

Ověřená technologie určování vodorovných pohybů hrází údolních přehrad pozemní radarovou interferometrií se syntetickou aperturou (GB-SAR)

**Milan Talich, Michal Glöckner, Lubomír Soukup, Filip Antoš,
Jan Havrlant, Ondřej Böhm, Miroslava Závorská, Jakub Šolc**

Obsah

1	Úvod	2
2	Teoretický úvod	2
	2.1 Teorie určení posunu	2
	2.2 Technologie stupnovité vlny	3
	2.3 Teorie lineárního skeneru	4
	2.4 Technologie radarové interferometrie	4
	2.5 Základní rozbor přesnosti	6
3	Přístrojové vybavení a jeho technické parametry	7
4	Obecné zásady a výhody pozemní radarové interferometrie se syntetickou aperturou	8
5	Příprava měření	9
	5.1 Přípravné práce a rekognoskace	9
	5.2 Sledovaná místa a jejich signalizace	9
	5.3 Umístění radaru	9
	5.4 Instalace radaru	10
	5.5 Volba antén a zacílení radaru	10
	5.6 Volba celkové doby měření, jednotlivých etap a intervalů měření jednotlivých snímků	10
6	Měření	11
	6.1 Měření radarem	11
	6.2 Obsluha a údržba radaru při měření	12
	6.3 Doplnková měření	12
	6.4 Výpočty a vyhodnocení výsledků v terénu	12
	6.5 Nebezpečí při měření hrází údolních nádrží	12
7	Zpracování a vyhodnocení měření	13
	7.1 Zpracování měřených externích dat	13
	7.1.1 Zpracování dat měřených totální stanicí	13
	7.1.2 Zpracování měřených dat pro tvorbu DMT	13
	7.1.3 Zpracování dat z měření atmosférických podmínek	14
	7.1.4 Zpracování dat z měření výšky hladiny nádrže	14
	7.2 Zpracování měřených radarových dat	14
	7.2.1 Tvorba výběrové masky	14
	7.2.2 Tvorba PSV souborů	14
	7.2.3 Nastavení výpočetního programu	14
	7.2.4 Založení projektu	15
	7.2.5 Spuštění nahrávání dat	15
	7.2.6 Způsob dokumentace výsledků	15
	7.2.7 Barevná škála	16
	7.3 Vyhodnocení	16
	7.3.1 Identifikace a výběr bodů	16
	7.3.2 Analýza výsledků	16
8	Závěr	17
9	Seznam použité literatury	17
10	Seznam příloh	17

1 Úvod

Tento dokument popisuje ověřenou technologii pro měření vodorovných pohybů hrází údolních přehrad pozemním interferometickým radarem IBIS-L využívající metodu pozemní radarové



Obr. 1: Interferometický radar IBIS-L s lineárním skenerem

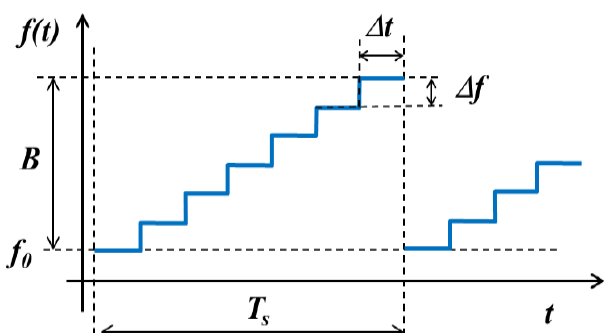
interferometrie se syntetickou aperturou (GB-SAR). Tato inovativní metoda umožňuje měřit současně pohyby jednotlivých pixelů pokrývajících celou plochu hráze a to souvisle, tedy ne jen na osazených koutových odražečích nebo signalizovaných cílech (značkách). Poskytuje tak mapy posunů s velkým prostorovým rozlišením (několika metrů) a vysokou přesností (až 0,1 mm).

S využitím přirozeného odrazu radarového signálu od stěny hráze je možno pohyby měřit bezkontaktní metodou bez nutnosti použití speciálních přípravků. Radarová technologie nezávisí ani na vnějším osvětlení, a proto je možno měřit bez přerušení dnem i nocí za téměř jakéhokoli počasí, kdy pouze silná bouře doprovázená velmi silným deštěm či sněžením může zapříčinit sníženou kvalitu měření.

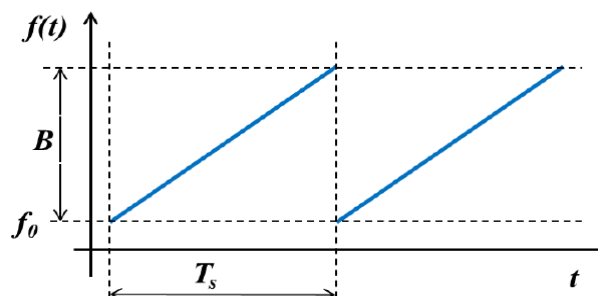
2 Teoretický úvod

2.1 Teorie určení posunu

Radar je elektronický přístroj umožňující identifikaci, zaměření a určení vzdáleností objektu od měřicího aparátu. Radar IBIS-L využívá technologie **souvislé frekvenční stupňovité vlny** (angl. stepped-frequency continuous wave, zkráceně SF-CW), **lineárního skeneru s 2 m dlouhou drahou** (angl. Linear scan) a **diferenční interferometrie** (angl. differential interferometry).



Obr. 2: Stupňovitá vlna



Obr. 3: Průběžná vlna

2.2 Technologie stupňovité vlny

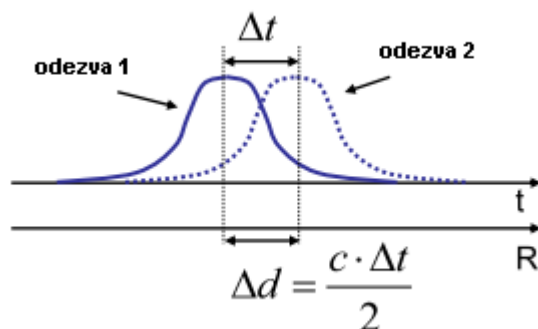
Technologie souvislé frekvenční stupňovité vlny slouží k určení vzdálenosti cílového objektu od radaru. Mikrovlnné frekvence jsou vysílány ve velmi krátkých impulzech o velkém výkonu. Vzdálenost detekovaných předmětů je určována na základě časové korelace vyslaného a přijímaného signálu. Využitím této technologie radar IBIS vytváří jednorozměrný obraz, nazývaný **radiální profil odrazivosti**. Cíle v snímaném území jsou rozděleny do **radiálních spádových oblastí** s konstantním rozpětím nezávislým na vzdálenosti, který lze nazvat **radiální rozlišení ΔR** . Vzdálenost je určena vztahem

$$R_0 = \frac{cT_0}{2}$$

kde T_0 představuje opoždění odezvy. Koncept radiálního rozlišení vyjadřuje vztah

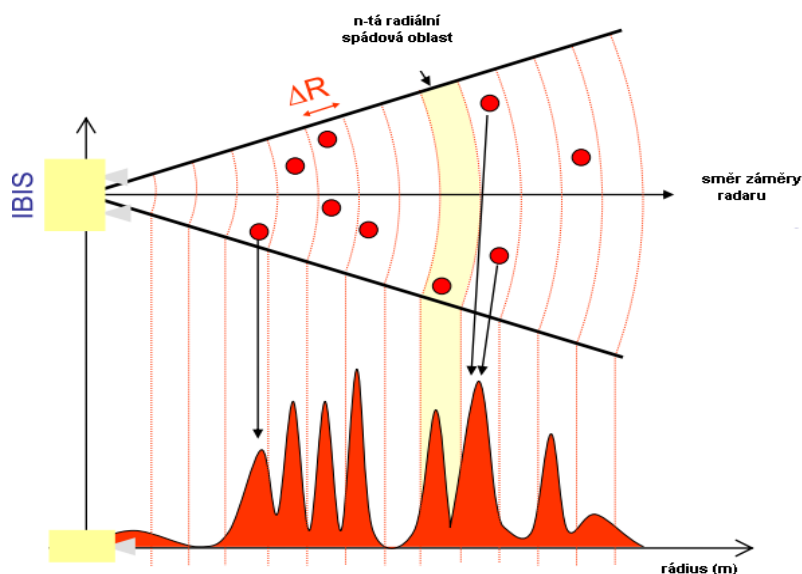
$$\Delta R = \frac{c\tau}{2}$$

kde τ je doba trvání vyslaného impulsu. Radar je tedy schopen rozeznat různě vzdálené cíle za předpokladu, že $\Delta t > \tau$ a tudíž $\Delta d > \Delta R$. Radiální rozlišení je proto limitováno dobou trvání vyslaného impulsu.



Obr. 4: Radiální rozlišení radaru (Δd)

Na obrázku 4 je znázorněn radiální profil odrazivosti, generovaný radarem IBIS-S. Osa x znázorňuje radiální vzdálenost od radaru. Radar typu IBIS dokáže rozlišovat detekované objekty jen v jednom rozměru, a to ve směru záměry. Nachází-li se více cílových objektů v jedné radiální



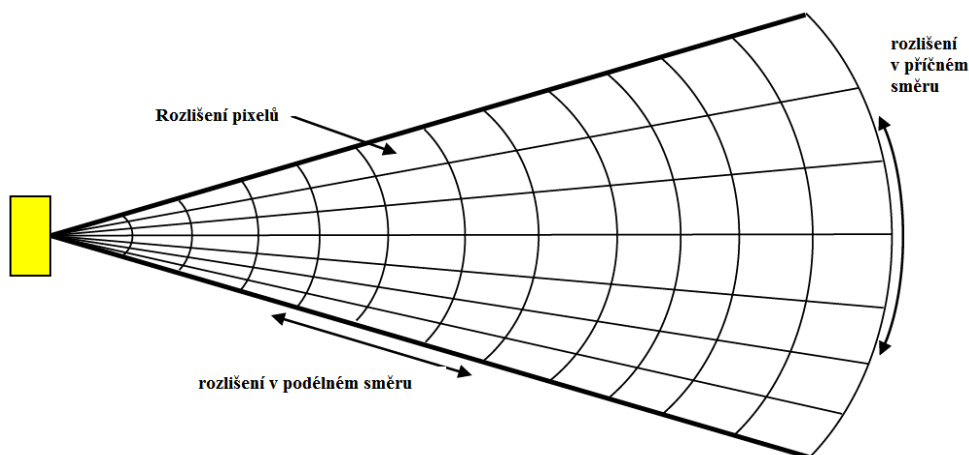
Obr. 5: Skládání odrazů od více objektů

spádové oblasti nelze je od sebe odlišit a posuny měřené na jednotlivých objektech se ve výsledku průměrují. Osa y vyjadřuje poměr přijatého signálu k šumu (anglicky „*signal to noise ratio*“ = *SNR*“).

2.3 Teorie lineárního skeneru

Rozlišení radaru IBIS-L v příčném směru je dané mechanickým lineárním pohybem radaru po 2 m dlouhé dráze, čímž vzniká potřebná syntetická apertura. Dále velikostí vrcholového úhlu, která je 4,3 mrad. Kombinace rozlišení v podélném (ve směru záměry, angl. Line of sight, zkr. LOS) a příčném směru určuje velikost pixelů do následujících rozměrů:

- a) rozlišení v podélném směru: **0,75 m**
- b) rozlišení v příčném směru: **4,3 mrad** x vzdálenost



Obr. 6: Rozlišení mřížky IBIS-L

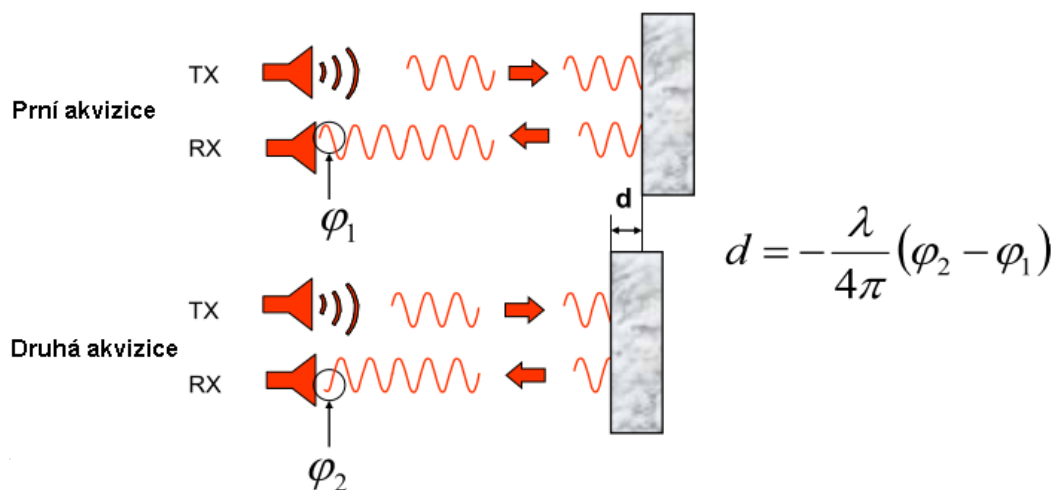
Obsahem každého pixelu je:

- a) Amplituda odraženého signálu, závislá na odrazivosti předmětu.
- b) Fáze odraženého signálu, závislá na vzdálenosti mezi radarem a pixelem.

Zobrazené mapy jsou potom v kartézském systému (x,y) , ve kterém rozlišení jejích pixelů neodpovídá rozlišení pixelů měřených dat. Aby bylo možno nastavit správnou mřížku kartézského systému je třeba, aby rozlišení této mřížky bylo větší než pixely originálního snímku měřených dat. Rozlišení snímků měřených dat je 0,75 m x (4,3 mrad x vzdálenost (h)) a rozlišení kartézského systému je čtvercové (např. 1 m x 1 m).

