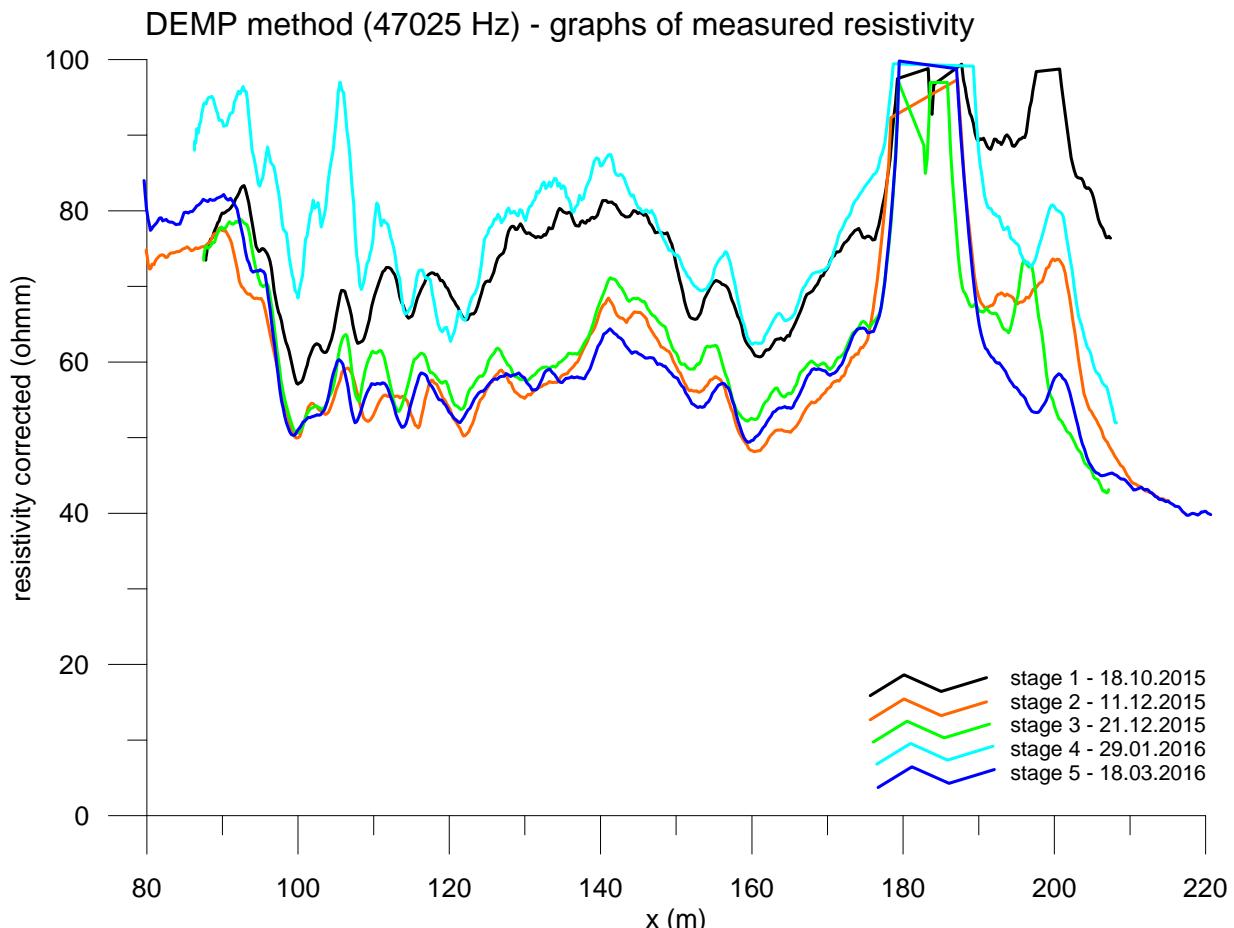


Fig. 3b Overview of DEMP method. Profile P5 - dam axis, frequency 13025 Hz.

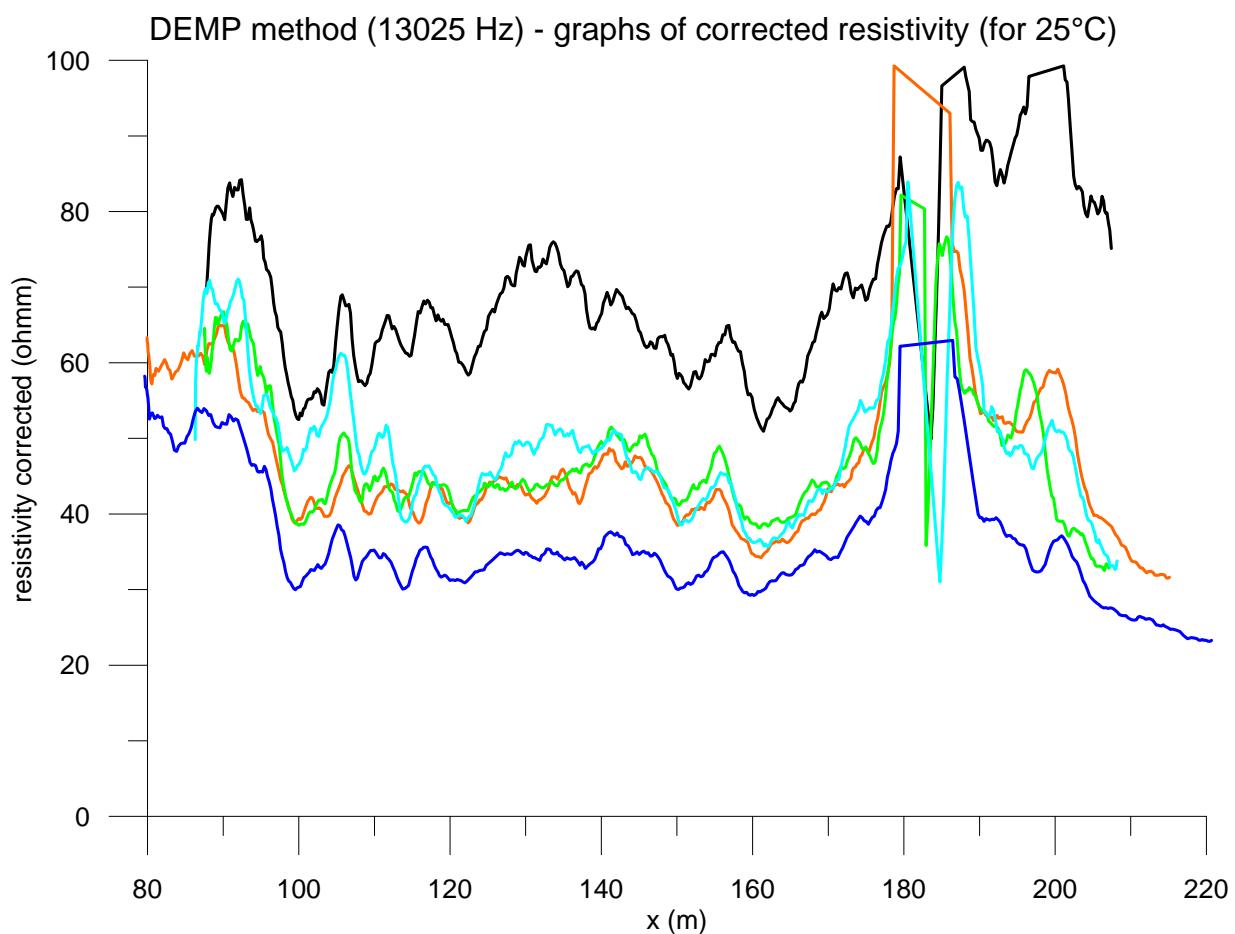
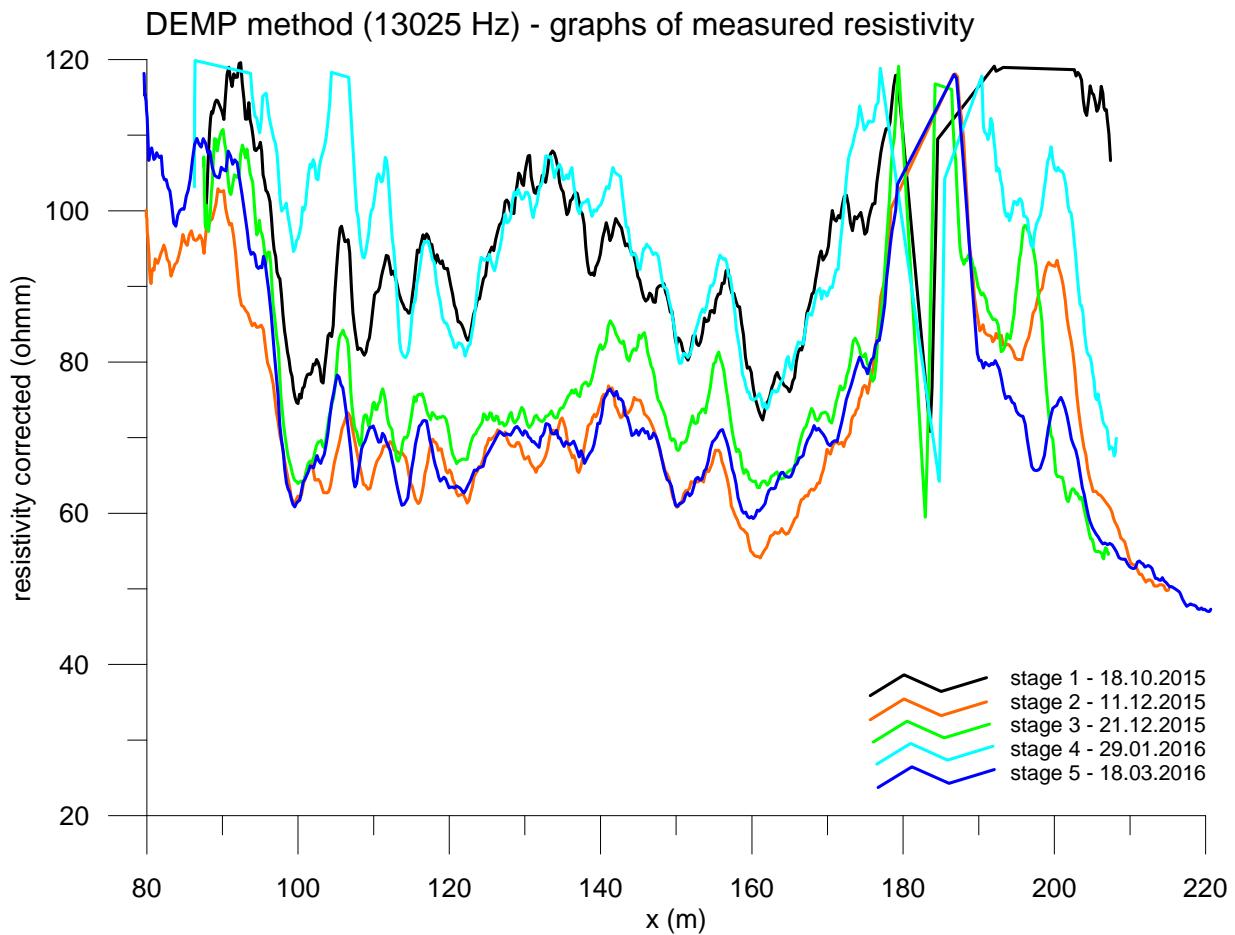


Fig. 3c Overview of DEMP method. Profile P10 - land slope, frequency 47025 Hz.