2.4 Technologie radarové interferometrie

Metoda radarové diferenční interferometrie poskytuje údaje o posunech objektů porovnáváním fázové informace, získané v různých časových obdobích z vln odražených od objektů. Tento princip je patrný z obrázku 7. Každá odražená vlna z každé spádové oblasti nese informace o amplitudě $|I(n)|$ a fázi φ_n . Radar IBIS je schopen vyhodnotit posunutí pro každou spádovou oblast. Kvalita vyhodnoceného posunu je úměrná množství odraženého signálu.



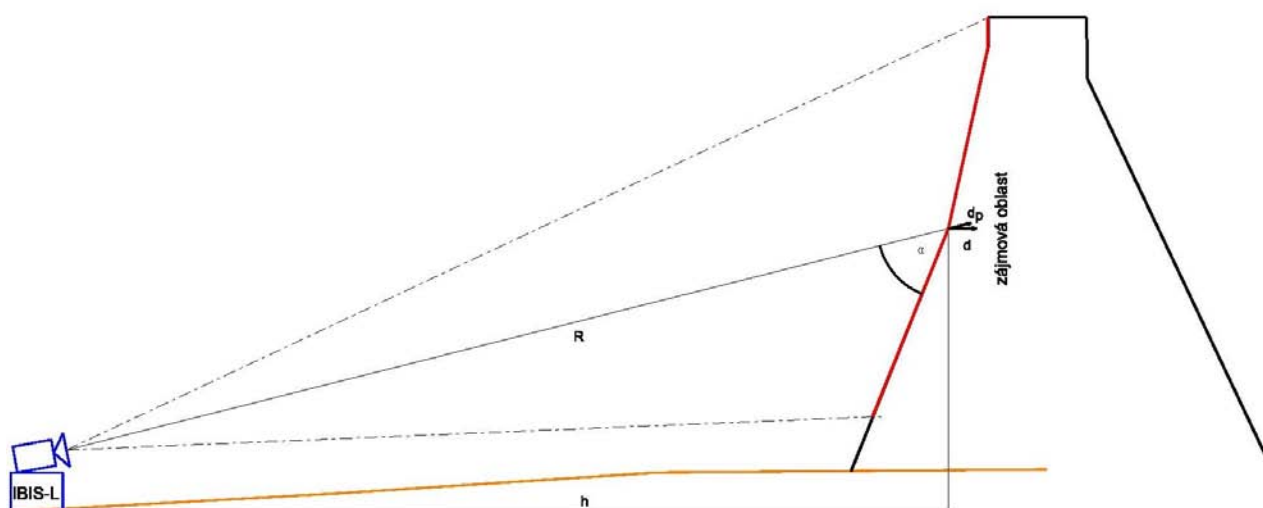
Obr. 7: Princip diferenční interferometrie

Maximální měřitelný posun mezi dvěma akvizicemi je ohraničen nejednoznačností měřené fáze. Tento princip je znázorněn na obrázku 7. Pro radar IBIS činí $\pm\lambda/4 = 4,38\text{mm}$.

Veškeré posuny jsou měřeny ve směru záměry. Není-li záměra orientována přesně ve směru očekávaného posunu je potřeba skutečné posuny dopočítat dle následujících vzorců:

$$d = \frac{d_p}{\sin(\alpha)}, \text{ kde } \sin(\alpha) = \frac{h}{R} \text{ a tudíž } d = d_p \cdot \frac{R}{h}.$$

Vzdálenost R je měřena radarem a vzdálenost h může být měřena elektrooptickým dálkoměrem (např.: totální stanice). Je potřeba si uvědomit, že přesnost určení vzdálenosti R je 0,75m, je proto vhodné měřit objekt ze směru předpokládaného posunu.

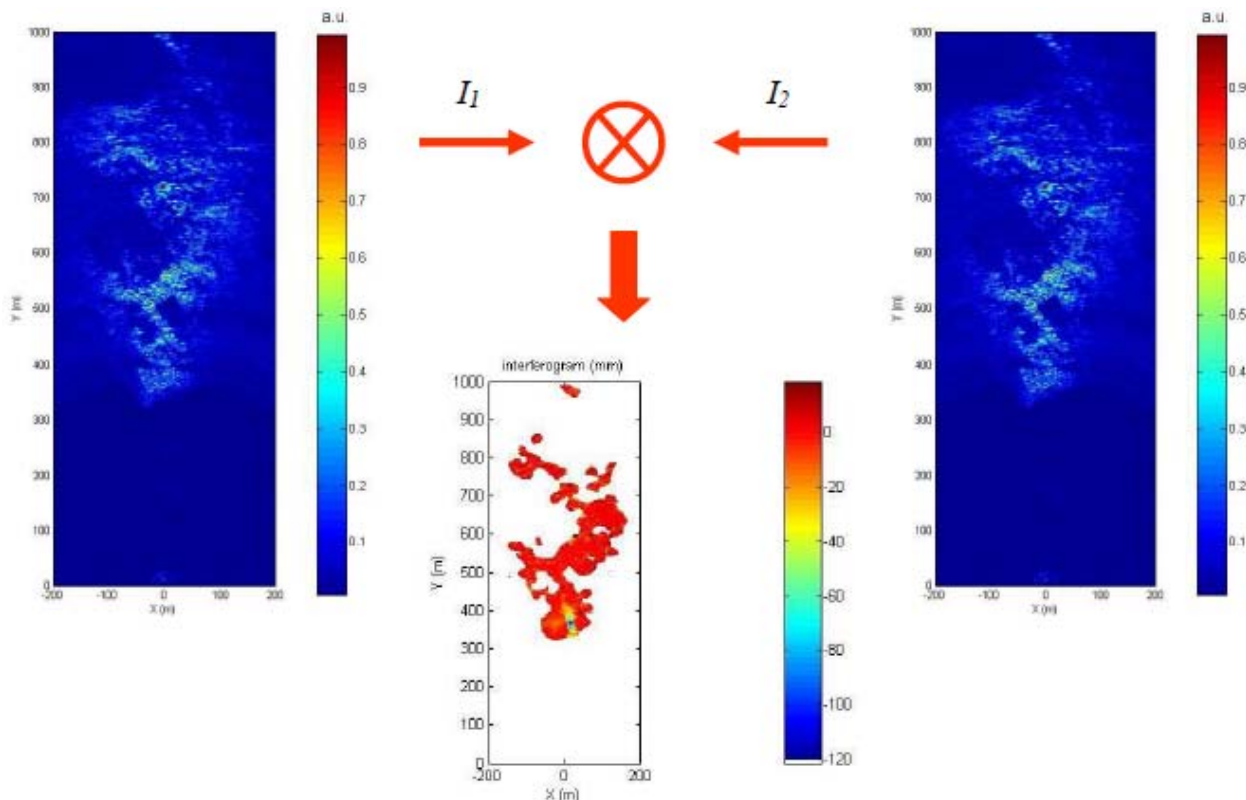


Obr. 8: Posun ve směru záměry a projektovaný posun

Přesnost měření posunů je závislá na kvalitě odraženého signálu. Vysílaný signál se od objektu odráží pod stejným úhlem jako je úhel dopadu a množství odraženého signálu je závislé na

materiálu od kterého se signál odráží. Není-li na objektu dostatek bodů s dobrou odrazivostí, je vhodné jej opatřit kovovými koutovými odražeči. Dále je potřeba dbát na to, aby se v sledovaném území nenacházely rušivé elementy, jako vegetace a jiné stavební či konstrukční prvky mimo sledovaný objekt, protože jejich vlivem se měřená data výrazně znehodnocují.

Systém IBIS-L měří současně radiální posunutí všech pixelů v oblasti osvětlené svazkem paprsků. Posunutí zájmové oblasti v radiálním směru je vypočítáváno z porovnání fázové informace různých obrazů získaných radarem.



Obr. 9: Měření posunů z dvourozměrných obrazů

$$\Delta d = \frac{-\lambda}{4\pi} \arg(I_2 \cdot I_1) = \frac{-\lambda}{4\pi} \Delta \varphi_{2-1}$$

Porovnáním informací z levého a pravého obrázku na Obr. 9, může systém IBIS-L měřit radiální posuny pixelů, které tvoří plochu osvětlenou svazkem paprsků.

2.5 Základní rozbor přesnosti

Pozemní interferometrický radar měří pohyby sledovaných objektů ve směru záměry, které se určují z fázového posunu dle vzorce:

$$d_R = \frac{-c}{4\pi f} \Delta \varphi.$$

Proměnnou v tomto vzorci je fázový posun $\Delta \varphi$ a frekvence f , kde je ovšem možno dosadit střední

hodnotu $f = 17$ Ghz. Směrodatnou odchylku fázového posunu lze vypočítat pomocí vzorce:

$$\sigma_{\Delta\varphi} = \frac{1}{\sqrt{2SNR}},$$

kde SNR je prostý (nelogaritmický) poměr signálu k šumu. SNR se vyjadřuje dvěma základními způsoby a to tepelným SNR_t a odhadnutým SNR_e. Odhadnutý poměr signálu k šumu SNR_e je určen na základě variance amplitudy měření a je vhodný pro odhad přesnosti měření. Směrodatnou odchylku pohybu ve směru záměry lze tedy vyjádřit vzorcem:

$$\sigma_{d_R} = \frac{c}{4\pi f \sqrt{2SNR_e}}.$$

Pro promítnutý pohyb pak platí:

$$d = d_R \frac{R}{h} = d_R E,$$

kde $E=R/h$ je tzv. projekční faktor, R je vzdálenost měřena radarem a h je v případě vodorovných pohybů vodorovná délka mezi počátkem radiálních spádových oblastí a sledovaným bodem. Přesnost promítnutého pohybu d závisí na přesnosti pohybu ve směru záměry d_R a na projekčním faktoru E a jeho přesnosti. Směrodatná odchylka pohybu ve směru záměry je odvozena výše, směrodatná odchylka projekčního faktoru je:

$$\sigma_E = \frac{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_h^2 \frac{R^2}{h^2}}}{h}$$

Směrodatná odchylka promítnutého pohybu je pak:

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_E^2 d_R^2 + \sigma_{d_R}^2 E^2}.$$

Přestože měření R a h je prováděno s přesností nižší než je v geodézii obvyklé, chyba projekčního faktoru je většinou tak malá, že je možno ji zanedbat a směrodatnou odchylku promítnutého pohybu počítat ze zjednodušeného vzorce:

$$\sigma_d = \sigma_{d_R} E.$$

3 Přístrojové vybavení a jeho technické parametry

Pro měření se používá vysoce stabilní koherentní pozemní interferometrický radar IBIS-L. Radar IBIS-L pracuje v mikrovlnném pásmu se střední frekvencí 17GHz. Při měření radar snímá odražené signály s krokovou vzorkovací frekvencí od 10 do 200Hz. Dosah měření radarem je možno dle potřeby zvolit až do maximální hodnoty 4 km. Směrodatná odchylka radarem zaměřených pohybů dle údajů výrobce je v ideálních podmínkách až 0,1 mm. Rozlišovací schopnost jednotlivých

sledovaných cílů v radiálním směru, tj. ve směru záměry, je 0,75 m (šířka radiální spádové oblasti) ve směru kolmém je rozlišovací schopnost 4.3 mrad.

K radaru IBIS-S je dodávána anténa typu 6 (IBIS-ANT6-H51V20). Horizontální vyzařovací úhel této antény je 51° při ztrátě -3 dB (50%) a 76° při ztrátě -10 dB (90%). Vertikální vyzařovací úhel je 20° při ztrátě -3 dB (50%) a 59° při ztrátě -10 dB (90%).



Obr. 10: Antény radaru

K radaru je v případě potřeby možno připevnit i další typy antén, které se liší zejména horizontálním a vertikálním vyzařovacím úhlem. Ovladač radaru tvoří odolný notebook s programem IBIS Controller.

Ke zpracování měření je výrobcem dodáván program IBIS Guardian. Radar je upevněn na kolejnici, tzv. Lineárním skeneru. Ovládací počítač a skener jsou připojeny k modulu napájení a řízení, který je vybaven konektory pro vstup a výstup jednotlivých zařízení a bateriemy pro napájení.

Pro doplňková měření se použije totální stanice s možností měření délek bez hranolu, pásmo. příp. ruční dálkoměr apod. Pro tvorbu DMT je vhodný laserový skener.

Tab.1

Přehled základních vlastností IBIS-L	
základní frekvence	17,2 Ghz
základní vlnová délka	17,44 mm
šířka pásma	200 Mhz
délka lineárního skeneru	2 m
interval skenování	5 min – 24 h
maximální dosah	4 000 m
rozlišení v přímém směru	0,75 m
rozlišení v příčném směru	4,4 mrad

4 Obecné zásady a výhody pozemní radarové interferometrie se syntetickou aperturou

Pozemní interferometrický radar se syntetickou aperturou je senzor, který měří pouze relativní pohyby ve směru záměry vztažené k počáteční příp. jiné hodnotě pohybu v průběhu měření. Maximální velikost pohybu mezi dvěma po sobě následujícími časy záznamu je omezena určitou mezní hodnotou. Z toho vyplývají určité zásady a omezení jeho používání:

- a) Radar není schopen zaznamenat pohyby kolmé na záměrnou přímku. Ale ve vyhodnocovacím programu takový druh pohybu odhalit lze při rozboru řady sousedících pixelů.