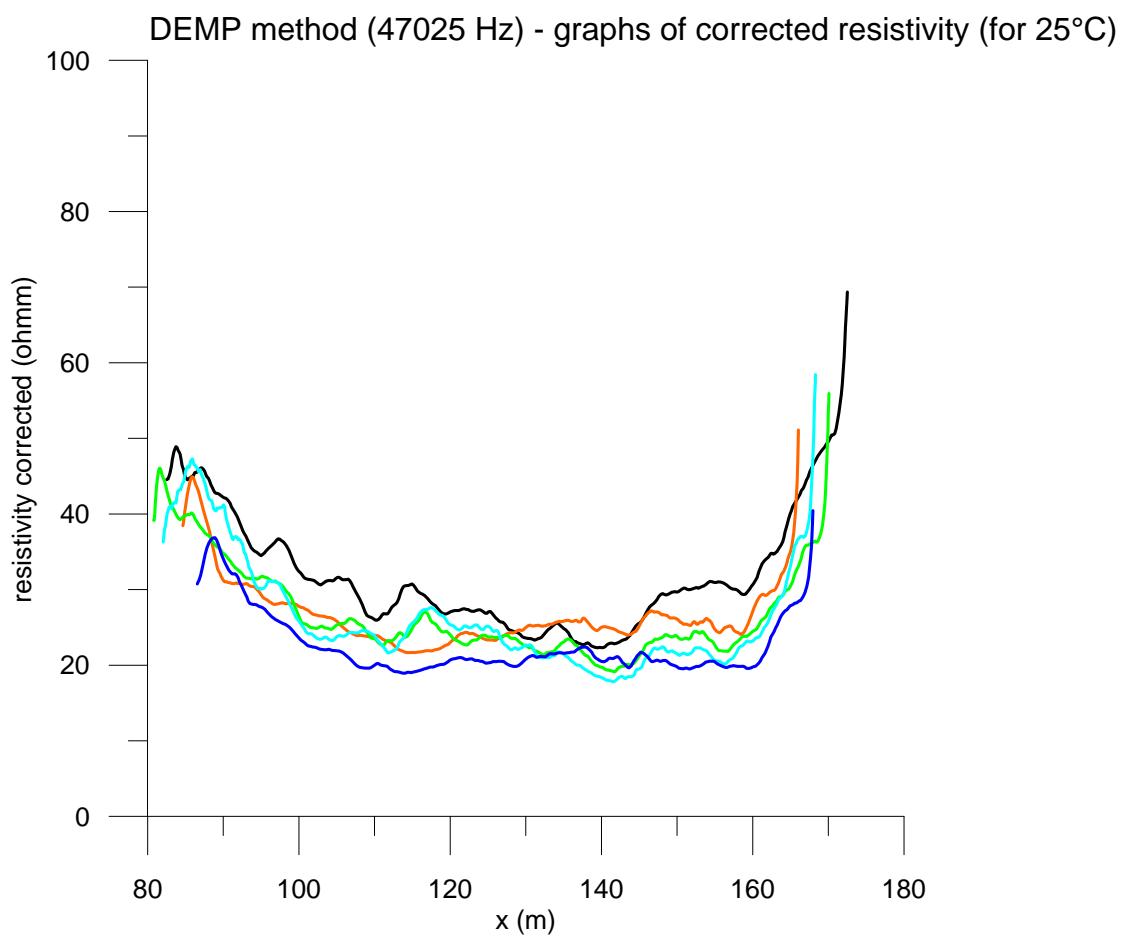
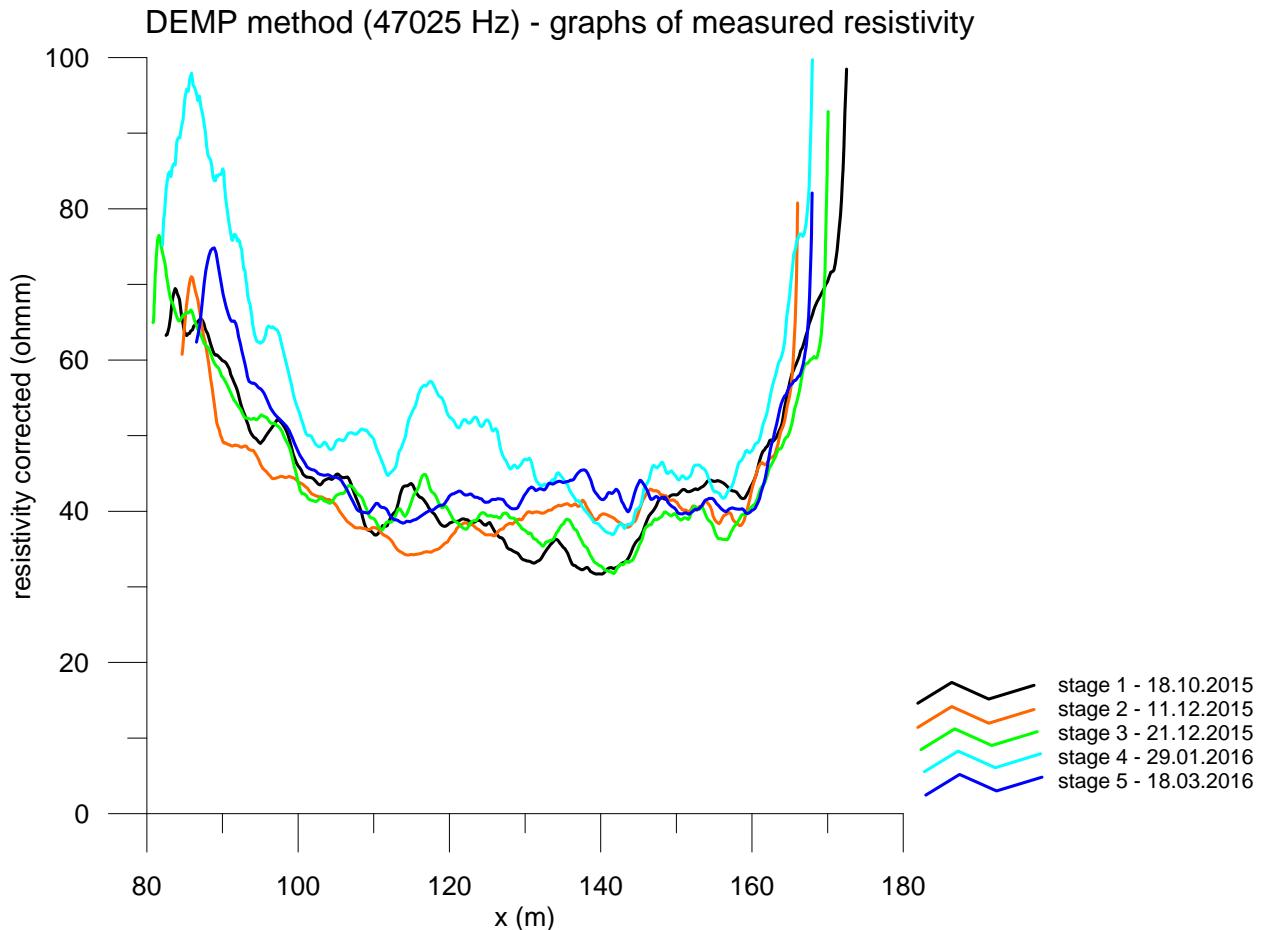


Fig. 3d Overview of DEMP method. Profile P10 - land slope, frequency 13025 Hz.

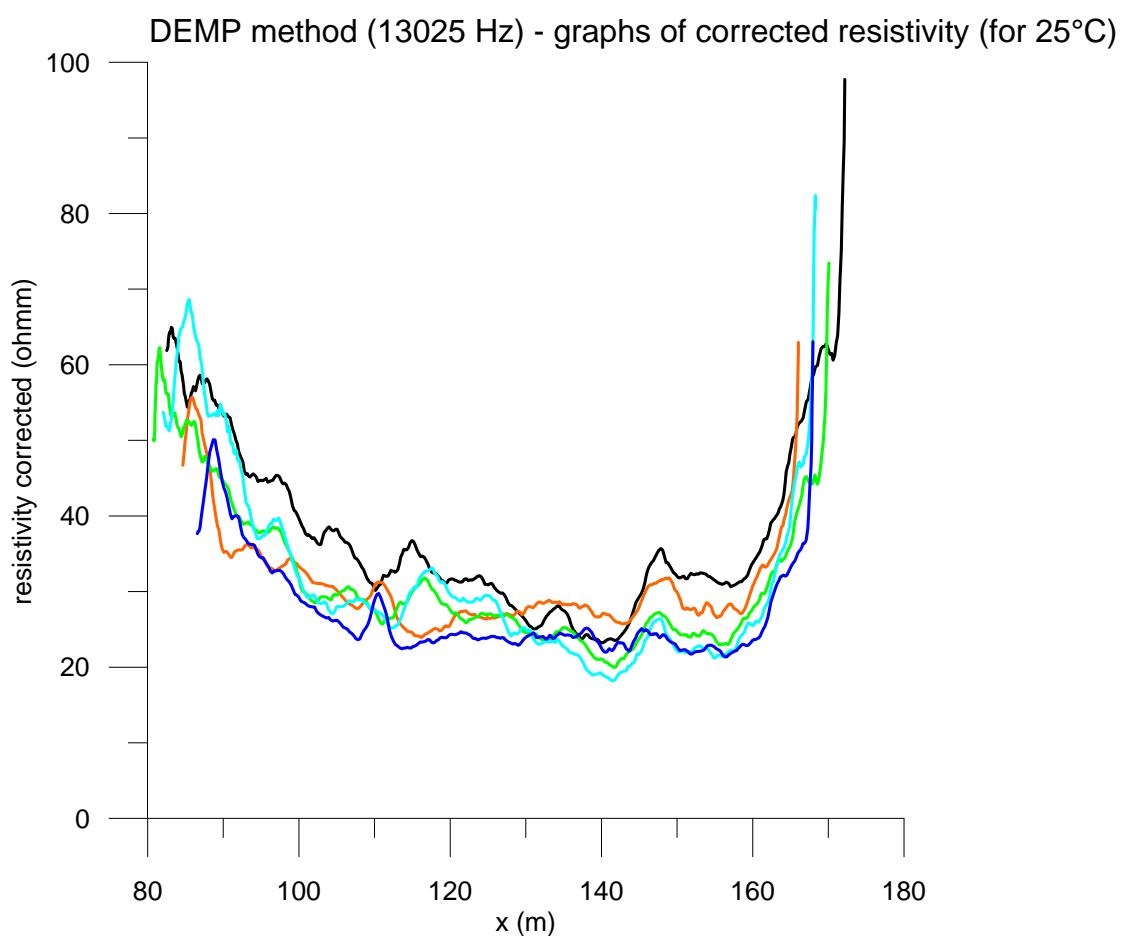
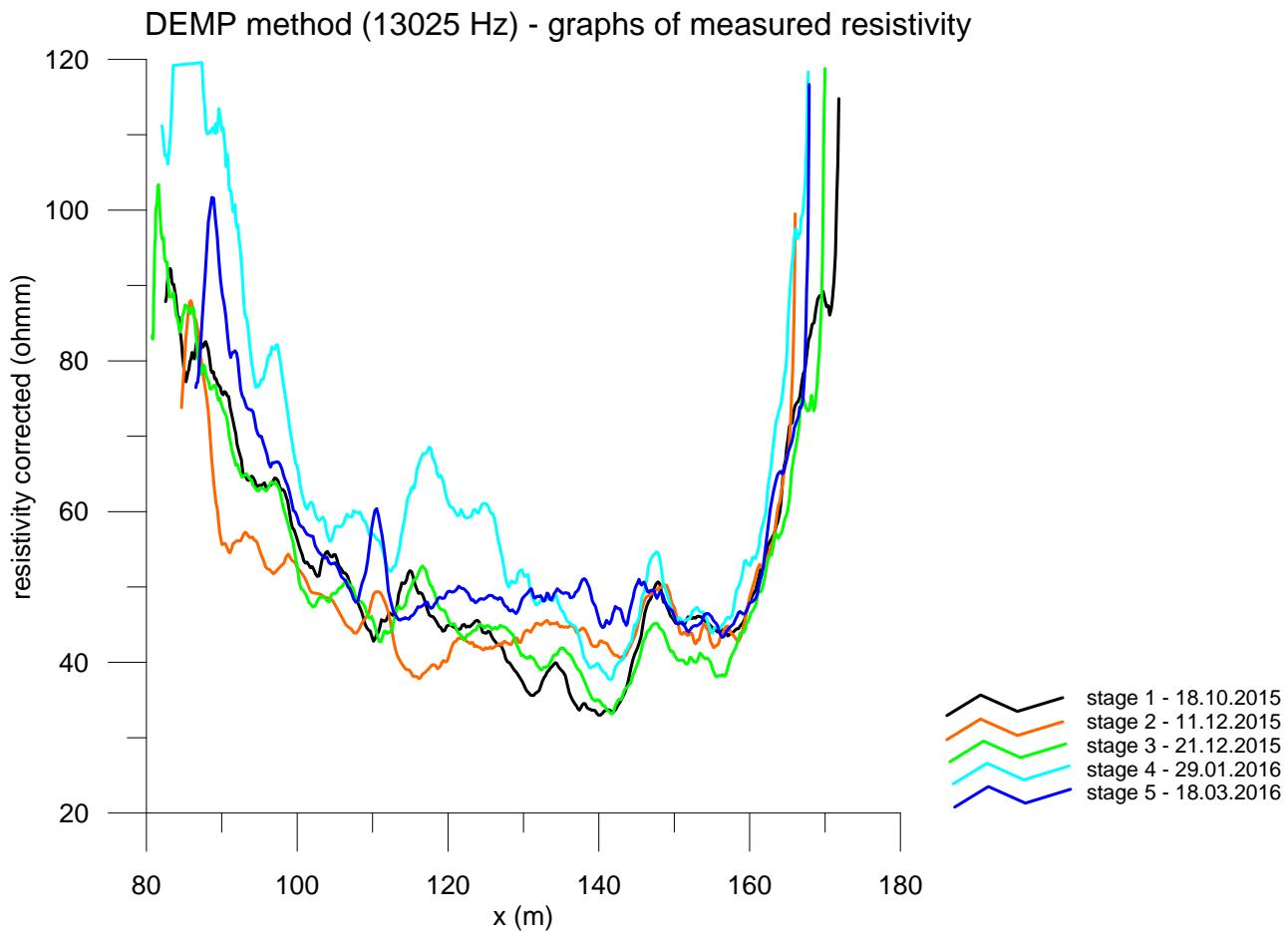