- b) Maximální hodnota pohybu mezi dvěma po sobě následujícími časy záznamu je dána maximální hodnotou fázového rozdílu, kterou je možno vyhodnotit, tj. $\Delta\varphi = \pm\pi$ ($\pm 4,38\text{mm}$ při $\Delta R = 0,75\text{m}$). Při překročení této hodnoty dojde k chybnému výpočtu velikosti pohybu a znehodnocení výsledku měření. Tuto chybu nelze odhalit.

Pozemní interferometrický radar se syntetickou aperturou dále v porovnání s dostupnými sledovacími systémy (GNSS, extenzometry) nabízí následující výhody:

- a) Umožňuje obsluhu provádět monitorování území ze vzdáleného místa bez nutnosti instalace senzorů nebo optických cílů na sledovaném území.
- b) Poskytuje souvislou mapu posunů pro celé sledované území. IBIS-L současně měří všechny posuny celé oblasti ozařované paprskem antény, který může pokrývat až stovky tisíc čtverečních metrů. Lze tím odhalit všechny rizikové oblasti ve sledovaném území či na sledovaném objektu.
- c) Přímé měření posunů zájmového území v reálném čase.
- d) Možnost měření ve dne i v noci, a téměř ve všech klimatických podmínkách.
- e) Možnost bezdrátového připojení s dálkovým dohledem včetně vyhodnocení naměřených dat.

Tato možnost snímání na dlouhé vzdálenosti, bez nutnosti instalace odražečů znamená, že měření může být prováděno i tehdy, když:

- a) Oblast zájmu není přístupná.
- b) Zájmová oblast je obzvlášť velká, a proto by vyžadovala instalaci velkého počtu odražečů.

5 Příprava měření

5.1 Přípravné práce a rekognoskace

Před začátkem vlastního měření je nutná prohlídka neboli rekognoskace hráze a jejího okolí. Při ní se zjistí zejména přístupové cesty, přístupnost, překážky ve výhledu a přítomnost a rozestup přirozených odražečů v okolí a přímo na hrázi, například zábradlí, lampy, jeřáby, železné uzávěry atp. Dále se zjistí technické parametry hráze: od vlastníka nebo provozovatele v jiném případě např. z informační cedule nebo jiných veřejných zdrojů. Zásadními parametry pro měření jsou zejména výška od paty ke koruně, délka koruny, druh konstrukce, materiál, stáří, riziková místa, dřívější pohyby.

5.2 Sledovaná místa a jejich signalizace

Pozemní interferometrický radar IBIS-L umožňuje snímání celé plochy hráze i osazení zájmových míst speciálními přípravky pro zvýšení odrazivosti, např. koutové odražeče. Je třeba předem odhadnout která místa budou radarový signál odrážet v dostatečné síle a která naopak budou signál tlumit pod hranici rozlišitelnosti. Pokud jsou taková místa důležitá pro vyhodnocení je nutné je dodatečně osadit koutovými odražeči.

5.3 Umístění radaru

Umístění radaru IBIS-L není krátkodobá záležitost. Stanovisko musí být vybráno a upraveno ještě před prvním umístěním přístroje, aby nedocházelo k pohybům půdy apod.

Radar se umístí zpravidla na stabilní vodorovnou betonovou základní desku (základnu). Minimální rozměry 2000x800x200 mm. Existují různé náhradní varianty ale zásadní vlastností každé základny je její stabilita a nezávislost na měřené hrázi. Základna musí být tedy připravena v dostatečném časovém předstihu před instalací samotného radaru, aby nedošlo k sedání základů při měření. Další důležitou vlastností je dostupnost stanoviště a výhled na předmětnou hráz. Výhled by měl být volný, pokud možno bez vegetace zastiňující hráz a radar by měl být umístěn v takové výšce aby nedocházelo k rušení blízkými odrazy, např. od země.



Obr. 11: Pohled na zájmové území

Vzdálenost radaru od paty hráze je určena kompromisem mezi dvěma protichůdnými požadavky:

- 1) Radar musí být umístěn do takové vzdálenosti od paty hráze, aby byla dodržena vhodná geometrie při měření i na nejvyšší měřené body, tj. aby projekční faktor (poměr vodorovné a šikmé vzdálenosti mezi středem rad. spád. oblastí a nejvyšším sledovaným bodem hráze) byl co nejmenší.
- 2) Radar se umístí do takové vzdálenosti od paty hráze, aby odrazy byly dostatečně silné, tj. aby vzdálenosti mezi radarem a hrází byly co nejmenší.

Zásadní při volbě a úpravě stanoviště je natočení lineárního skeneru do směru rovnoběžného se směrem hráze. Radar potom bude snímat ve směru záměry kolmo na hráz.

5.4 Instalace radaru

Vlastní postup instalace je podrobně uveden v příloze 2.

5.5 Volba antén a zacílení radaru

Pro měření hráze údolní přehrady se volí antény s širokým horizontálním rozsahem a úzkým vertikálním rozsahem. Vhodné jsou např. antény typu 6 (IBIS-ANT6-H51V20). Radar se puškohledem zacílí přibližně na střed hráze. Polohovací vozík lze natáčet jen kolem horizontální osy. Radar tedy lze pouze otočit vzhůru či sklonit.

5.6 Volba celkové doby měření, jednotlivých etap a intervalů měření jednotlivých snímků

Celkovou dobou měření rozumíme celou dobu po kterou je prováděno měření. Tu lze rozdělit na **jednotlivé etapy** což je doba měření po kterou je přístroj nepřetržitě umístěn na základně. Mezi

jednotlivými etapami může být přístroj ze základny sejmuto a měření dočasně přerušeno. Každá etapa se pak sestává z **měření jednotlivých snímků**. Zde jeden snímek je vytvořen během jednoho průjezdu radaru po 2m dlouhé základně (lineárním skeneru). Pořízení jednoho snímku, tj. jeden průjezd radaru, trvá v případě radaru IBIS-L přibližně 5 minut. Intervalem měření jednotlivých snímků se pak nazývá doba po které dojde k zahájení měření dalšího snímku. Nejkratší možná doba intervalu měření je tedy v případě radaru IBIS-L cca 5min, přičemž radar umožňuje nastavit interval měření jednotlivých snímků od 5 minut do 24 hodin.

Celková doba měření závisí na požadovaném účelu měření. V případě určování posunů dlouhodobého charakteru lze měření s výhodou rozdělit na jednotlivé etapy a ty periodicky opakovat (např. vždy 1. týden v měsíci). Tyto periody (etapy) pak vyhodnocovat společně v dodaném programu. Na tento problém je však třeba pamatovat již při montáži základny. Při opakovaném měření etap musí být totiž přístroj co nejpřesněji umístěn na tutéž základnu, přičemž i nepatrná změna v jeho umístění může znemožnit navázání jednotlivých period. Proto konstrukce základny umožňuje určitý druh nucené centrace přístroje při jeho návratu na základnu.

Pro **určení krátkodobých pohybů hráze** způsobených např. změnou atmosférických podmínek nebo změnou výšky hladiny, je nutný rychlý interval měření (5 min) s celkovou dobou měření alespoň několika dní během jediné etapy.

Pro **určení pohybů hráze dlouhodobého charakteru** nebo pohybů jejího bezprostředního okolí, způsobených např. změnou teploty vody, slapovými jevy, dlouhodobou změnou výšky hladiny nádrže atd., je potřeba zvolit celkovou dobu měření alespoň jeden měsíc s přiměřeně dlouhým intervalem měření jednotlivých snímků 0,5 – 1 hod. Je možné i umístit radar na základnu trvale a periodicky sledovat pohyby hráze po velmi dlouhou dobu, třeba i několika let. Při vhodně voleném intervalu měření jednotlivých snímků, který může být v průběhu měření proměnlivý, bude možné odhalit jak krátkodobé periodické či neperiodické pohyby, tak i pohyby dlouhodobého charakteru. Dále je třeba vzít v úvahu, že krátkodobé pohyby hráze můžou být vyšších hodnot než dlouhodobé. Pak je třeba odhalit nejprve mechanismus vzniku krátkodobých pohybů a na základě jejich znalosti se rozhodnout jak postupovat při určování pohybů hráze dlouhodobého charakteru, především s ohledem na volbu intervalu měření jednotlivých snímků a volbu etap.

6 Měření

6.1 Měření radarem

Po instalaci radaru a jeho uvedení do provozu je dalším krokem spuštění měření programem IBIS Controller. Program slouží k ovládání skeneru a radaru. Nastavení programu závisí na účelu měření a tedy na zvolených intervalech měření. Tyto údaje se zadají do programu společně s údaji o poloze radaru a maximálním dosahu měření.

V programu se dále založí nový projekt a nastaví výchozí adresáře pro ukládání měřených dat. Lze nastavit externí umístění, v případě dostupnosti internetu. Nastavení, které měnit nelze, je rozměr skeneru a rozlišovací schopnost (délka je daná a krok skeneru také). Tato data určují přesnost měření a nelze tedy dosáhnout přesnějších výsledků, než je tovární rozlišení.

V případě opakovaného měření lze přímo v programu pro měření zavést výběrovou masku a upravit data pro zpracování. Dojde tím ke snížení jejich velikosti a tím ke zjednodušení manipulace (více v Kap. 7.2.1).

6.2 Obsluha a údržba radaru při měření

Systém IBIS-L je navržen tak, aby při měření nebylo nutno zasahovat do jeho chodu. V případě připojení na elektrickou a internetovou síť není potřeba celodenní obsluhy. Radar je odolný proti prachu a vodě. Povětrnostní podmínky neovlivňují jeho chod. Přesto je vhodné s ohledem na delší životnost přístroje udržívat ho v čistotě. Je vhodné též v určitých časových intervalech kontrolovat stabilitu a neměnnost polohy radaru, stejně jako všechny mechanické součástky.

6.3 Doplnková měření

Doplnková měření lze rozdělit do tří skupin:

- Určení geometrických veličin hráze a tvorba DMT.
- Měření atmosférických podmínek v průběhu vlastního měření radarem.
- Měření pohybů výšky hladiny v nádrži nad hrází v průběhu vlastního měření radarem.

Pro měření geometrických parametrů lze použít standardní geodetické metody např. polární metodu s totální stanicí vybavenou dálkoměrem umožňujícím měření délek bez hranolu a zalomeným okulárem pro měření strmých záměr. Ideální volbou pro vytvoření DMT je laserový skener. Souřadnicový systém není potřeba volit závazný státní, stačí místní.

Pro vyhodnocení je zásadní dokumentace atmosférických parametrů. Zejména teplota, vlhkost a déšť. Krok měření těchto veličin by měl být kratší než krok měření radarem. Parametry je vhodné měřit na více místech, např. u radaru, pod hrází a na koruně hráze.

Dokumentace pohybů výšky hladiny v nádrži, příp. vypouštění vody slouží k vyhodnocení hráze jako celku.

Doplnkové měření slouží k:

- 1) Určení polohy a geometrických parametrů pro vyhodnocení měření zadávaných do příslušného programu (IBIS Guardian).
- 2) Vytvoření měřických náčrtů – pohled, bokorys a půdorys.
- 3) Vytvoření DMT a digitálního modelu hráze pro přesné vyhodnocení umístění jednotlivých bodů (pixelů).
- 4) Dokumentaci atmosférických podmínek.
- 5) Dokumentaci pohybů výšky hladiny nádrže.
- 6) Fotodokumentaci viditelných změn.

6.4 Výpočty a vyhodnocení výsledků v terénu

Data je možno zpracovávat postupně, načítáním do výpočetního programu IBIS Guardian. Není nutné přerušovat měření. V případě dlouhodobého měření lze data odesílat elektronicky k vyhodnocení nebo je ukládat na vzdálené úložiště.

6.5 Nebezpečí při měření hrází údolních nádrží

Pravidla bezpečnosti práce která platí pro obsluhu vodního díla platí samozřejmě i pro obsluhu interferometrického radaru při měření pohybů hrází údolních přehrad. Záleží též na umístění radaru a na povětrnostních podmínkách.

7 Zpracování a vyhodnocení měření

7.1 Zpracování měřených externích dat

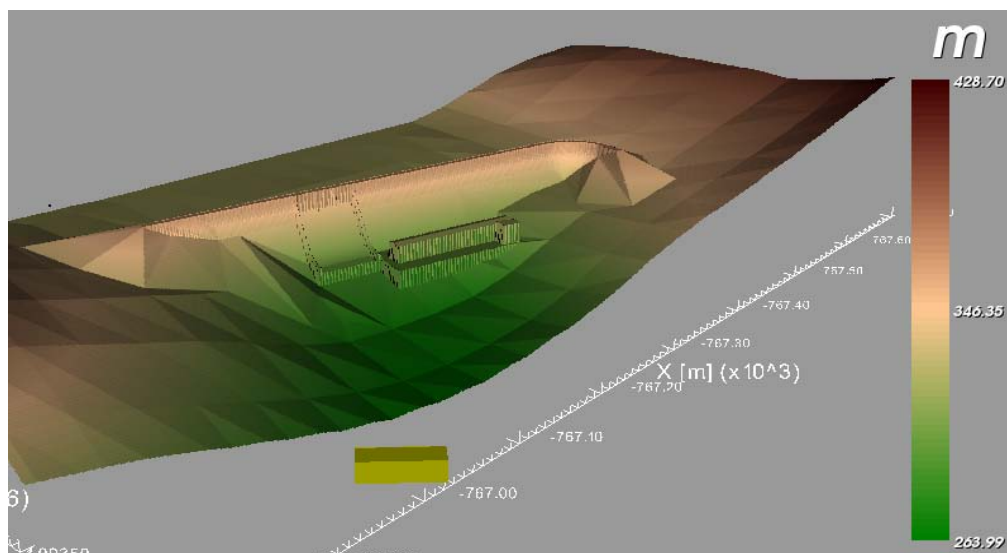
Jedná se o data doplňujících měření.