Fig. 3e Overview of DEMP method. Profile P5 and P10 - proportion Ro13025/Ro47025 Hz

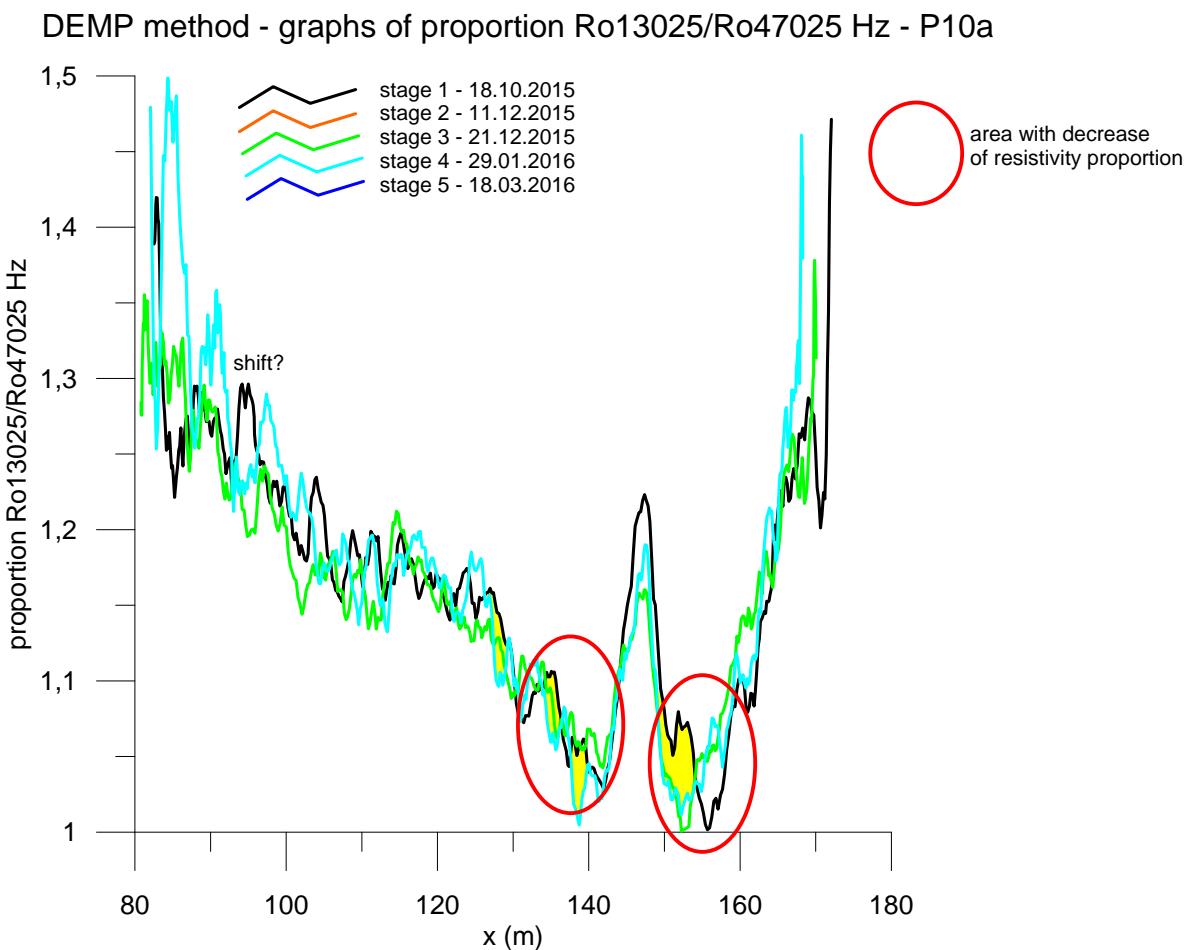
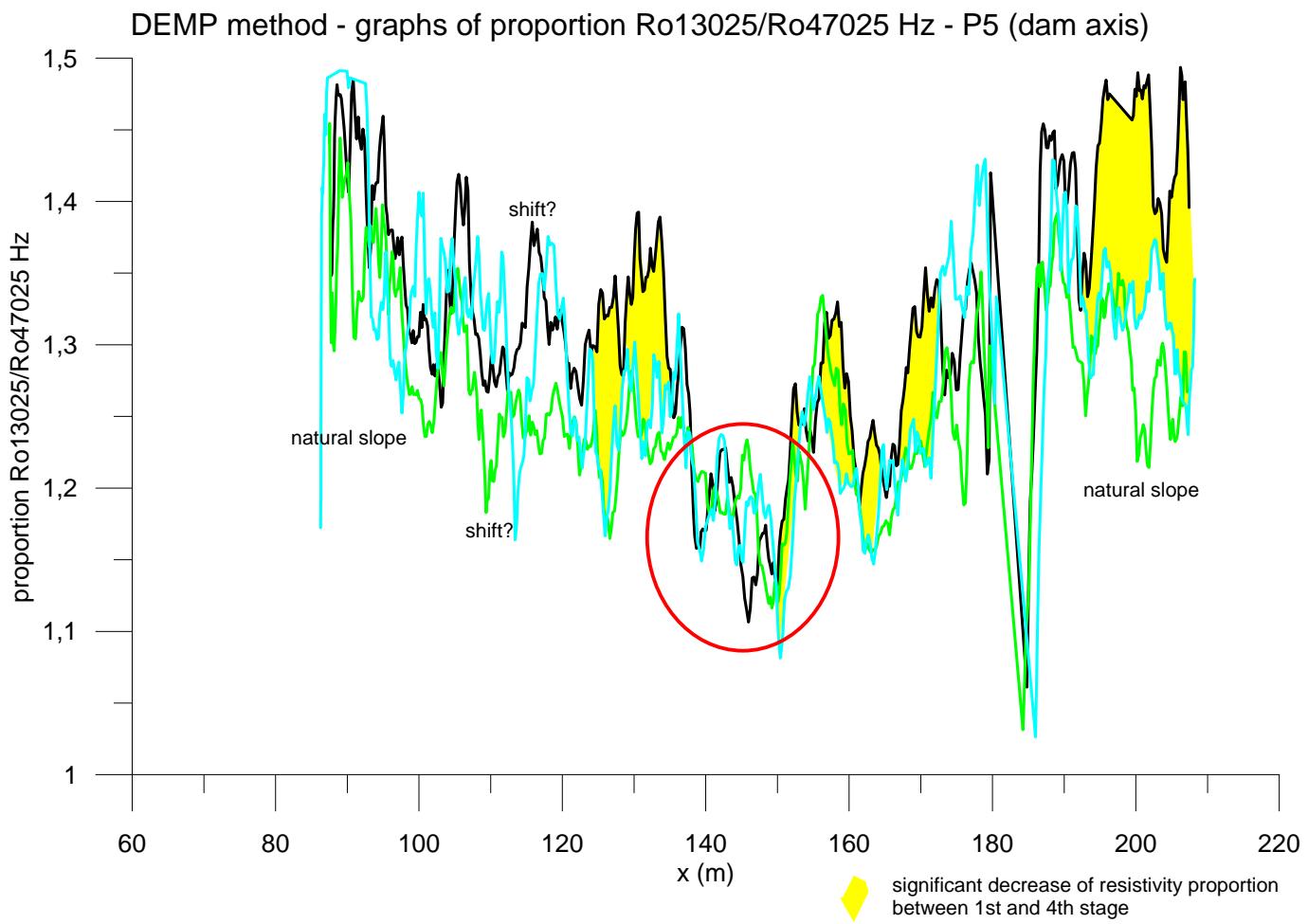


Fig. 4a DEMP method. Profile K129, frequency 47025 Hz.

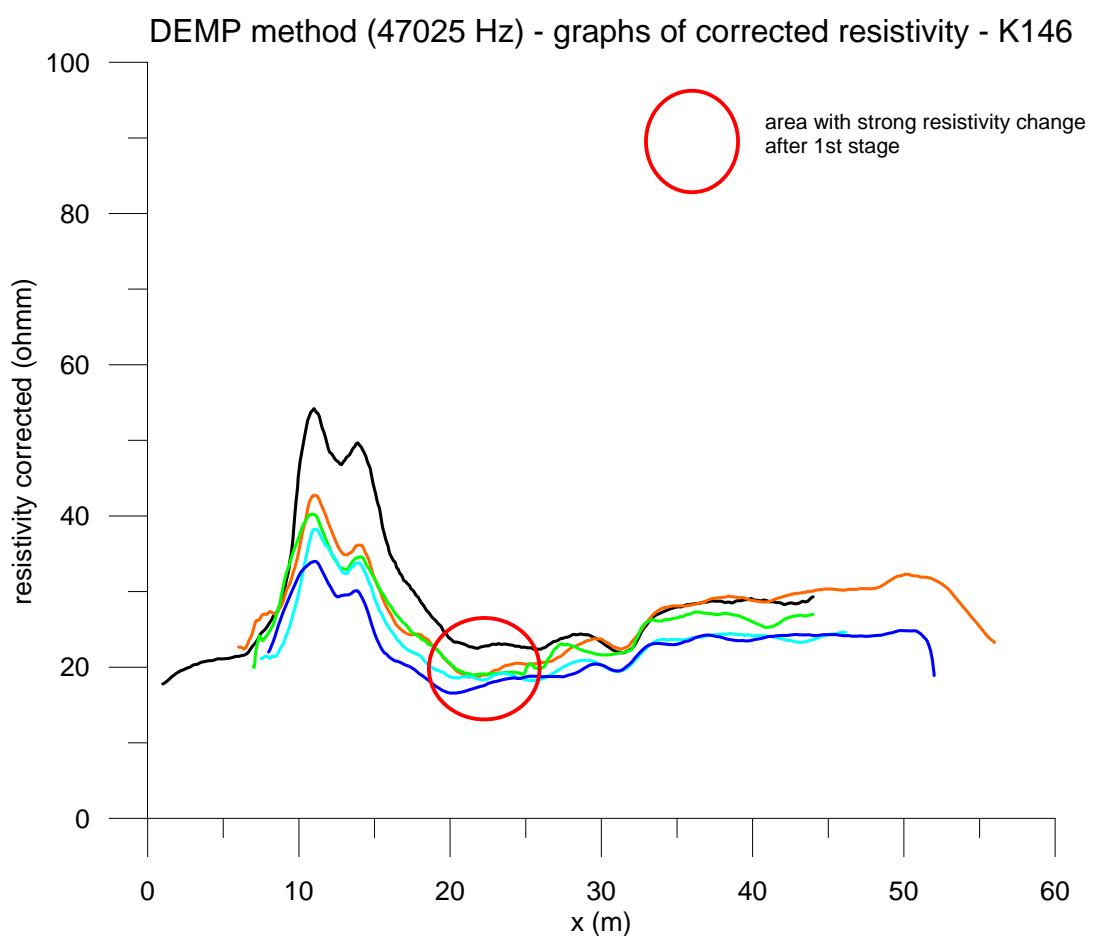
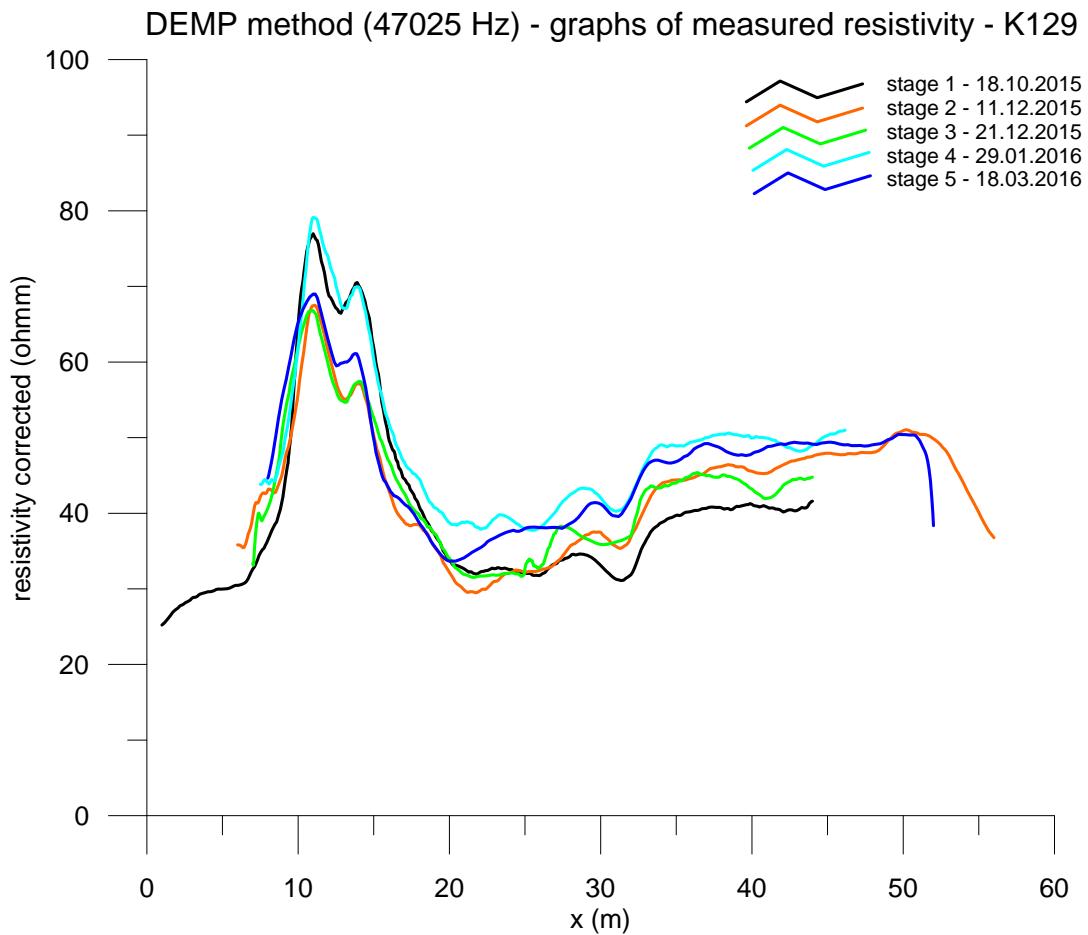


Fig. 4b DEMP method. Profile K129, frequency 13025 Hz.

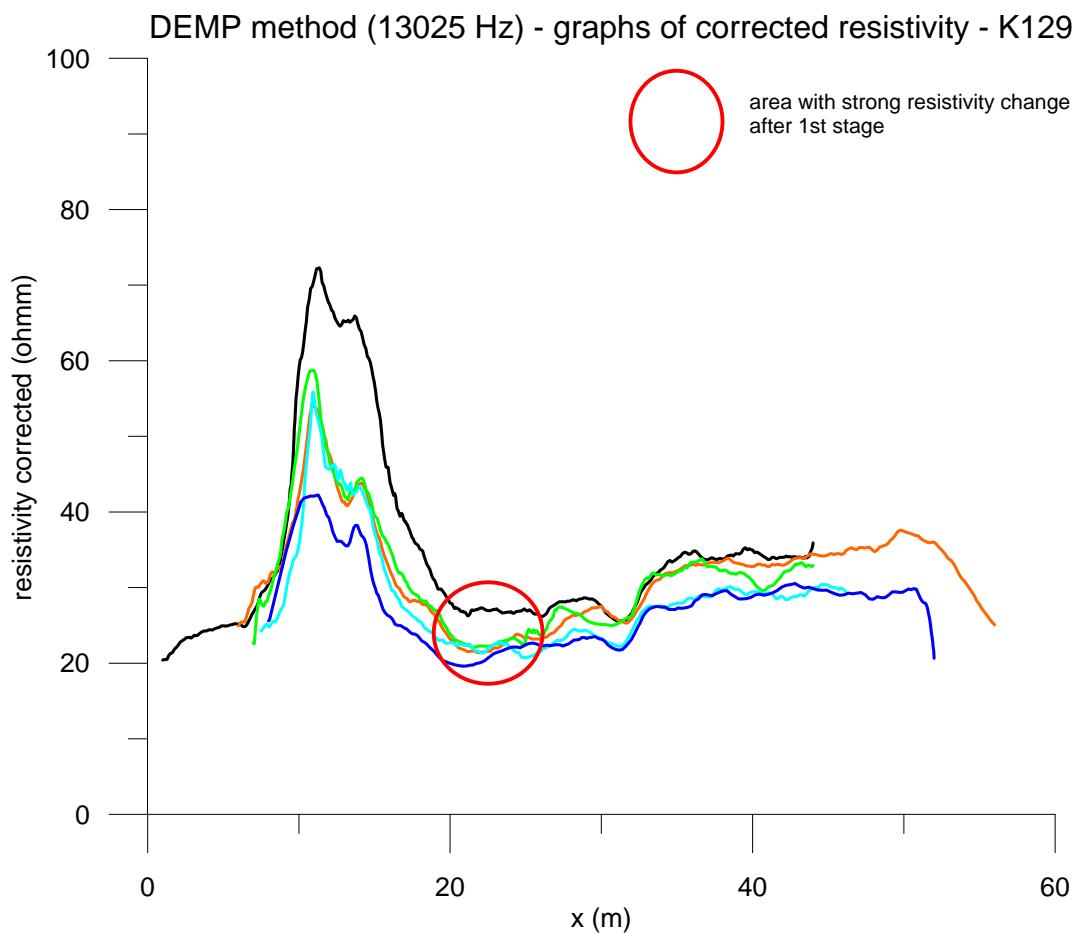
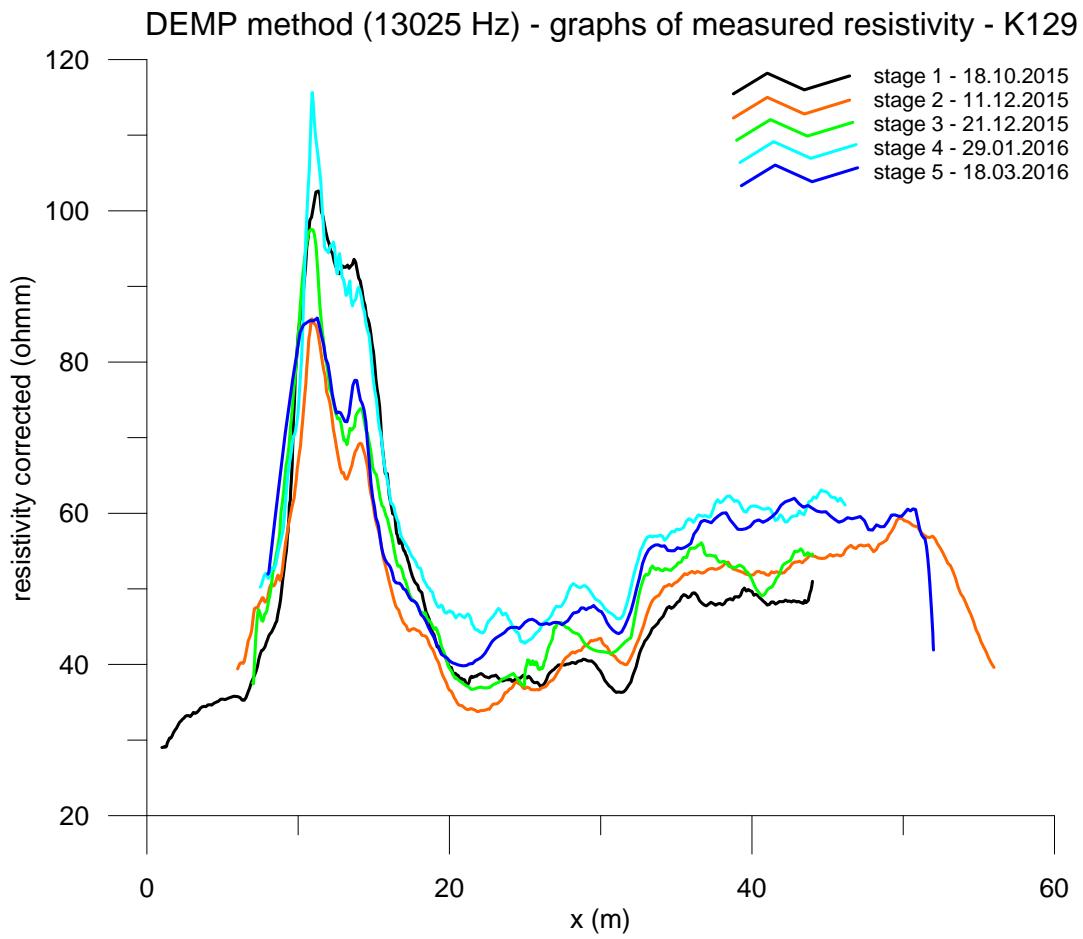


Fig. 4c DEMP method. Profile K146, frequency 47025 Hz.

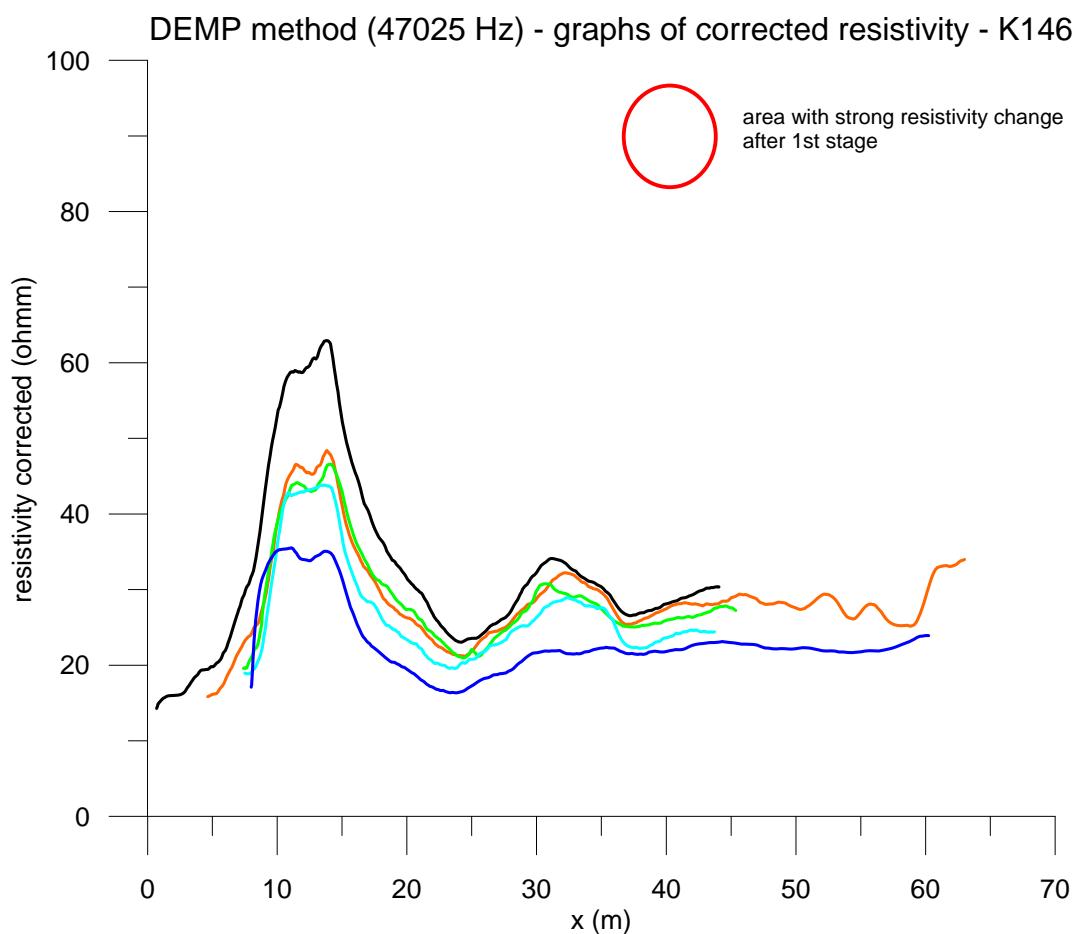
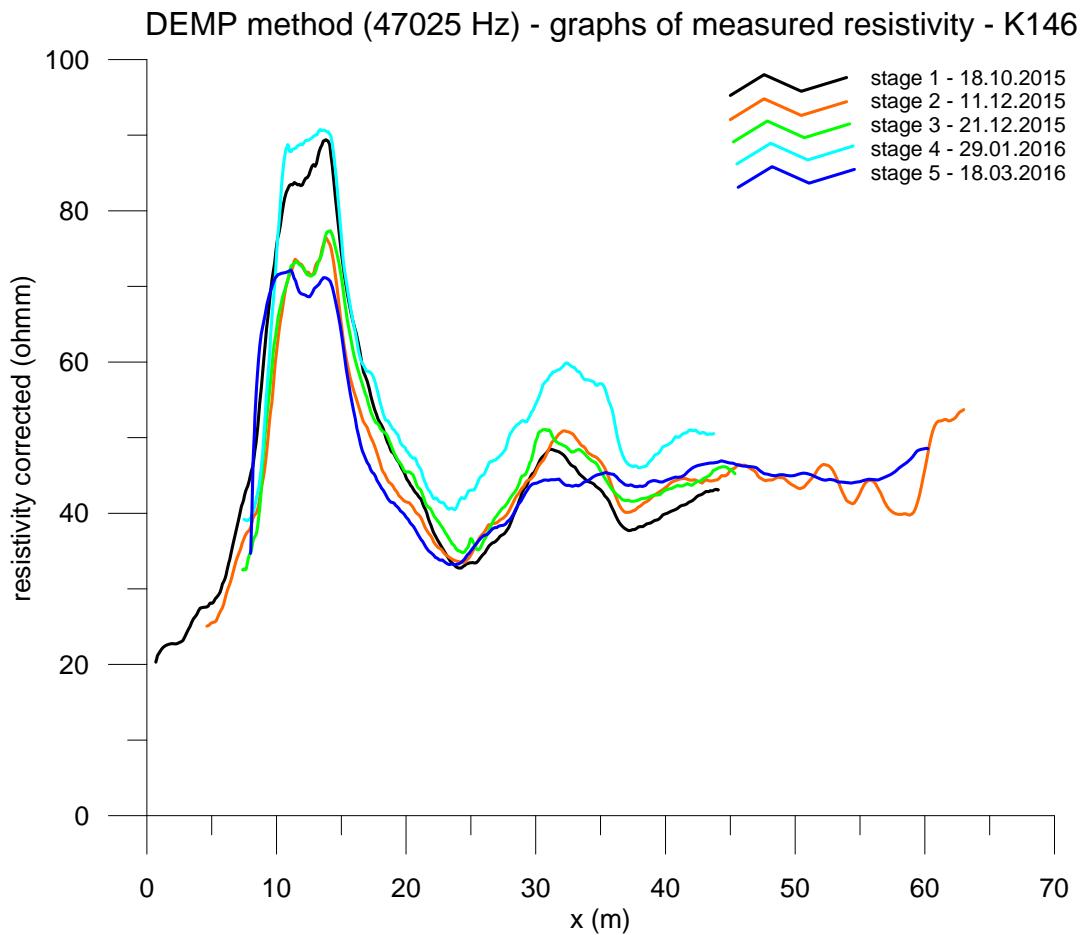