7.1.1 Zpracování dat měřených totální stanicí

Měření totální stanicí slouží k určení vzájemné polohy stanoviště radaru a hráze. Pro přesné nastavení polohy radaru není potřeba, jak již bylo uvedeno, použít závazný státní souřadnicový systém. Poloha radaru je určena jedním bodem, a to středem lineárního skeneru na vrchním plášti. Je potřeba též určit orientaci záměrné osy radaru.

7.1.2 Zpracování měřených dat pro tvorbu DMT

Zpracování se liší dle použité metody tvorby DMT. Pokud je zaměřen totální stanicí následuje výpočet klasické polární metody a kresba hráze. Pokud je k tvorbě použit laserový skener následuje



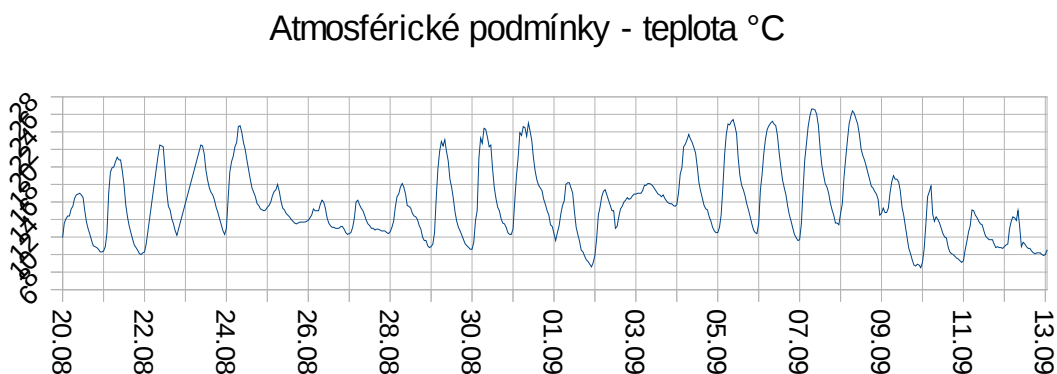
Obr. 12: DMT

vyhodnocení mračna bodů a tvorba sítě. Jako ideální vstupní formát dat se jeví .dxf. Dalšími možnými formáty pro tvorbu DMT jsou: ESRI GRID, SHAPE a 3DXYZ. Doporučenou kresbou je trojúhelníková síť. Program nedokáže vyhodnotit převisy a podhledy. Musí se tedy na to pamatovat při kresbě.

Při vytváření DMT je třeba pamatovat i na pozdější rozlišení, které bude model v programu mít. Pro hráz s délkou koruny 500 m není třeba vykreslovat detaily menší než 2 m. Jak bylo uvedeno v kapitole 2.3, pro vhodnou jednoduchou vizualizaci výsledků by mělo být rozlišení DMT voleno jen nepatrně nižší než je rozlišení měřených dat. Při nedodržení tohoto pravidla data ztrácí souvislost, případný pohyb v originálním pixelu je volbou nevhodného rozlišení kartézského systému přenesen na okolní pixely, které ale v originále žádný pohyb nevykazovaly. Při volbě velmi malého rozlišení pak dojde k roztrhání obrazu, který potom není souvislý a tedy jej nelze vizuálně vyhodnotit.

7.1.3 Zpracování dat z měření atmosférických podmínek

Z dat meteorologické stanice nebo podobného zařízení je nutné získat data v textovém formátu a posléze z těchto dat v grafickém editoru vytvořit grafy. Základními grafy jsou graf teploty, tlaku, vlhkosti, průměrných srážek a součtový denní srážkový graf.



Obr. 13: Ukázka údajů o teplotě

7.1.4 Zpracování dat z měření výšky hladiny nádrže

Z dat poskytnutých uživatelem vodního díla je třeba stejně jako u atmosférických dat vytvořit graf. Tvorba grafů je nejjednodušší a nejprůhlednější formou zpracování tohoto typu dat a lze je posléze při vyhodnocení pohybů hráze nejlépe připojit k měřeným pohybům hráze.

7.2 Zpracování měřených radarových dat

7.2.1 Tvorba výběrové masky

Před samotným výpočtem je třeba vytvořit výběrovou masku. Výběrová maska slouží k omezení množství vyhodnocovaných dat na únosnou míru. Radar při vytváření snímků zachycuje celý prostor a je tedy třeba z vyhodnocení vyloučit ty body a lokality, jež nejsou součástí hráze, nemají dostatečný odraz nebo chceme-li vyhodnocení rozdělit na jednotlivé části. Vyhodnocované území je vybráno polygonem z měřených dat. Následně je možné za pomoci tří map (mapa síly odrazu, mapa koherence a mapa odhadu odrazivosti, angl. Power, Coherence a Estimate SNR map) vyhodnotit body s kvalitním odrazem.

7.2.2 Tvorba PSV souborů

Do programu IBIS Guardian se importují data ve formátu PSV namísto původních měřených ve formátu GBD. Pro jejich tvorbu slouží nástroj „PSV Generátor“. Do tohoto programu se nahrají měřená GBD data, vytvořená výběrová maska a cesta pro ukládání vytvořených PSV souborů.

7.2.3 Nastavení výpočetního programu

Před započítáním prvního projektu je třeba nastavit základní údaje do programu IBIS Guardian jako jsou nastavení ukládání programu a programových složek, jazyk aplikace, typ licence, jednotky, internetové připojení atp.

7.2.4 Založení projektu

V programu IBIS Guardian je možné pro každou zakázku založit nový projekt a v tomto projektu vytvořit novou stanici radaru IBIS. Při nastavování stanice jsou zapotřebí zpracovaná externí data o poloze a DMT model. Dále se nastaví požadovaný typ zpracování a čas samospouštění zpracování. Důležitou položkou je nastavení data, od něž se mají nahrávané PSV soubory zpracovávat, lze tak omezovat například velké soubory. Při nastavování výběrové masky je nutná kontrola, zda se jedná o stejnou, s jakou byly vyhotoveny PSV soubory.

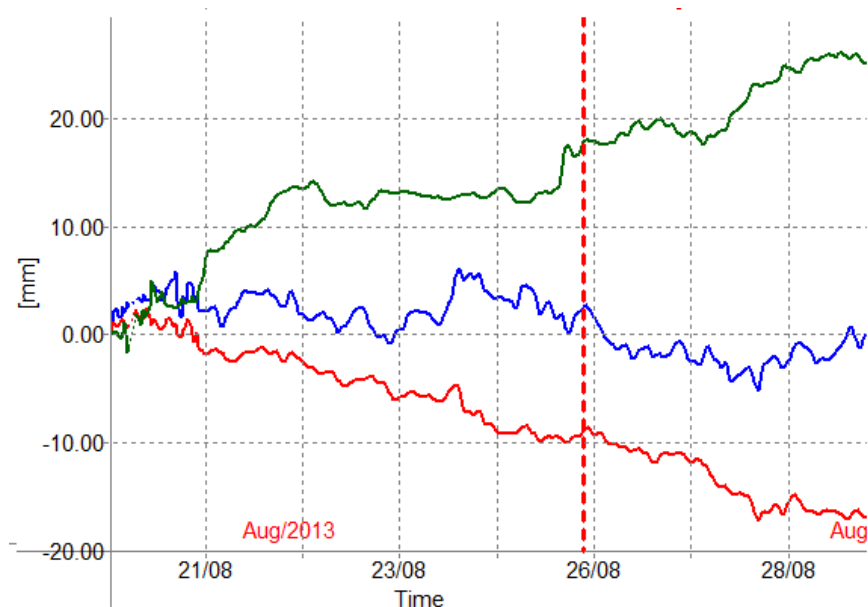
Dalšími nastaveními jsou: připojení k internetu, alarmy, kamera, generátor, meteostanice, zasílání poplašných zpráv a sms.

7.2.5 Spuštění nahrávání dat

Do složky kde je uložen projekt a kde se vytvořila složka stanice je třeba importovat PSV soubory měření. Následně se jen spustí výpočet v programu IBIS Guardian. Program postupně načte všechna data od nastaveného prvního data až po současnost nebo až po poslední měření. Při výpočtu je možné nastavit automatické vytváření protokolů. Ze zpracovávaných dat jsou přímo vytvářeny grafické výstupy.

7.2.6 Způsob dokumentace výsledků

Výstupy můžeme rozdělit na grafické, textové a exporty. Základními grafickými výstupy jsou mapy: modelu terénu, zeslabení, posunů, rychlosti posunu a citlivosti (angl. Amplitude, Displacement, Velocity, Sensitivity map). Dalšími jsou grafy jednotlivých bodů nebo skupiny bodů a to pro kteroukoli výše uvedenou vlastnost.



Obr. 14: Ukázka grafu pohybu bodů

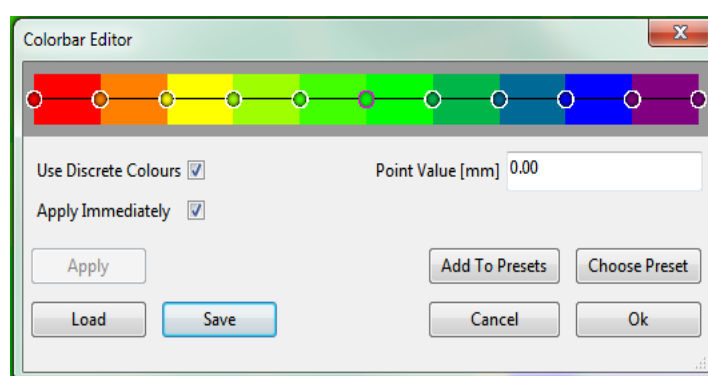
Grafy i mapy lze exportovat i do formátu textových dat. V této formě například přenést do grafického editoru a spojit s daty o atmosféře a výšce hladiny a vyhodnotit společně. Mapy lze také exportovat do formátů DMT.

Měřená a vyhodnocená data radaru typu IBIS-L je nutno pro případné budoucí použití uchovávat

v nativních formátech programů IBIS Guardian a IBIS Controller (GBD, PSV, XML, DAT, WLA). Exportovaná data pak nejlépe ve formátu programu (PNG, AVI, PDF) nebo obyčejném textovém souboru (CSV, TXT, XML).

7.2.7 Barevná škála

Jedním ze základních nastavení jež ovlivňují vyhodnocení jsou barevné škály map (angl. colorbar). Zde opět záleží zejména na důvodu měření a jak velké posuny jsou předpokládány nebo dosahovány (naměřeny) pro to jak škálu nastavit. Nastavení mezí a rozlišení ovlivňuje výsledky a může je i zkreslit. Ideální nastavení je takové, které dokáže rozlišit 75% mediánu měření. Barevnost je třeba nastavit tak aby zvýrazňovala skutečně dosahované pohyby. Pokud dochází k pohybům v řádu cm není nutné nastavit přesnost mřížky na 0,1 mm. Naopak při zvýraznění mm pohybů není dobré škálu nastavit s krokem v cm. V mezích škály se také nemusí nacházet všechna maxima, ale spíše většina měření.



Obr. 15: Ukázka barevné škály

7.3 Vyhodnocení

7.3.1 Identifikace a výběr bodů

Jak již bylo řečeno výše, výhodou programu IBIS Guardian a systému IBIS-L je současné plošné zaměření celé hráze údolní nádrže. Veškeré měřené pixely je tedy posléze možné vyhodnotit. Vyhodnocení dělíme na bodové a plošné, program umožňuje výstupy grafů pohybů a odrazivosti jak pro bod (angl. Point) tak i pro skupinu bodů nebo v průměru pro celou oblast (angl. Area). Body lze identifikovat podle jejich polohy na DMT nebo přímo jejich načtením ze souřadnic. V měření je možné vždy lépe identifikovat body signalizované koutovými odražeči. Záleží též na rozlišení DMT a s jak velkými pixely vlastně pracujeme.

7.3.2 Analýza výsledků

Vyhodnocená data, tedy zejména grafy pohybů bodů, ploch a mapy pohybů a rychlosti celé hráze nebo jejich částí, jsou následně analyzována společně s daty o stavu výšky vodní hladiny v nádrži, s daty o počasí a dalšími. Vyhodnocené pohyby lze vysvětlovat změnou výšky hladiny, změnou teploty vody v nádrži a tedy změnou jejího objemu, změnou odrazivosti měřených ploch vlivem deště, slapovými projevy, osluněním hráze a v neposlední řadě pravidelnou údržbou hráze a pohybem konstrukcí k hrázi připevněných. Analýza každé hráze je dle jejího druhu a dle účelu měření originální a není tedy možno zde postihnout všechny možné důvody pohybu bodu.

8 Závěr

Předkládaná technologie zahrnuje postup určování vodorovných pohybů hrází údolních přehrad s využitím měření pozemním interferometrickým radarem se syntetickou aperturou s vysokou relativní přesností (až 0,1 mm). Aby bylo této přesnosti dosaženo, je třeba zajistit vhodné podmínky pro měření, zejména kvalitu odrazu radarového signálu a geometrické parametry konfigurace radaru a hráze. Velkým faktorem tedy je výběr stanoviště. Kvalita odrazů je zpravidla zajištěna přítomností hladkých a suchých povrchů v kolmém směru na záběr radaru, které tvoří přirozené odražeče radarového signálu. Kvalitu odrazu, měření ani vyhodnocení neovlivňuje okolí hráze a jeho přirozená odrazivost. Z geometrických parametrů je nejvýznamnější výška hráze a vzdálenost radaru od její paty. Tyto parametry ovlivňují hodnoty projekčních faktorů u sledovaných bodů, na nichž závisí přesnost určení vodorovných pohybů hráze údolní nádrže. Možnost provádění měření není významně ovlivněna atmosférickými podmínkami.