Fig. 4d DEMP method. Profile K146, frequency 13025 Hz.

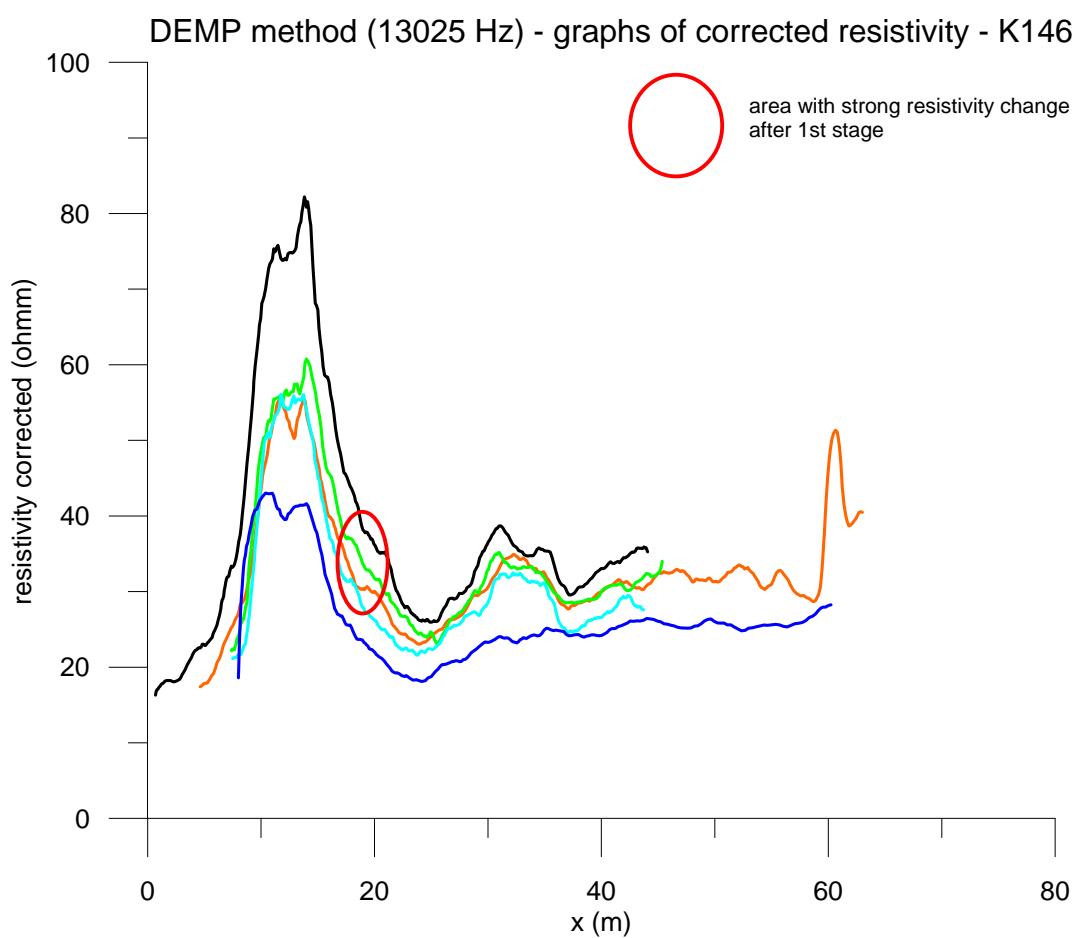
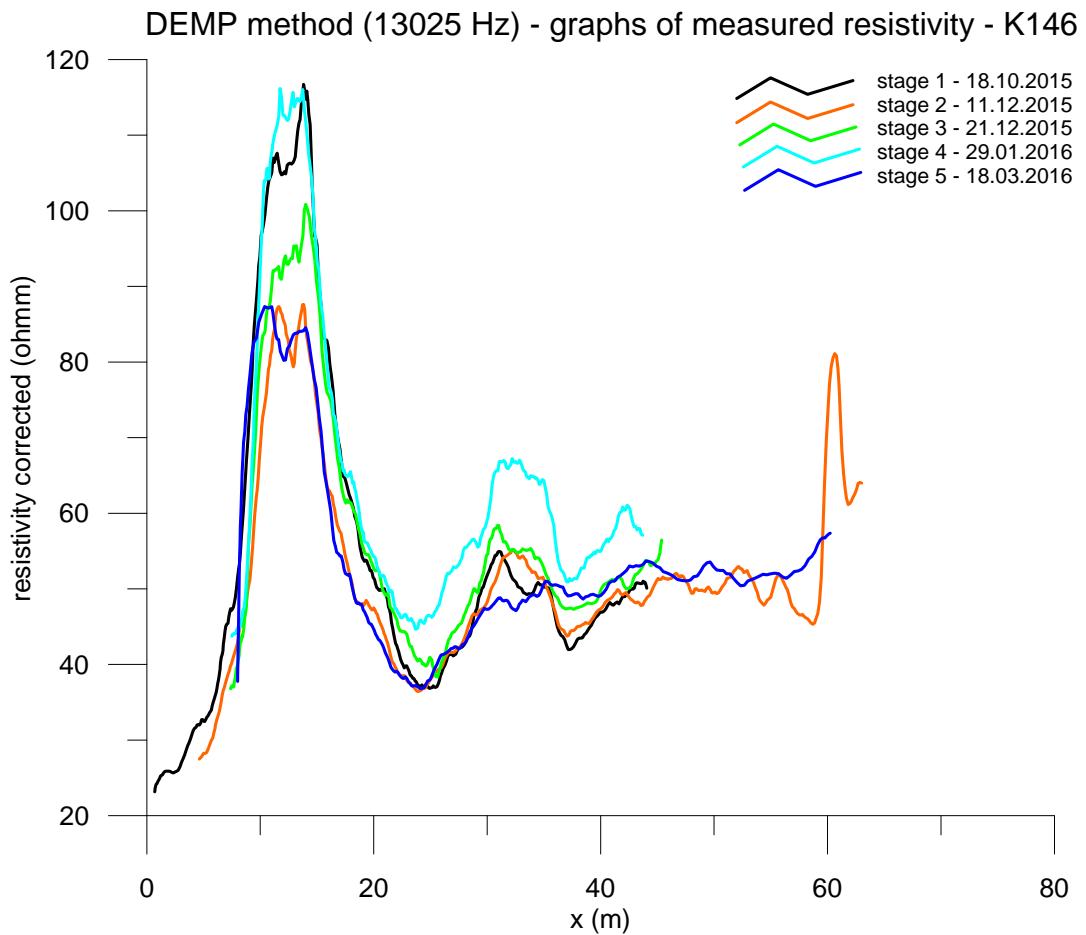


Fig. 4e DEMP method. Profile K169, frequency 47025 Hz.

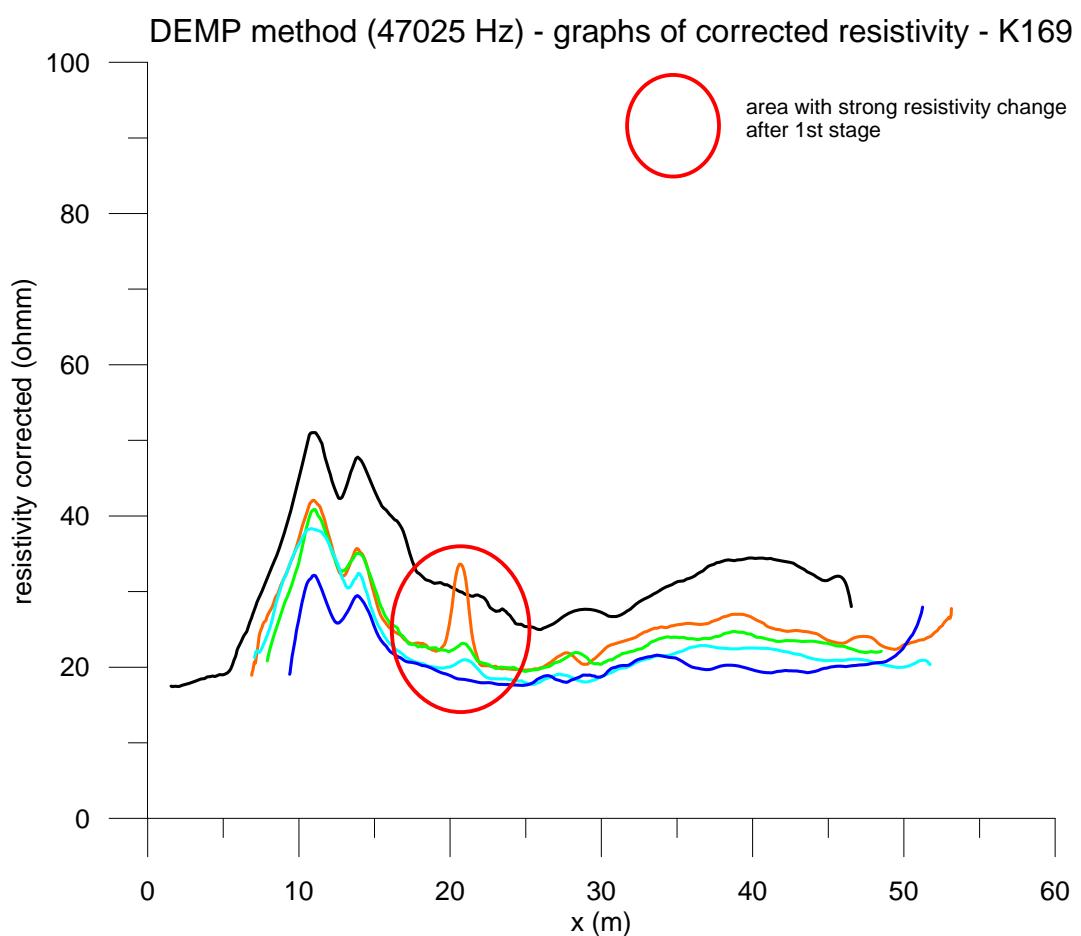
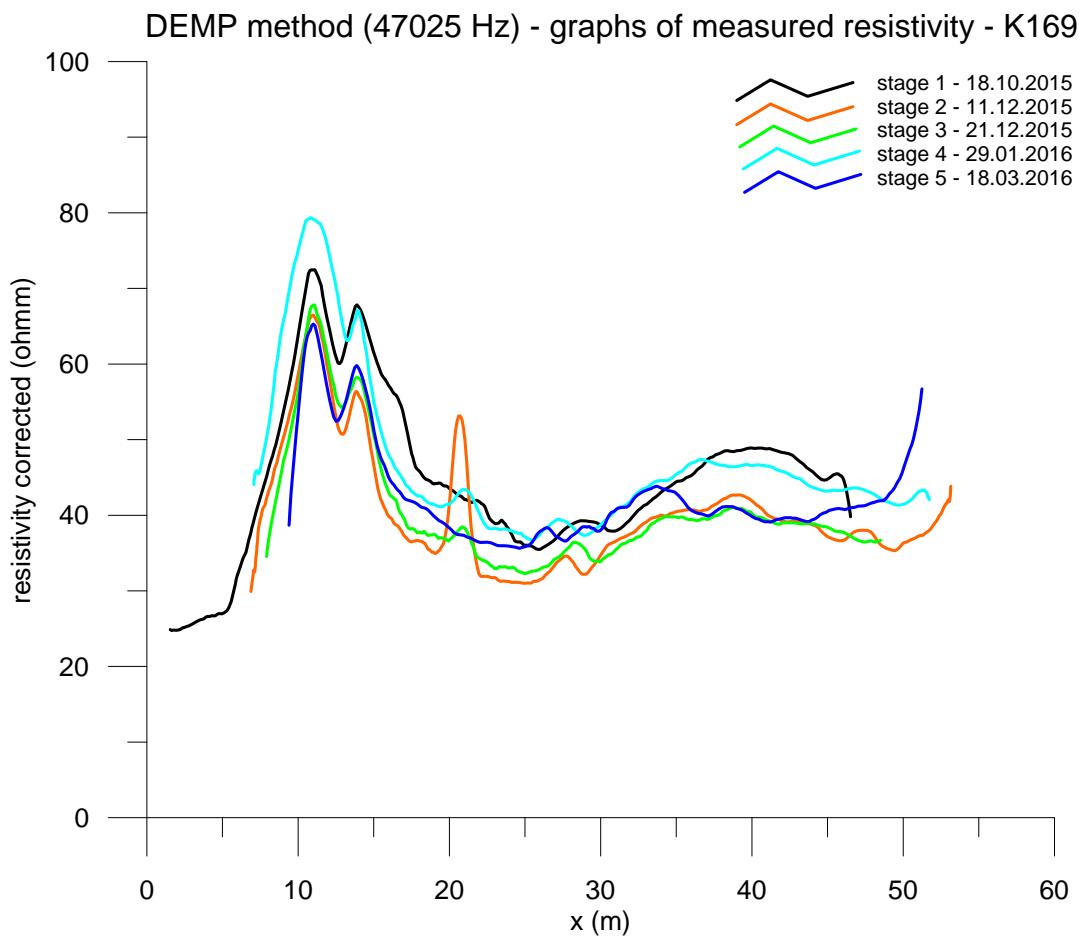


Fig. 4f DEMP method. Profile K169, frequency 13025 Hz.

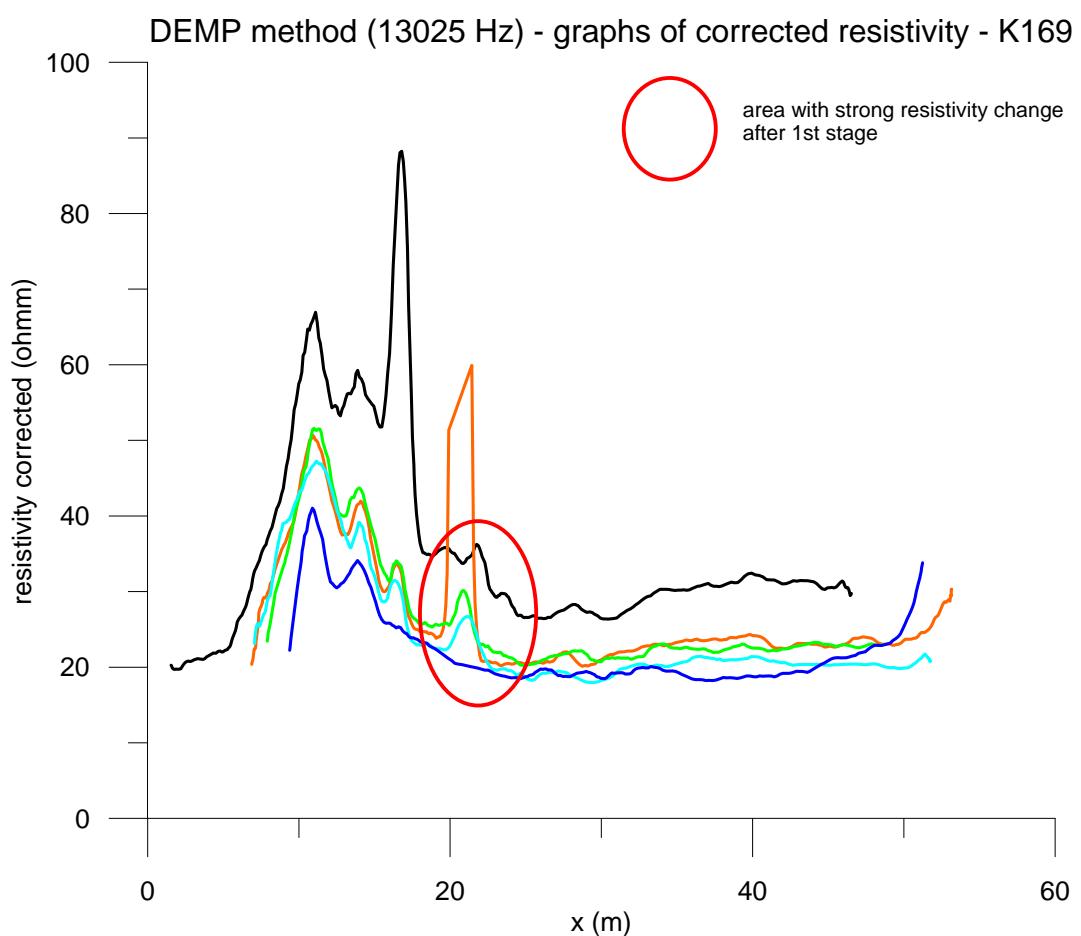
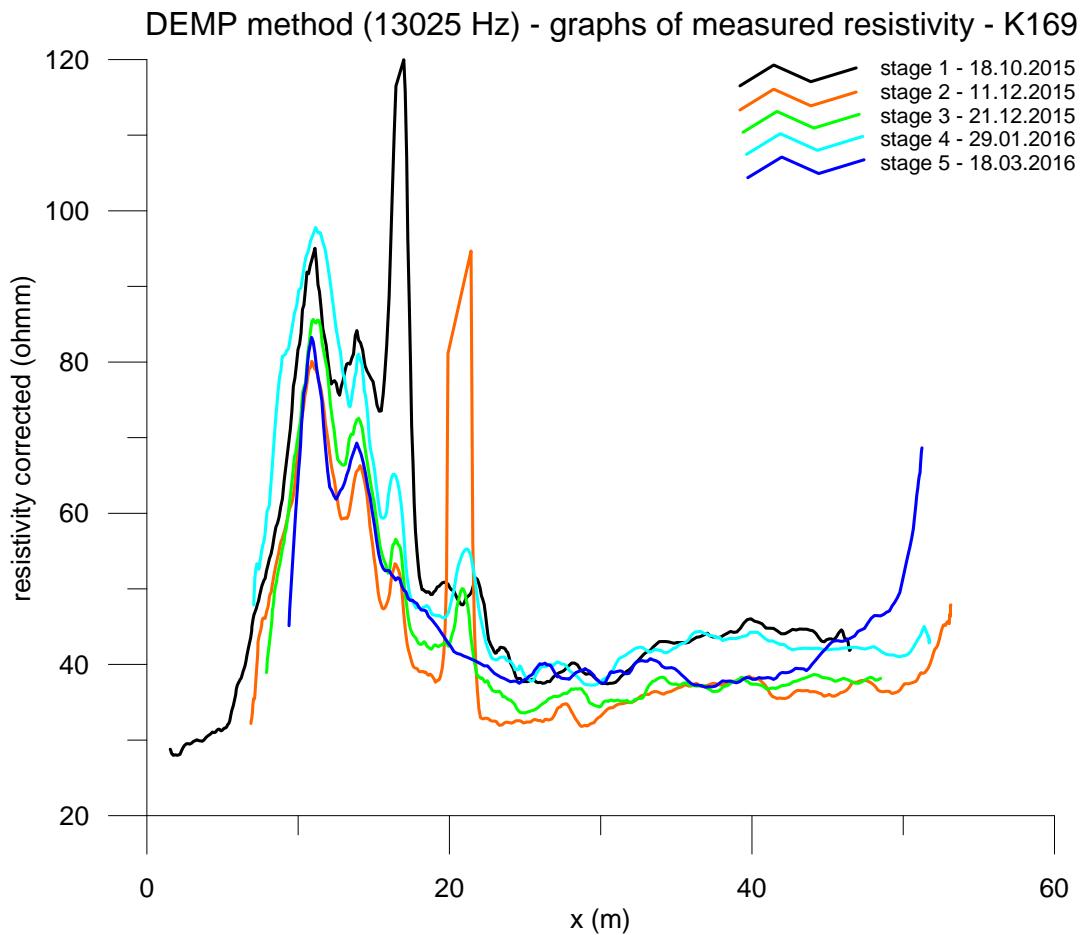


Fig. 4g Overview of DEMP method. Profile K129, 146, 169 - proportion Ro13025/Ro47025 Hz

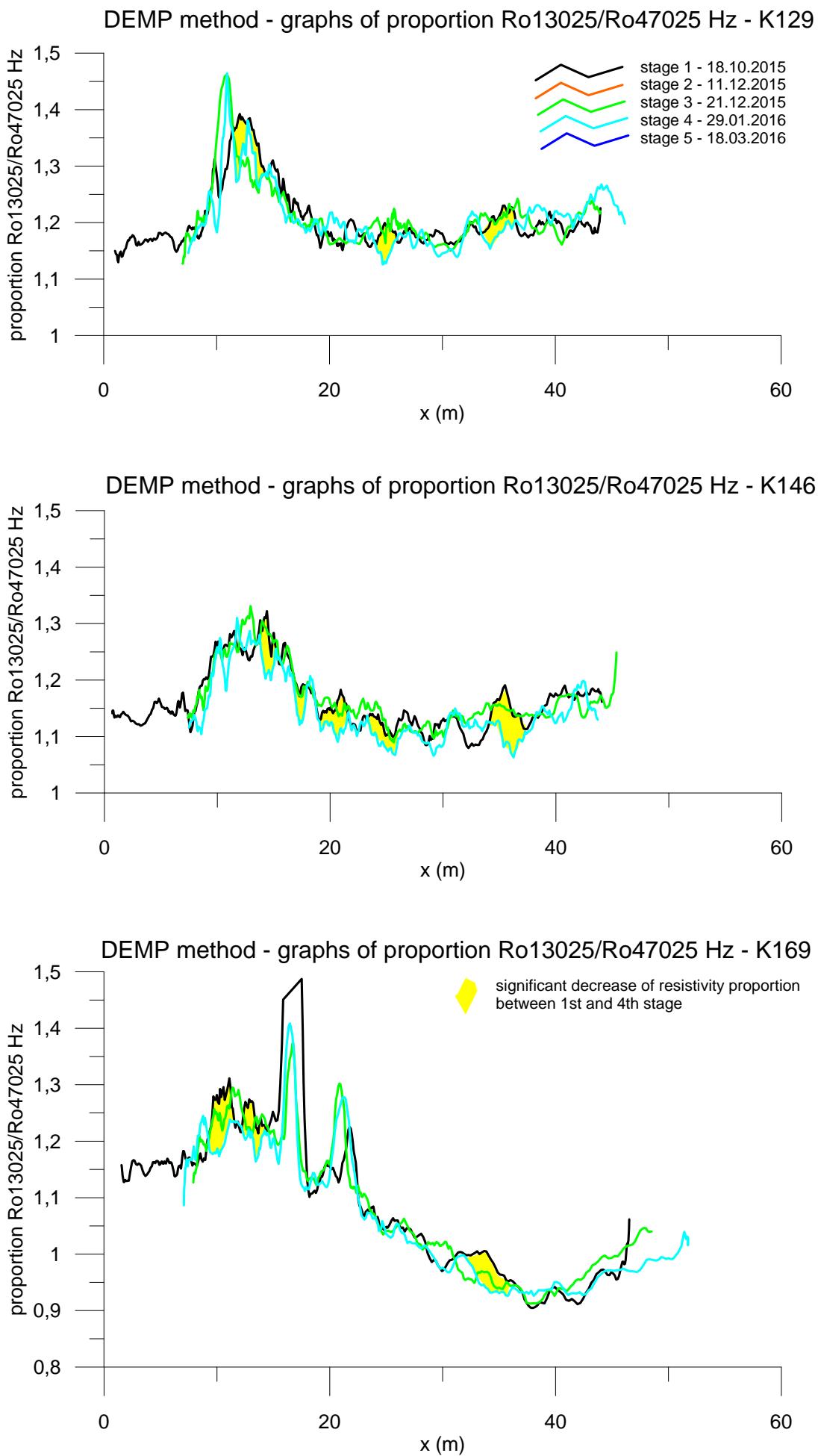


Fig. 5a Overview of resistivity cross-section K146. Measured data.