Základním předpokladem pro měření vodorovných pohybů hrází údolních přehrad je, že se pohybují velmi pomalu. Frekvence kmitání takové hráze může dosahovat doby několika dnů, minimálně několika hodin. Na to je třeba pamatovat při plánování rozvrhu měření. Měření pozemním interferometrickým radarem se syntetickou aperturou (s lineárním skenerem) není jednorázovou a krátkodobou záležitostí. Příprava a instalace lineárního skeneru na stanovišti vyžaduje dlouhodobou přípravu. Ke správnému vyhodnocení je také nutné zajistit množství externích dat.

9 Seznam použité literatury

- (1) Ingegneria Dei Sistemi S.p.A., IBIS-L v. 02.0. - User Manual, Pisa, April 2012.
- (2) Ingegneria Dei Sistemi S.p.A., IBIS Guardian v. 02.00 - User Manual, Pisa, October 2013.
- (3) Ingegneria Dei Sistemi S.p.A., IBIS Controller v.03.00 – User Manual, Pisa, July 2013.
- (4) Massimiliano Pieraccini, Guido Luzi, Daniele Mecatti, Linhsia Noferini, Giovanni Macaluso, Carlo Atzeni, Ground-Based radar interferometry for monitoring unstable slopes, 3rd IAG/12 FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006
- (5) A. Sărăcin, C. Coșarcă, A. Joca, Dam deformation measurements using terrestrial interferometric techniques, University “1 Decembrie 1918” of Alba Iulia, GeoCAD 2012
- (6) Sabine Rödelberger, Real-time Processing of Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR) Measurements, ISBN 978-3-935631-22-8, Schriftenreihe, Fachrichtung Geodäsie, Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Technische Universität Darmstadt
- (7) Mario Alba, Giulia Bernardini, Alberto Giussani, Pier Paolo Ricci, Fabio Roncoroni, Marco Scaioni, Paolo Valgo, Katherine Zhang, Commission I, WG I/2, MEASUREMENT OF DAM DEFORMATIONS BY TERRESTRIAL INTERFEROMETRIC TECHNIQUES, 2008

10 Seznam příloh

1. Zpráva o provedených ověřovacích měřeních Ověřené technologie určování vodorovných pohybů hrází údolních přehrad pozemní radarovou interferometrií se syntetickou aperturou (GB-SAR).
2. Postup instalace IBIS-L

Zpráva o provedených ověřovacích měřeních
Ověření technologie určování vodorovných pohybů hrází údolních přehrad
pozemní radarovou interferometrií se syntetickou aperturou (GB-SAR)

Milan Talich, Michal Glöckner, Lubomír Soukup, Filip Antoš,
Jan Havrlant, Ondřej Böhm, Miroslava Závorská, Jakub Šolc

Obsah

1 Úvod.....	2
2 Popis sledovaného objektu a jeho okolí.....	2
2.1 Konstrukce vodního díla Orlík	2
2.2 Rekognoskace a výběr stanoviště	3
3 Použité přístroje a pomůcky.....	3
3.1 Použité přístroje.....	3
3.2 Instalační základna	3
4 Postup měření pozemním interferometrickým radarem.....	4
5 Postup doplňkového měření polární metodou	5
6 DMT a jeho tvorba.....	6
6.1 Volba rozlišení	7
7 Externí data a jejich zpracování.....	7
7.1 Atmosférická data	7
7.2 Údaje o výšce hladiny.....	8
8 Zpracování měření	9
8.1 Tvorba výběrové masky	9
8.2 Založení projektu.....	11
8.2.1 Nastavení jednotky IBIS	11
8.3 Automatická tvorba protokolů.....	11
8.4 Nastavení barevných škál	11
9 Vyhodnocení.....	12
9.1 Identifikace a analýza bodů podezřelých z chybně určených pohybů.....	12
9.1.1 Body na koruně hráze.....	13
9.1.2 Body na skloněné části hráze	14
9.1.3 Body na budově elektrárny	15
9.2 Analýza pohybů jednotlivých bodů pod korunou hráze	16
9.3 Analýza pohybů jednotlivých oblastí jako celků.....	21
9.4 Vyhodnocení pohybu uzávěrů bezpečnostních přelivů.....	22
9.4.1 Vyhodnocení jednotlivých bodů.....	22
9.4.2 Vyhodnocení celých oblastí.....	25
10 Výstupy	26
11 Závěr	26

1 Úvod

V rámci ověřování technologie určování vodorovných pohybů hrází údolních přehrad pozemní radarovou interferometrií se syntetickou aperturou (GB-SAR) bylo provedeno sledování vodorovných pohybů hráze vodního díla Orlík na Sedlčansku. Přehrada Orlík jako součást Vltavské kaskády je jednou z nejvýznamnějších českých údolních nádrží a její hráz je tou největší.



Obr. 1 Vodní dílo Orlík

2 Popis sledovaného objektu a jeho okolí

2.1 Konstrukce vodního díla Orlík

Těleso hráze je přímé, gravitační, betonové, o výšce 90,5 m. Hráz má délku 450 m. Průměrný roční průtok je $82,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Vodní plocha zaujímá 2732 ha, maximální hloubka nádrže je 74 m a celkový objem představuje 716,6 mil. m^3 . Bezpečnostní přeliv tvoří tři pole šířky 15 m, o výšce segmentových uzávěrů 8 m. Kapacita bezpečnostního přelivu je $2184 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Dvě základové výpusti o průměru 4000 mm mají při maximální hladině kapacitu $371 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Zvláštností konstrukce vodního díla je stavební rozdělení hráze na 33 segmentů, které jsou odděleny asfaltovými a gumovými pásy a těsněními. Tato konstrukce hráze umožňuje pasivně pracovat na vyrovnání tlaků, jež na ni působí.

Údaje o nádrži	
Celkový objem	716,5 mil. metrů krychlových
Zatopená plocha	2732,7 ha
Délka břehů	více než 300 km
Retenční prostor	62 mil. metrů krychlových
Vzdutí	68 km (Vltava, Otava, Lužnice)

Tab. 1 - Technické údaje o přehradě Orlík

V energetické části přehrady jsou zabudovány čtyři Kaplanovy turbíny s přívodním potrubím o průměru 6250 mm a hltnosti $4 \times 50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Na pravém břehu jsou vybudována plavební zařízení jednak pro lodě o výtlaku do 300 tun (pouze stavební část) a jednak pro přepravu sportovních lodí do výtlaku 3,5 tuny. Na výstavbu bylo spotřebováno cca 1,03 mil. m^3 betonu a 12 000 tun oceli. Při realizaci VD Orlík bylo provedeno 3,35 mil. m^3 zemních a výlomových prací.

Údaje o hrázi	
Tok	Vltava ř. km 144,650
Kóta koruny hráze (vozovka)	361,10 m n. m.
Výška hráze nad dnem	81,50 m
Délka koruny	450 m

Tab. 2 - Technické údaje o VD Orlík

2.2 Rekognoskace a výběr stanoviště

Těleso hráze údolní nádrže lze nejlépe měřit jen z jedné strany a tedy proti ní. Jelikož je známo, že je nejlépe umístit přístroj IBIS-L co nejbližší, s co nejširším výhledem a rovnoběžně se směrem koruny hráze, byl umístěn pod hráz, přibližně do vzdálenosti 400 m od její paty a rovnoběžně s korunou. Stanoviště bylo voleno s ohledem na vegetaci, aby nebylo nutno zasahovat proti vzrostlým stromům a aby nebylo nutno často sekat trávu před senzorem. Výběr lokality proběhl s dostatečným časovým předstihem.

3 Použité přístroje a pomůcky

3.1 Použité přístroje

Pro měření byl použit pozemní interferometrický radar IBIS-L v.č. 121 s anténami typu 6 (IBIS-ANT6-H51V20). Pomocné měření bylo provedeno totální stanicí Sokkia NET1AX v.č. 101838. Byl využit program MESH, sloužící ke skenování v zadané oblasti. K určení polohy v S-JTSK byl použit GNSS přijímač Topcon GRS-1 s anténou PG-A1.

3.2 Instalační základna

Senzor IBIS-L je umístěn na kolejnici lineárního skeneru, která je umístěna na tzv. instalační základně. Tato musí být zbudována a připravena pro instalaci skeneru z pevného materiálu nejlépe z betonu, železobetonu nebo z ocele.



Obr. 2 - Instalační základna

K instalaci základny bylo přistoupeno s předstihem, aby se předešlo sedání umístěného základu.

Jako základna byl zvolen betonový panel o rozměrech 60 x 20 x 300 cm. Na něj byly následně umístěny a přilepeny 3 betonové kvádry o rozměrech 50 x 40 x 30 cm. Do těchto kvádrů byly vsazeny ocelové kotvící prvky lineárního skeneru.



Obr. 3 - Instalační základna s kvádry

Další postup instalace probíhal přesně podle návodu „IBIS-L Postup instalace.“

4 Postup měření pozemním interferometrickým radarem

Po instalaci radaru IBIS-L na stanovisku a zapojení veškerého příslušenství bylo zahájeno měření v programu IBIS – Controller. Do programu byly zadány údaje o stanovisku a nastavení radaru. Maximální vzdálenost byla nastavena na 600 m, délka skeneru 2 m, rozlišovací schopnost 0,75 m, anténa typ 6, počet měření 0 (znamená nekonečně), interval měření byl nastavován průběžně různě. Při měření je možno přímo vkládat selekční masku, z důvodu zrychlení vyhodnocení, ale v našem případě toho nebylo využito.

Začátek měření	Konec měření	Délka observace	Interval měření	Počet snímků
20.08.13 08:29	02.09.13 14:00	13 dní	30 minut	635
02.09.13 14:00	13.09.13 08:25	11 dní	5 minut	3591

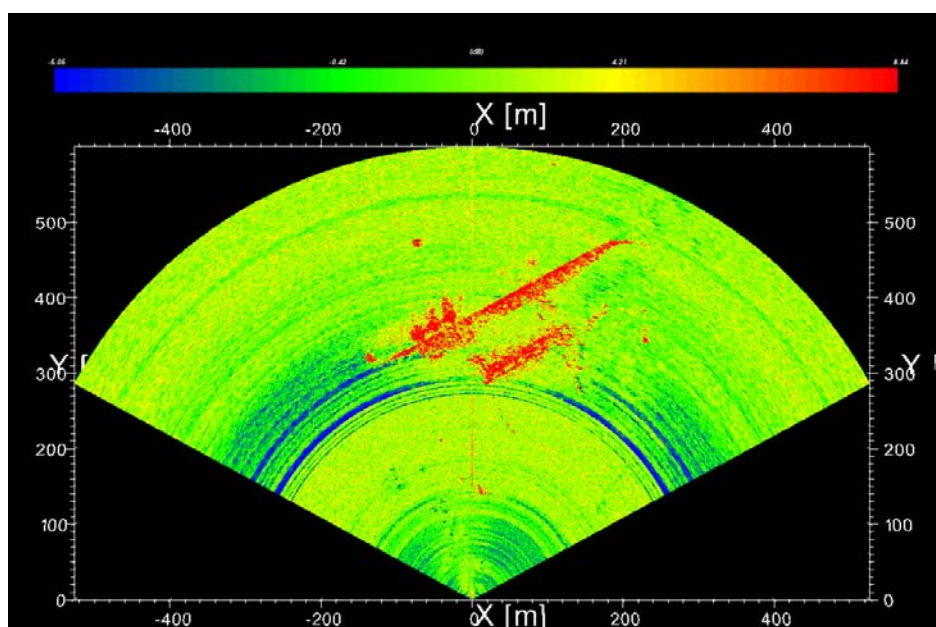
Tab. 3 – Přehled měřených dat vstupujících do vyhodnocení

Měření bylo zahájeno v úterý 20. srpna a ukončeno 13. září. Za tu dobu bylo vyzkoušeno měření v různých intervalech od 5 minut do 30 minut. Tabulka 3 shrnuje data, která byla naměřena a poté použita při vyhodnocení.



Obr. 4 - Přístroj IBIS-L při měření

Výhodou měření radarem IBIS-L je jeho samostatnost. Po zapojení a zapnutí již není třeba nic nastavovat a kontrolovat. Radar měří dle nastavených instrukcí a ukládá data. Obsluha je nutná pro nabíjení baterií potažmo pro stahování dat.



Obr. 5 - Zobrazení měřického záběru radaru IBIS-L

Měření radaru probíhá tak že senzor jede po kolejnici lineárního skeneru v krocích délky 0,5 cm a proměřuje celé spektrum frekvencí technologií SF-CW. Po projetí celé 2 m dráhy se vrátí do výchozí polohy uprostřed dráhy a vyčkává do okamžiku, kdy má začít měření dalšího snímku podle nastaveného intervalu měření. Jedna observace, tj. jeden průjezd senzoru, trvá 5min a 13s.

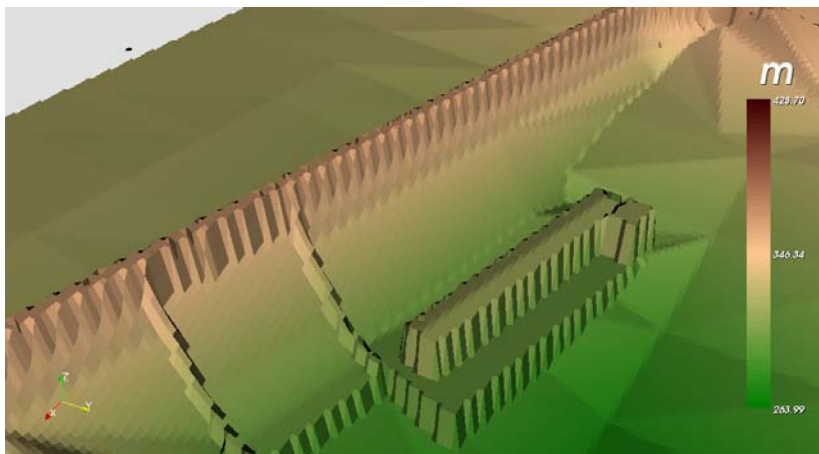
5 Postup doplňkového měření polární metodou

Doplňkové měření bylo provedeno totální stanicí umožňující elektronické měření délek bez hranolu. Totální stanice byla postavena na dřevěný stativ. Vzdálenost stanovisek totální stanice a hráze byla cca 200 m, od radaru jen 20 m, protože tak byla zajištěna viditelnost rohů lineárního skeneru. Pro výpočty byl zvolen státní systém S-JTSK, pro snazší napojení měření z obou stran

řeky (výtoku pod přehradou). Totální stanice byly zaměřeny rohy lineárního skeneru pro následné určení polohy a orientace radaru a dále byly zaměřeny všechny významné body hráze a skenována plocha hráze. Tato měření byla následně využita pro tvorbu DMT.

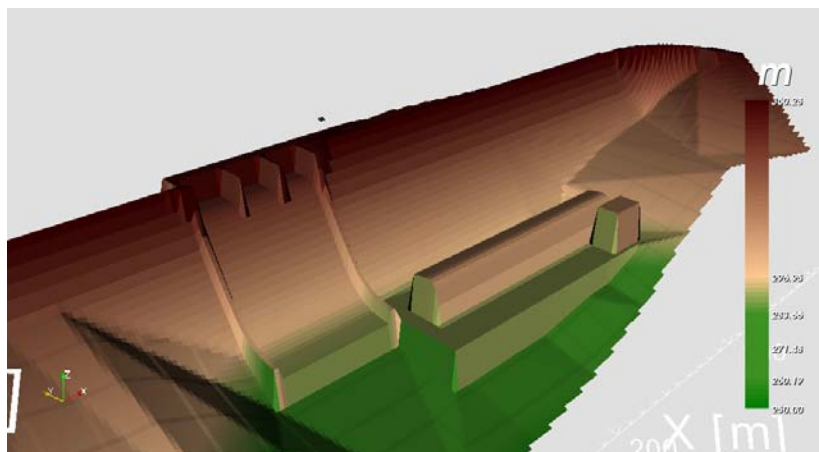
6 DMT a jeho tvorba

Pro ideální náhled měřené hráze a zejména lokalizaci měřených bodů a oblastí byl vytvořen digitální model terénu (dále jen DMT). K vytvoření modelu posloužilo měření z totální stanice Sokkia a data modelu terénu z aplikace Google maps. Při tvorbě modelu záleží zejména na tvaru a rozměrech hráze z hlediska rozlišení, ve kterém bude objekt vyhodnocován. Při vyhodnocované velikosti pixelu 2x2 metry není potřeba vytvářet všechny podrobnosti v řádech metrů. Na příkladu hráze VD Orlík není třeba kreslit betonové patky na konci přepadů. Program také nedokáže vyhodnotit podhledy, takže není možné současně vyhodnocovat body na koruně hráze nad bezpečnostními přepady.



Obr. 6 - DMT před úpravou – hrubý

Dalším specifickým je umístění budovy elektrárny pod hrází. Tato budova byla tedy také zahrnuta do vyhodnocení z důvodu její dobré odrazivosti a zjištění zda nedochází ke vzájemnému pohybu mezi hrází a elektrárnou. Proto byla vyhodnocena i v DMT.



Obr. 7 - DMT - po úpravě – hladký

Měření a výpočty byly provedeny v systému S-JTSK, ale DMT model byl vytvořen v místním systému. Důvod proč je vhodnější místní souřadný systém na rozdíl od S-JTSK je ten, že v místním systému je možno hráz natočit tak aby byla rovnoběžná s osou X vyhodnocovacího programu IBIS Guardian. Program totiž poté navrhne pixely rovnoběžně s korunou hráze a nedochází k tvorbě zubů. Také může být vhodné velké svislé oblasti uměle sklopit pro jejich lepší vyhodnocení, dojde tak k deformaci modelu, ale předejde se nevyhodnocení některých částí.

6.1 Volba rozlišení

Při volbě rozlišení DMT a tedy i celého vyhodnocení byla zvolena velikost odpovídající rozměrům nejvzdálenějšího pixelu přímo měřených dat. Kde vycházíme z předpokladu, že rozlišení v podélném směru (šířka radiální spádové oblasti) je 0,75 m, což je tedy průmět výšky pixelu do vodorovné roviny a rozlišení lineárního skeneru je 4,3 mrad (délka pixelu: 4,3 mrad x maximální vzdálenost).

$$4,3 \text{ mrad} \times 600 \text{ m} = \text{cca } 2,4 \text{ m}$$

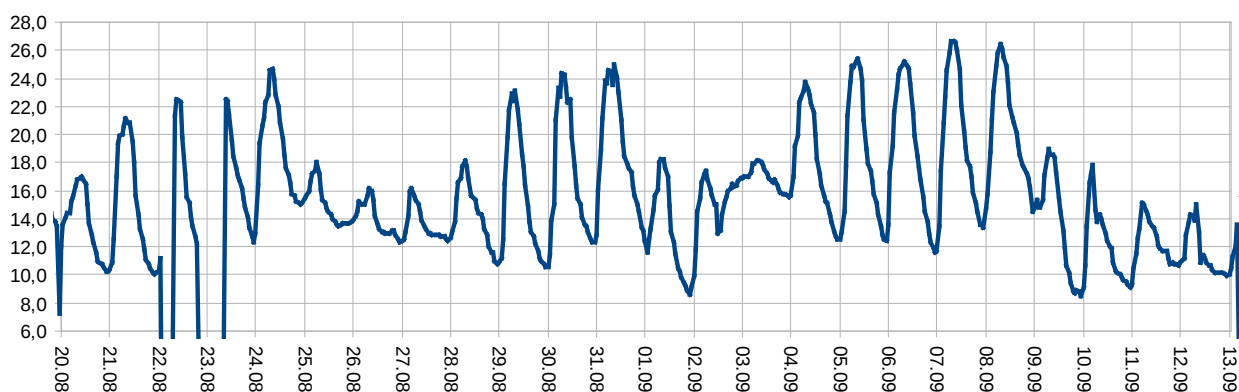
Proto bylo pro vyhodnocení celé hráze zvoleno rozlišení 2,5x2,5 m a pro vyhodnocení uzávěrů bezpečnostních přelivů 2x2 m.

7 Externí data a jejich zpracování

7.1 Atmosférická data

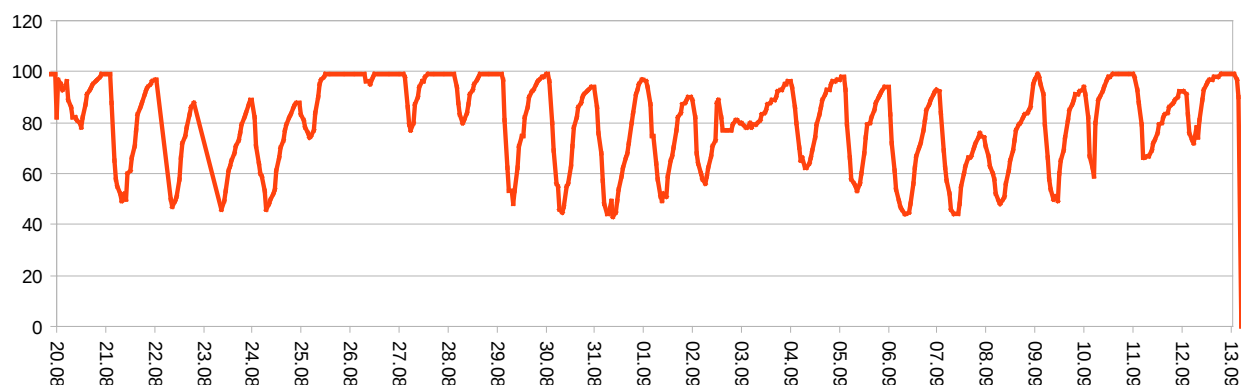
Data atmosférických měření byla převzata z nejbližší veřejné meteorologické stanice. A to přesně meteostanice Slapy - "Okály". Byla zpracována do přehledných tabulek a grafů, které byly posléze vyhodnocovány společně s měřenými body a oblastmi. Na grafech teploty, vlhkosti, tlaku a deště je několik výrazných okamžiků. Zejména jsou významné souvislé srážky od 25. do 29. srpna a od 9. do 13. září. Dále pak souvislé zvyšování teploty 20. - 25. 8., 28. 8. - 1. 9. a 4. - 8. 9.

Atmosférické podmínky - teplota °C



Graf. 1 – Graf teploty vzduchu

Atmosférické podmínky - vlhkost %



Graf. 2 - Graf vlhkosti

Atmosférické podmínky - tlak hPa

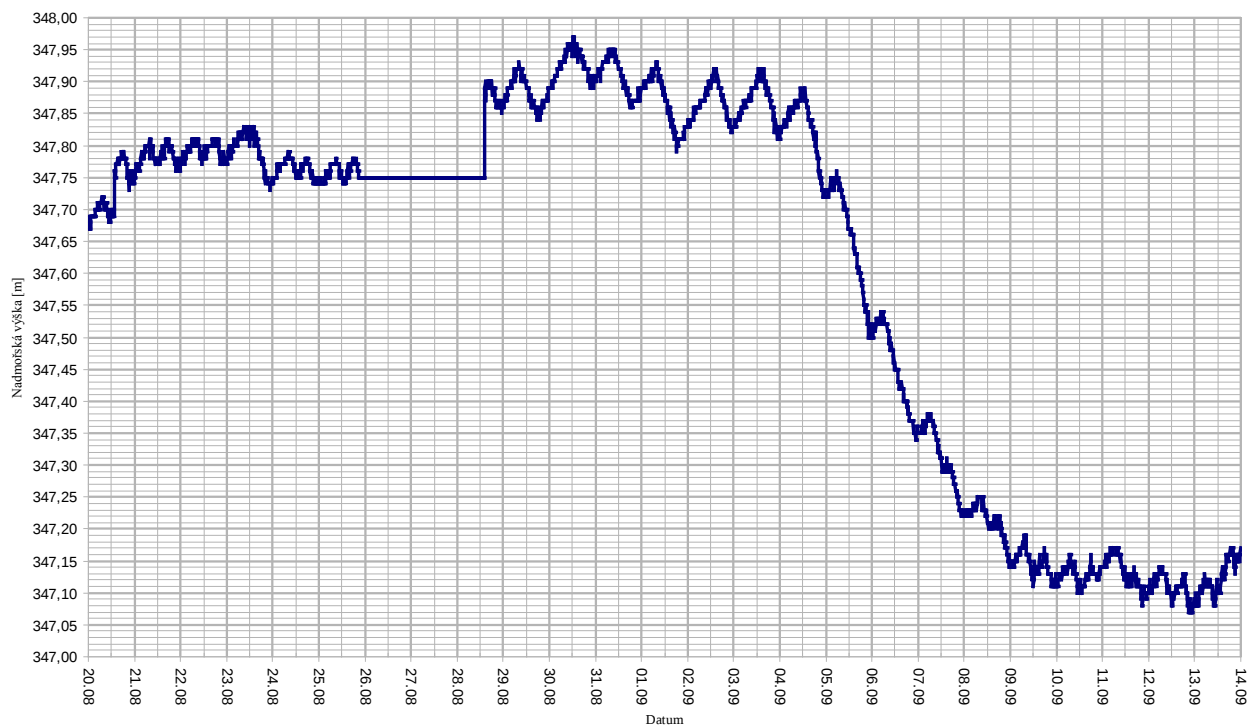


Graf. 3 - Graf atmosférického tlaku

7.2 Údaje o výšce hladiny

Data s údaji o výšce horní a dolní hladiny VD Orlík byla poskytnuta provozovatelem nádrže, kterým je Povodí Vltavy, státní podnik. Data obsahují údaje o odtoku z VD a výšce dolní a horní hladiny v metrech nad mořem (výška hladiny nad a pod hrází). Pro vyhodnocení jsou důležité údaje o výšce horní hladiny a tedy stav zadržovaného objemu (vody), který působí na hráz. Z dat byl vytvořen graf pro vyhodnocení současně s daty o bodech a oblastech (Graf. 4). V datech jsou patrné pravidelné denní pohyby při vypouštění vody z nádrže vždy v dopoledních hodinách. Výraznější posun ve výšce nastává v době mezi 3. a 9. zářím, kdy při výrazném souvislém upouštění klesne hladina o průměrných 75 cm. Toto jsou dva výrazné faktory, jež lze při vyhodnocování sledovat.