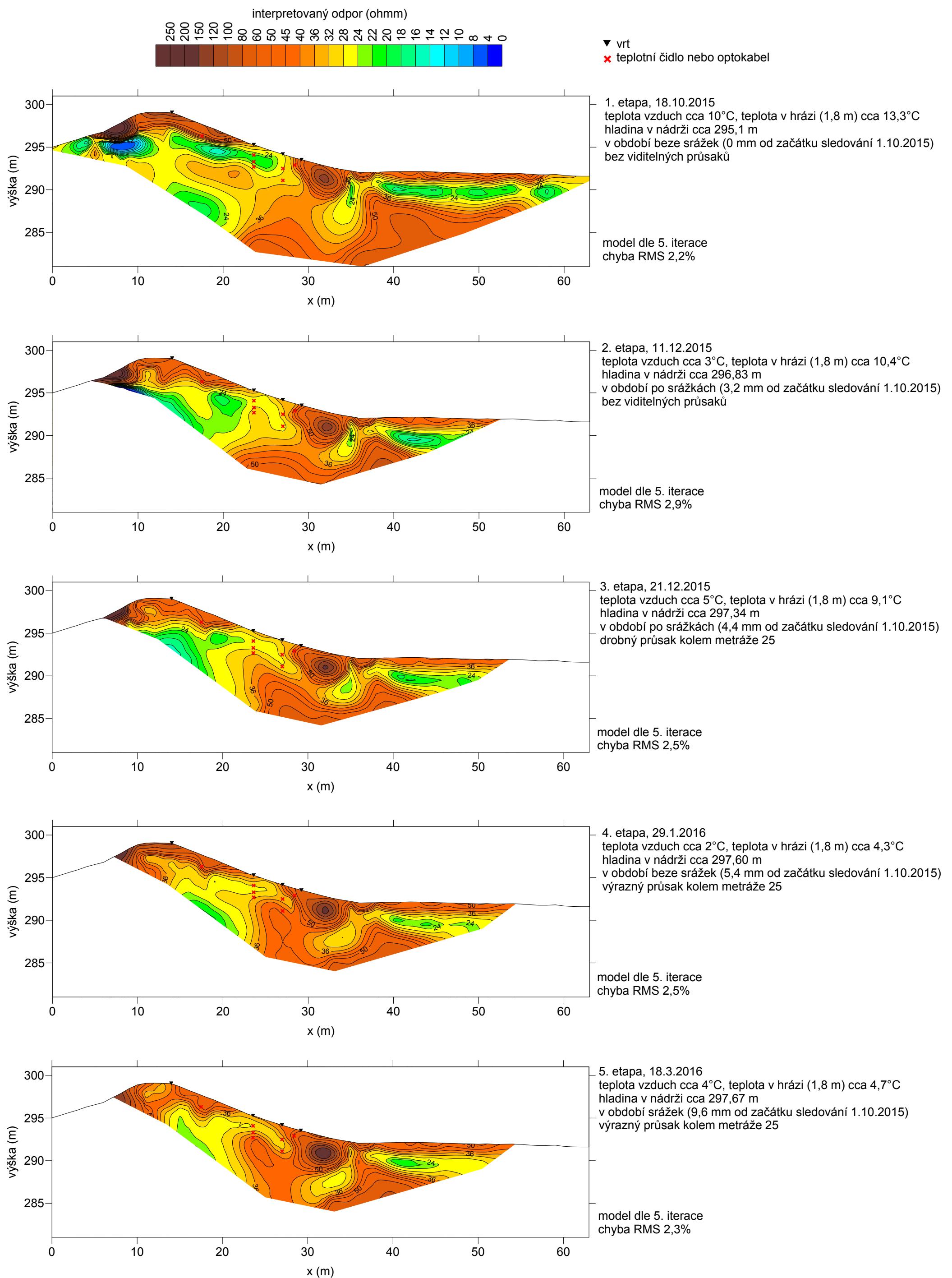


Fig. 5b Overview of resistivity cross-section K146. Corrected data for 25°C.

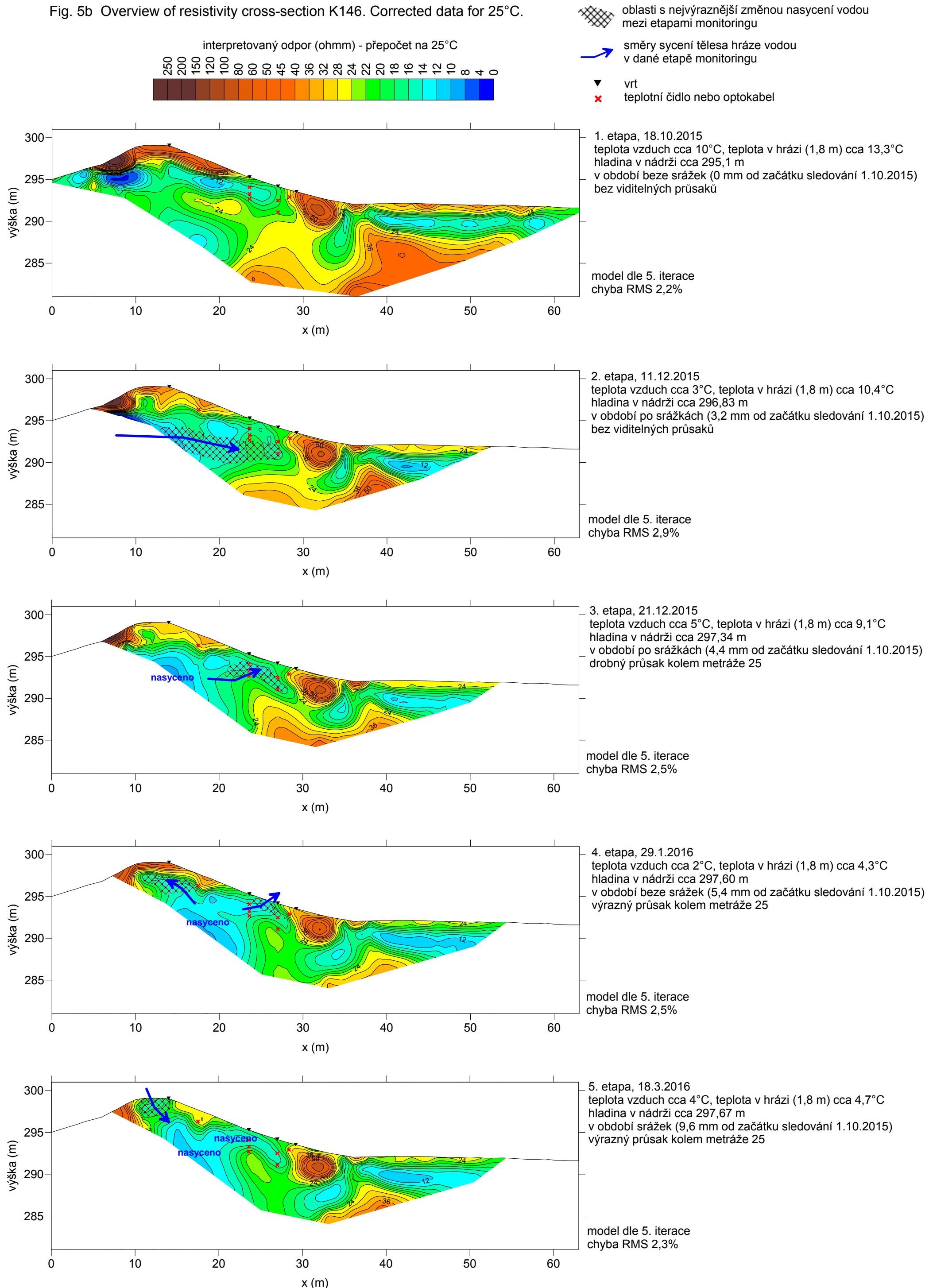


Fig. 6a SP method. Profiles P8 and P25. Graphs of SP potential.

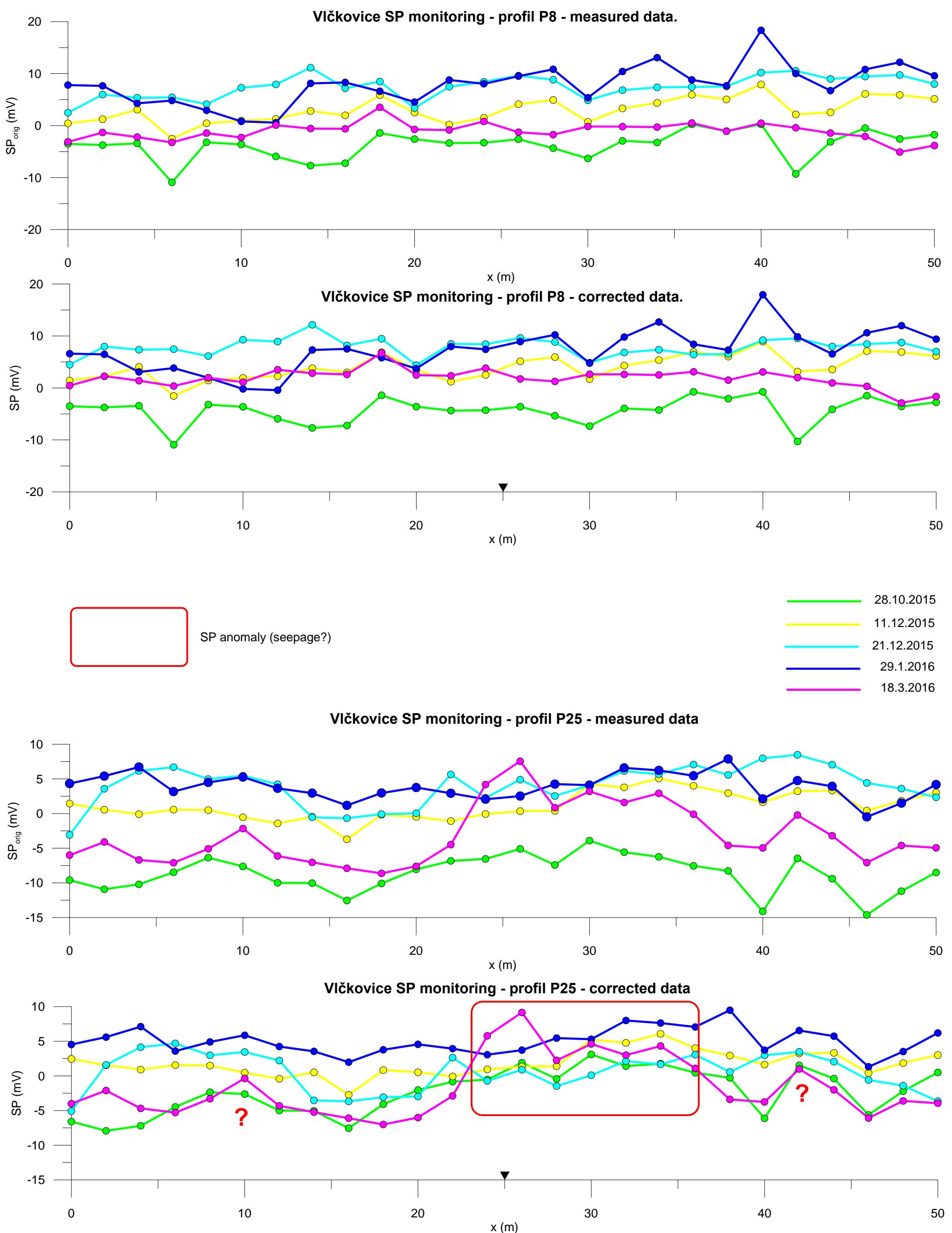
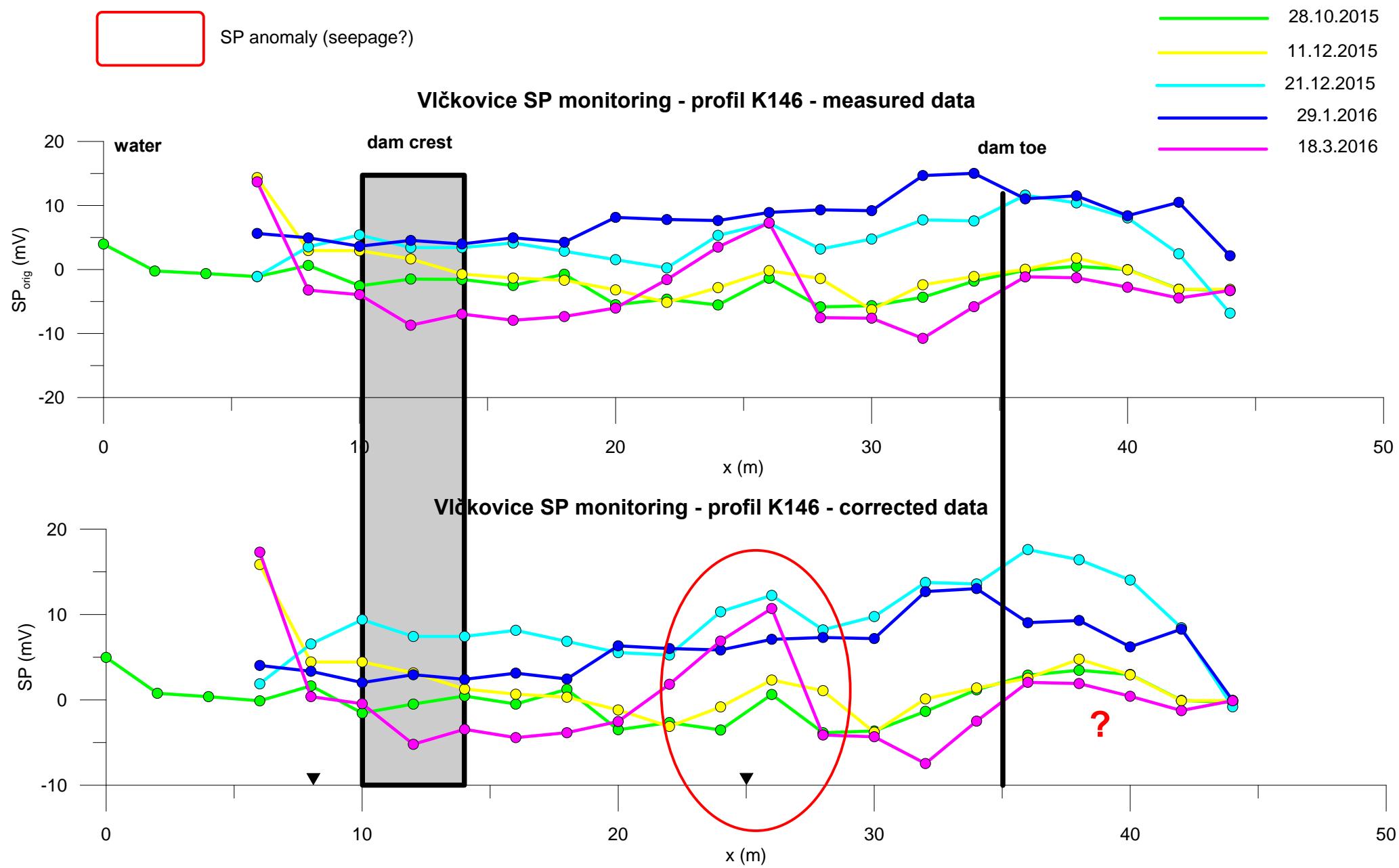


Fig. 6b SP method. Profile K146. Graphs of SP potential.



Obr. 7 Schéma geofyzikálních anomalií

oblast poklesu poměru R13025/R47025 během monitoringu
 oblast celkově sníženého poměru R13025/R47025
 anomálie SP (růst potenciálu SP během monitoringu)
 interpretované směry průsaků hrází

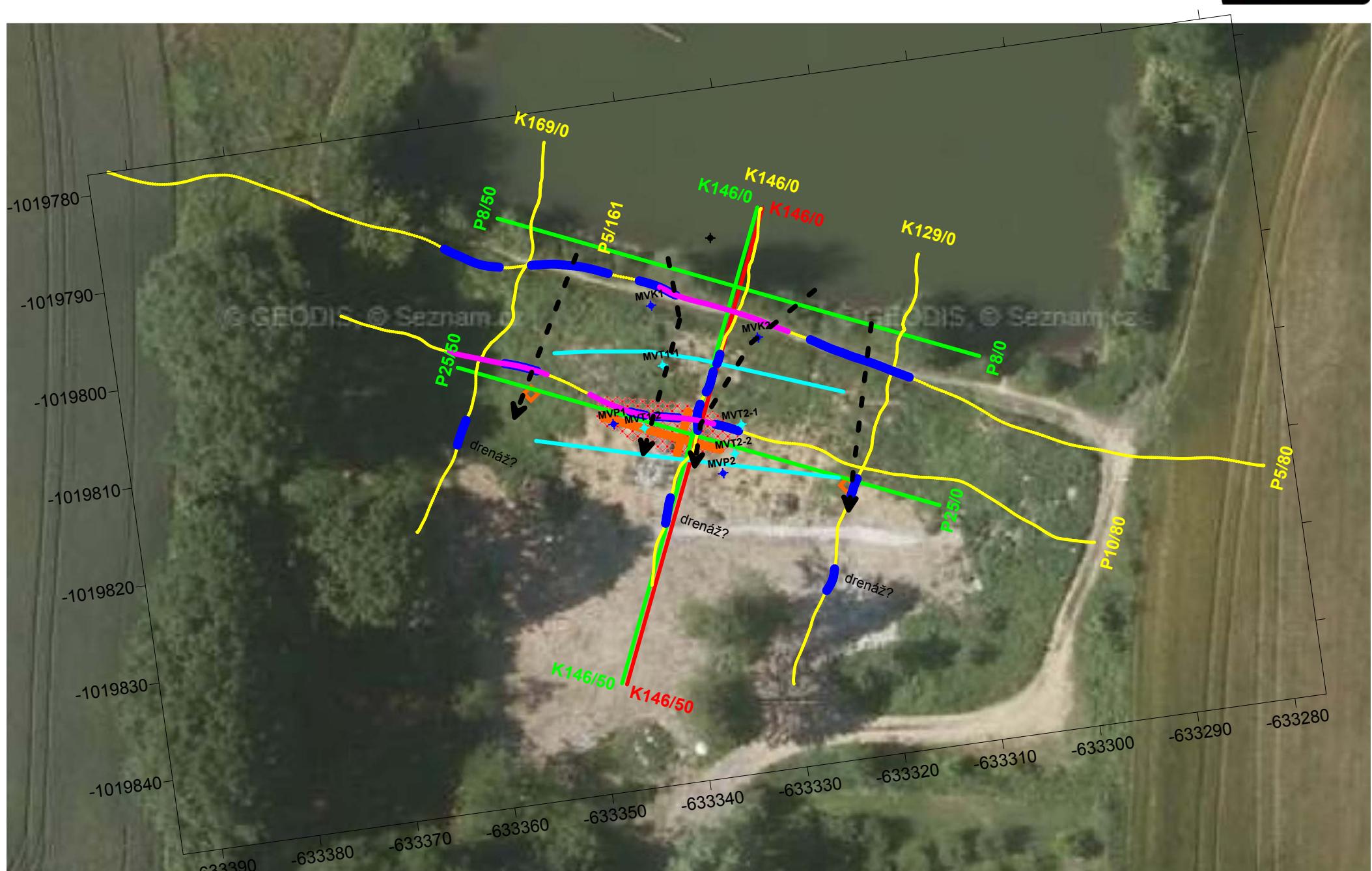
Vysvětlivky: rozsah měření během monitoringu

- profily měřené metodou DEMP
- profily měřené metodou OT
- profily měřené metodou SP
- vrt s hladinoměrem
- vrt s teplotními čidly
- sonda pro měření hladiny v nádrži
- optické vlákno pro měření teploty

interpretovaný rozsah průsaku po 5. etapě monitoringu

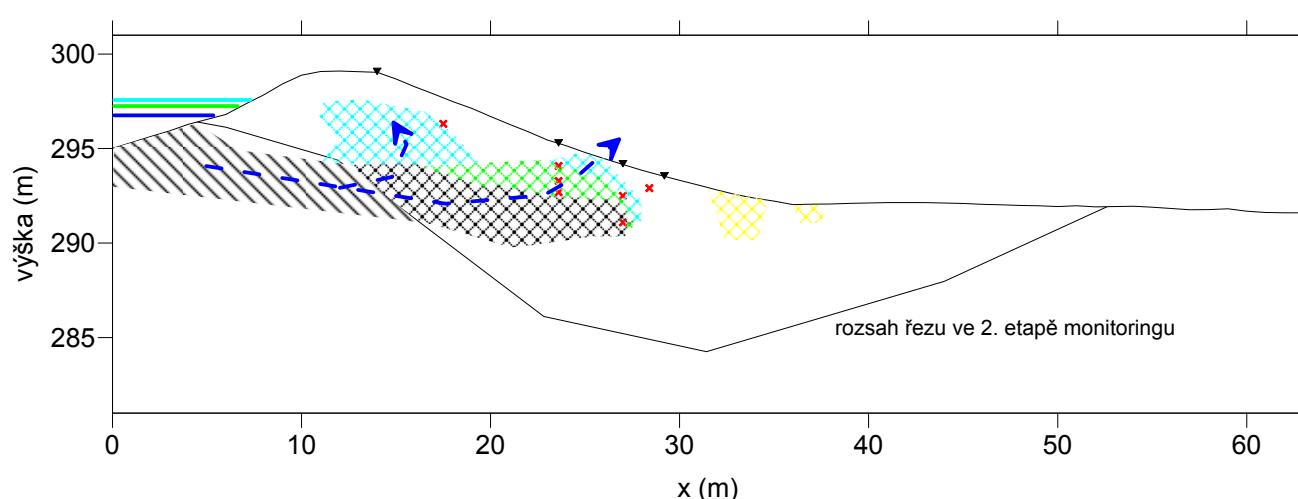
měřítko 1 : 500

Impuls
PRAHA



Vývoj průsaku na profilu K146 dle odporových řezů ERT.

měřítko 1 : 400



nasycení hráze vodou po 2. etapě monitoringu (změna mezi 1. a 2. etapou)

1. etapa, 18.10.2015
hladina v nádrži cca 295,1 m, bez viditelných průsaků

pravděpodobný rozsah nasycení hráze vodou po 2. etapě monitoringu (v místě mimo hloubkový dosah měření ve 2. etapě)

2. etapa, 11.12.2015
hladina v nádrži cca 296,83 m, bez viditelných průsaků

změna nasycení hráze vodou po 3. etapě monitoringu (změna mezi 2. a 3. etapou)

3. etapa, 21.12.2015
hladina v nádrži cca 297,34 m, drobný průsak kolem metráže 25

změna nasycení hráze vodou po 4. etapě monitoringu (změna mezi 3. a 4. etapou)

4. etapa, 29.1.2016
hladina v nádrži cca 297,60 m, výrazný průsak kolem metráže 25

směr šíření průsaku

drén

5. etapa, 18.3.2016
hladina v nádrži cca 297,67 m, po srážkách (průsak z koruny), setrvály stav průsaku kolem metráže 25