VD Orlík - stav Horní hladiny



Graf. 4 - Graf výšky horní hladiny VD Orlík

8 Zpracování měření

8.1 Tvorba výběrové masky

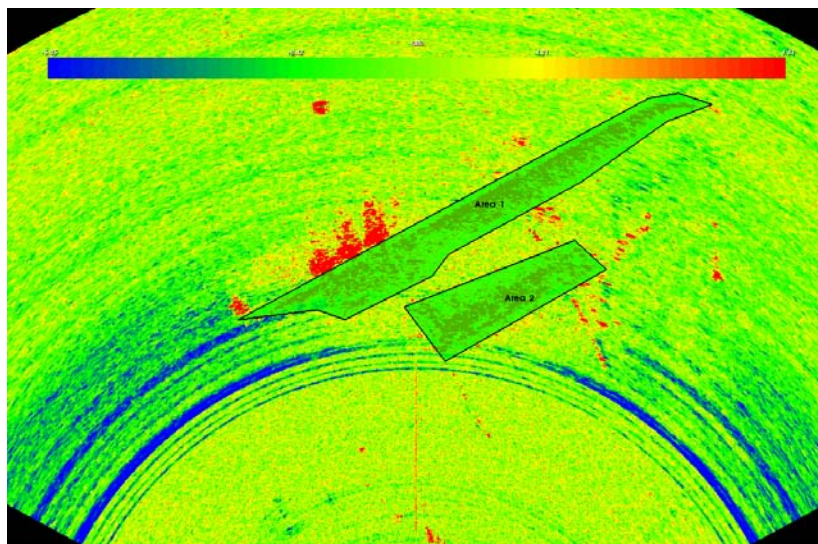
V průběhu výpočtu bylo vytvořeno několik speciálních výběrových masek zaměřených na jednotlivé oblasti vyhodnocení. Právě při tvorbě výběrové masky je třeba rozhodnout o účelu, který má měření splňovat a jaká oblast dat má být analyzována. Z těchto důvodů byly vytvořeny masky pro analýzu tělesa hráze, vrat nouzových přepadů, vrat výpustí pod elektrárnou a elektrárny. Z nich vybíráme na obrázku 8 ukázkou tvorby výběrové masky pro těleso hráze a stavbu elektrárny.

Při vytváření masky byly nastaveny následující parametry:

odhad odrazivosti	4 dB
sla odrazivosti	-150 dB
koherence	85%

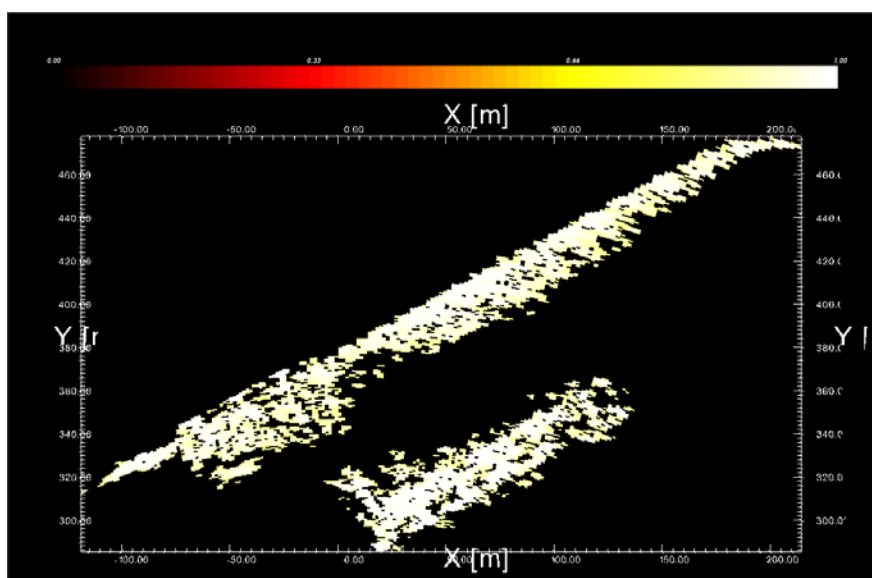
Tab. 4 - Parametry výběrové masky

Možnosti nastavení parametrů odhadu odrazivosti a koherence ovlivňují nejvíce množství vyhodnocovaných bodů. Jsou-li zvoleny body o nízké odrazivosti, může být vyhodnocení jednotlivých oblastí obsahujících tyto body jimi ovlivněno a ztrácí tak na přesnosti.



Obr. 8 - Výběrová oblast na mapě síly odrazu

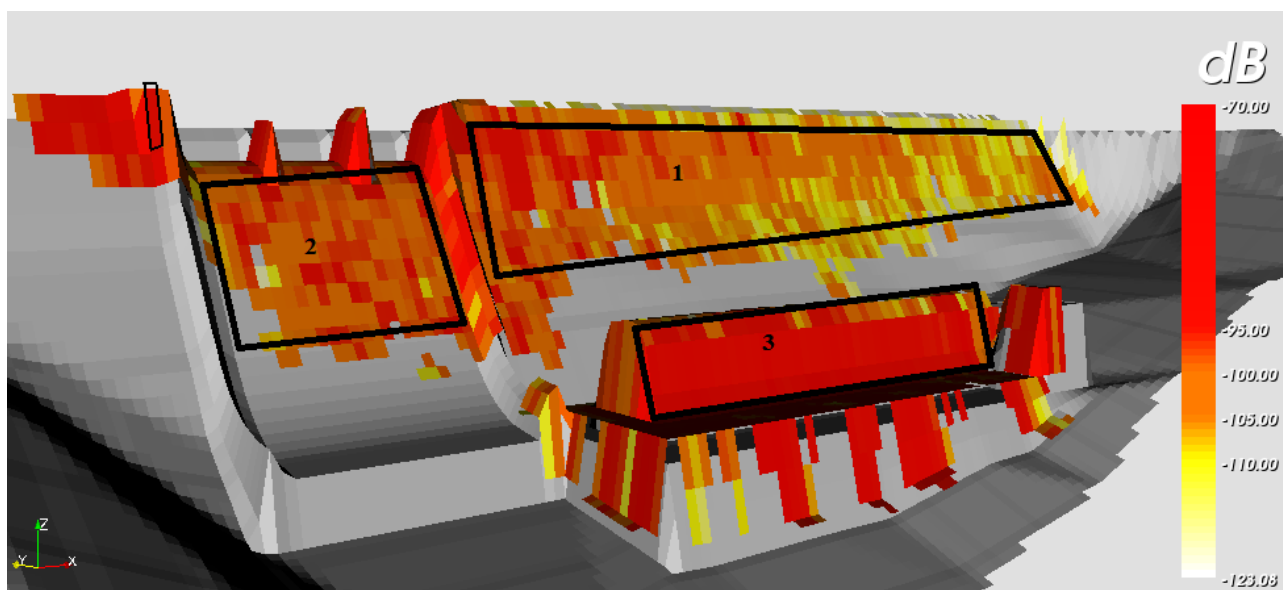
Tato maska byla zvolena proto, že ukazuje největší plochu hráze a elektrárny současně a nejlépe tedy postihuje vzájemné vztahy bodů na jejich povrchu.



Obr. 9 - Výběrová maska s nastavenými parametry

Již z této výběrové masky je zřejmá kvalita odrazu hráze. Těleso hráze velmi málo odráží radarové vlnění. Nejsilnější odraz zaznamenáváme na kovových částech hráze, jako jsou vrata přepadů a vrata výpustí, popř. základnové výpusti. Dobře odráží vrchní část hráze pod korunou (na obrázku 10 označena jako 1 a 2), která není tolik pod hladinou, je vystavena proudění vzduchu a je svislá, tedy se na ní nedrží povrchová voda. Stejně dobře odráží i stavba elektrárny a stavba administrativní budovy (na obrázku 10 označena jako 3), neboť jsou částečně z kovu a díky svislosti zůstávají suché. Většina tělesa hráze pak neodráží tak dobře jako výše uvedené části. Na vině patrně není jen jedna příčina, je to širší souhra okolností:

- stavba je trvale pod hladinou, která ji hydratuje a ochlazuje,
- je vystavena vlivům podnebí, proto po ní při dešti stéká voda,
- není svislá, proto se na ní drží nečistoty, mech atd.



Obr. 10 - Mapa amplitudy - Mapa tlumení signálu

Údaje o skutečné velikosti tlumení signálu udává mapa amplitudy (Obr. 10). Z této mapy je jasně patrný úbytek odrazu se vzdáleností, úbytek odrazu s úhlem odrazu a kvalita a síla odrazu od kovových a suchých, relativně teplejších povrchů.

8.2 Založení projektu

Při založení projektu je uloženo jeho jméno a nastaveno zda se má automaticky začínat vyhodnocení po 5ti minutách nečinnosti. Tato volba se hodí při průběžném načítání dat z radaru. Při vyhodnocení v kanceláři až po provedení měření (offline), se však doporučuje tuto možnost nevyužívat a spouštět výpočet manuálně.

8.2.1 Nastavení jednotky IBIS

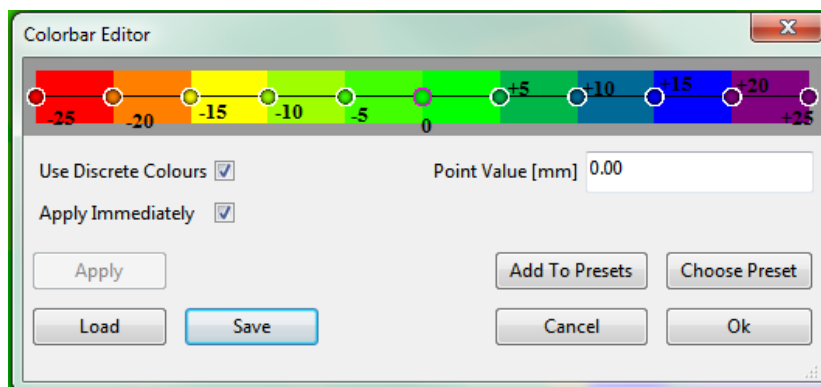
V první řadě se nastaví jméno jednotky, nebo lze použít dříve připravenou jednotku. V druhém sledu se nastaví rozměry DMT nebo rozměry prázdného DMT (plain), souřadnice stanoviště a jeho výška s orientací. Následuje import samotného DMT. Program umožňuje výběr mezi jednotkami soustavy SI a anglosaskými (stopy). V závěru je třeba nastavit výběrovou masku, způsob výpočtu a datum, od něž začne výpočet.

8.3 Automatická tvorba protokolů

Při výpočtu byla nastavena automatická tvorba protokolů. Ty slouží ke kontrole výpočtu, zda je správně nastavena výběrová maska a DMT. V protokolech byl nastaven výpočet vždy od začátku měření.

8.4 Nastavení barevných škál

Při výpočtu bylo využíváno několik barevných škál na více mapách. Na mapě posunů byly používány škály pro zvýraznění bodů pohybujících se ojedinele a trvale, a tyto body potom byly analyzovány. Na mapách rychlostí byly používány také dvě škály pro zvýraznění rychle se pohybujících bodů a trvale se pohybujících bodů (Obr. 11).



Obr. 11 - Barevná škála pro analýzu pohybu bodu

Pro mapy odhadu odrazivosti a amplitudy tlumení postačí jedna škála, která postihne celé možné spektrum hodnot (Obr. 10 po pravé straně).

9 Vyhodnocení

Nejprve je třeba provést identifikaci a analýzu bodů podezřelých z chybně určených (ze statistického hlediska odlehlých) pohybů a poté lze přistoupit k vlastnímu vyhodnocení. Vlastní vyhodnocení je pak rozděleno na dvě základní části, vyhodnocení pohybu bodů (jednotlivých pixelů) a vyhodnocení pohybu oblastí (několika sousedících pixelů). Další možným dělením je sledování hráze jako celku nebo exponovaných částí. Vyhodnocení vychází z celého souboru všech měření (délka observace).

9.1 Identifikace a analýza bodů podezřelých z chybně určených pohybů

Identifikace bodů podezřelých z pohybu je v programu IBIS Guardian řešena jejich barevným zvýrazněním. Na mapě pohybu celé hráze jsou jasně barevně zvýrazněny body, které vykazují výrazný (neočekávaný) pohyb vzhledem ke svému okolí za celou dobu sledování a to ve směru kolmém na těleso hráze: kladné pohyby směrem od radaru (modrá barva) a záporné pohyby směrem k radaru (červená barva).



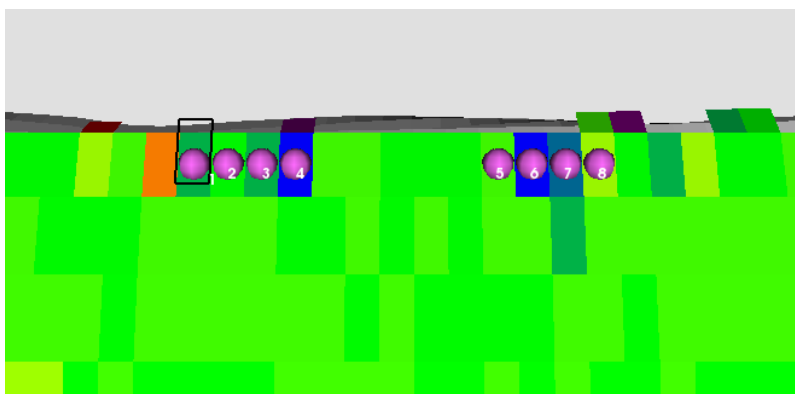
Obr. 12 - Oblasti s body podezřelými z chybně určeného pohybu

Z hlediska umístění bodů na tělese hráze je můžeme rozdělit do tří oblastí:

- oblast 1 – body na koruně hráze,
- oblast 2 – body na skloněné části hráze,
- oblast 3 – body na budově elektrárny.

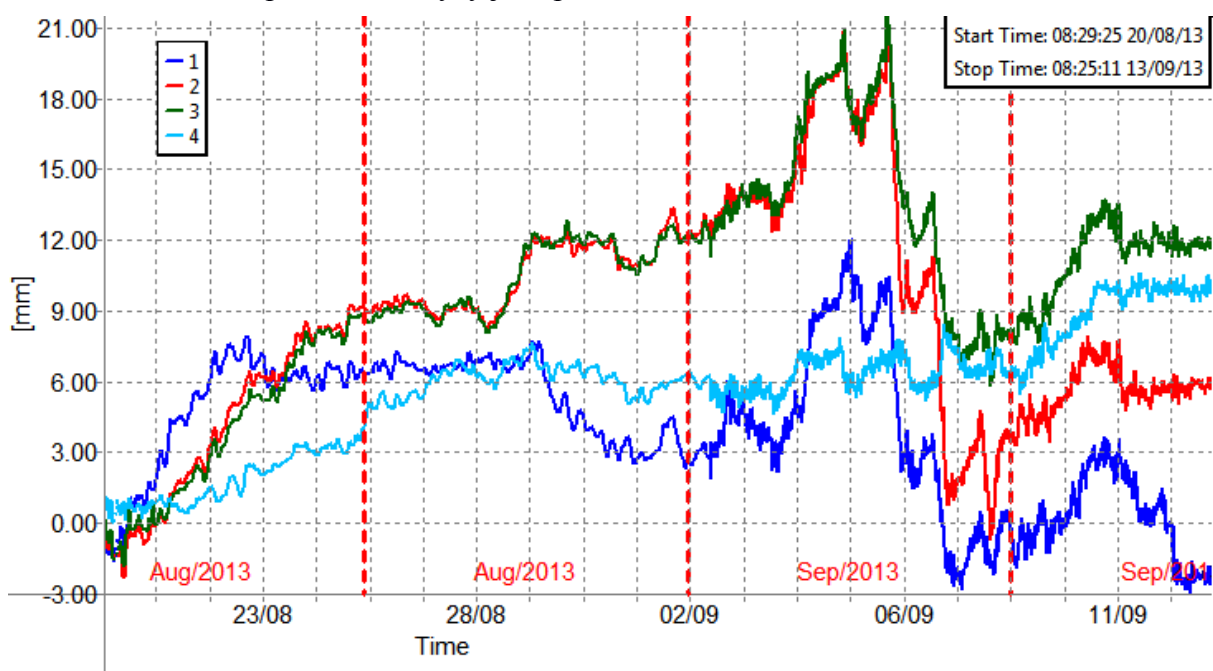
9.1.1 Body na koruně hráze

Na koruně hráze jsou na obrázku 13 viditelné pixely se směrem pohybu od radaru. Z analýzy jejich pohybu a jejich polohy podle zaměření totální stanic a porovnáním s fotografickou dokumentací bylo zjištěno, že tyto body jsou ovlivněny pohybem lamp veřejného osvětlení a zábradlí, na němž tyto lampy stojí a které spadají do příslušných pixelů.

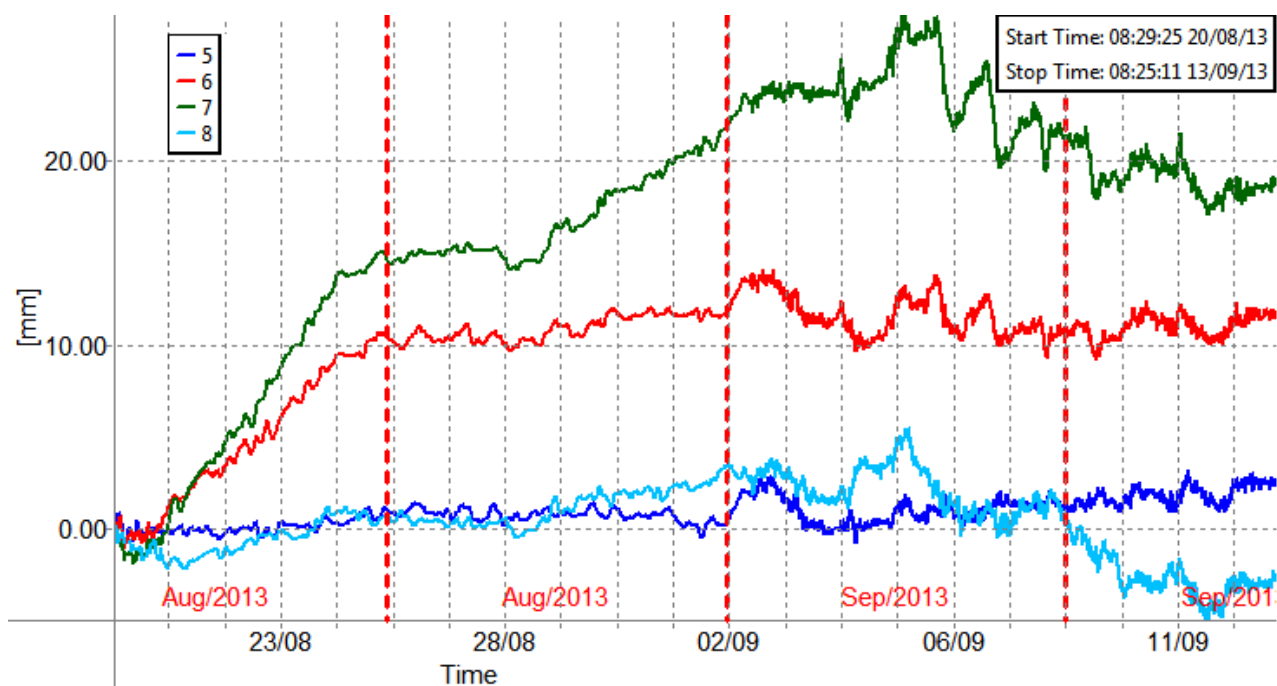


Obr. 13 - Rozložení analyzovaných pixelů na koruně hráze

K pohybu dochází vždy za větrného počasí. Body sice zdánlivě vykazují dobrou odrazivost a nízké tlumení signálu, ale vlivem chvění železné konstrukce veřejného osvětlení dochází k chybnému určení jejich zdánlivého neustálého pohybu a tím k ovlivnění vyhodnocení celých příslušných pixelů. Pohyby těchto konkrétních pixelů (bodů) na koruně hráze je tedy třeba považovat za chybně určené, nevěrohodné a pro další analýzy je nepoužívat.



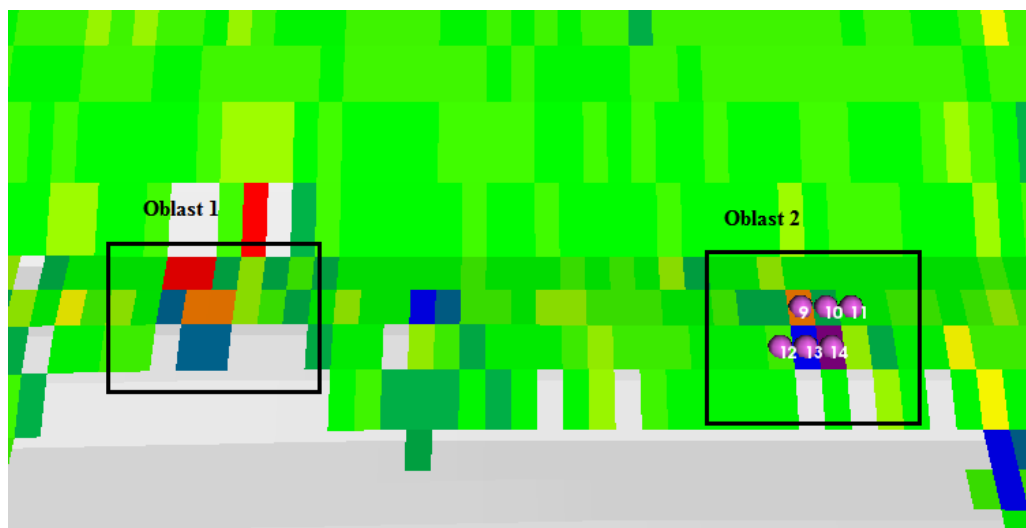
Graf. 5.1 – Pixely 1,2,3,4 na koruně hráze podezřelé z chybně určeného pohybu



Graf 5.2 – Pixely 5,6,7,8 na koruně hráze podezřelé z chybně určeného pohybu

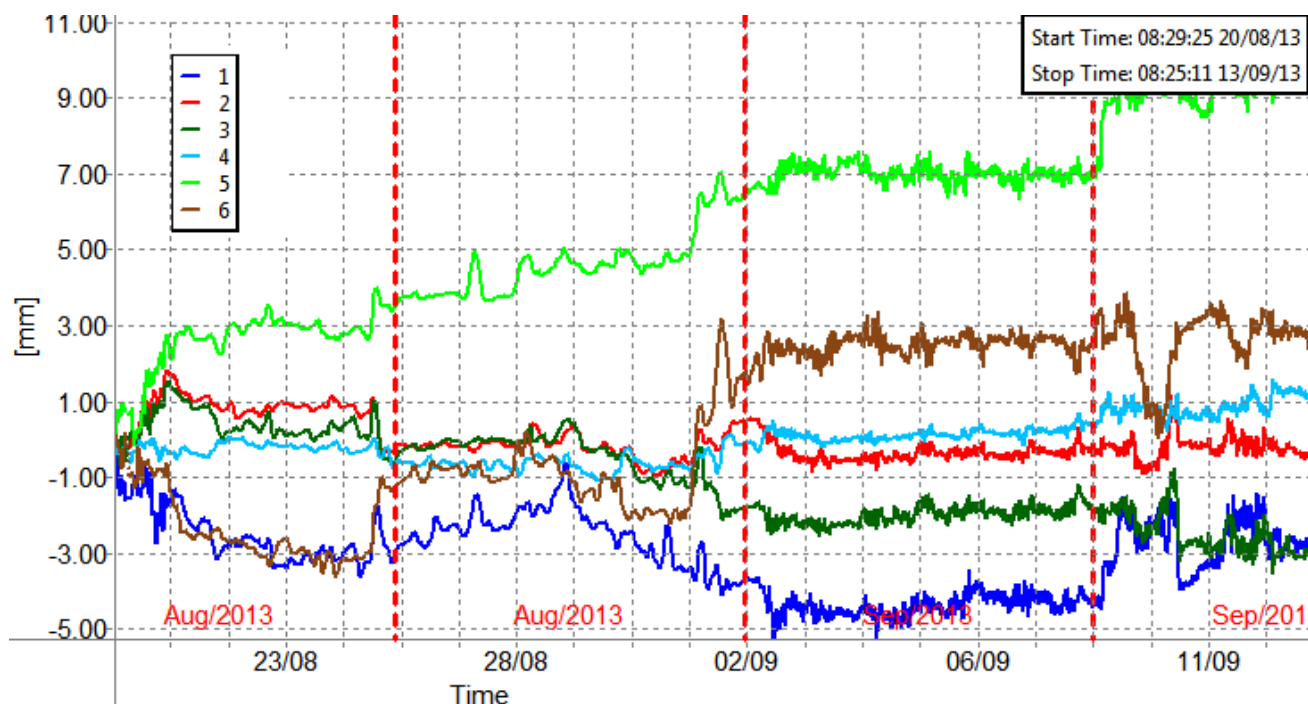
9.1.2 Body na skloněné části hráze

Na celé ploše hráze (mezi korunou a patou) jsou jen dvě oblasti, které jsou podezřelé z výrazného neočekávaného pohybu. Každá se má pohybovat opačným směrem a se žádnou se ekvivalentně nepohybuje její okolí. Z porovnání polohy bodů na mapě pohybů a fotografií pořízených během měření vyplývá, že se jedná o místa, v nichž jsou do hráze ukotveny vodící dráty elektrického vedení z elektrárny.



Obr. 14 – Oblasti a body podezřelé z chybně určeného pohybu na skloněné části hráze

Ukázka jednoho takového místa je na obr. 14 a grafu 6.

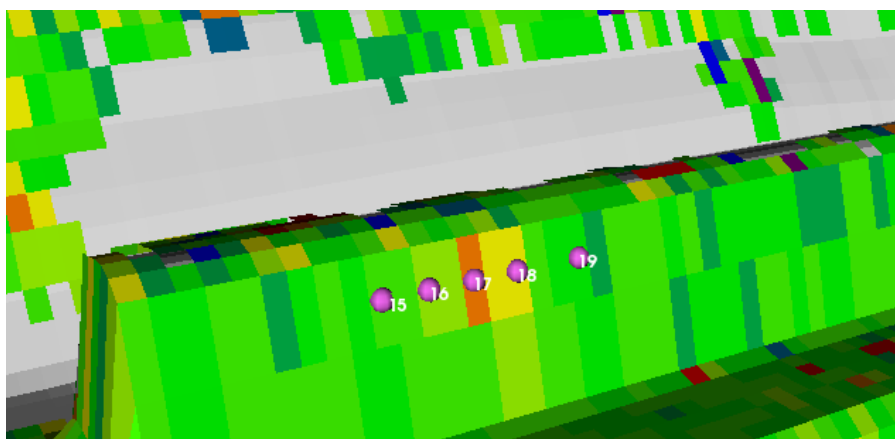


Graf. 6 - Body podezřelé z chybně určeného pohybu na skloněné části hráze

Na grafu jsou zřetelné výrazné skoky ve velikostech pohybů, které jsou nejspíše způsobeny odrazy signálu od chvějících se ukotvených vodičů a tedy překročením mezního pohybu při fázovém měření což, vedlo k chybnému vyhodnocení. I u těchto pixelů (bodů) je tedy třeba považovat jejich pohyby za chybně určené a pro další analýzy je nepoužívat.

9.1.3 Body na budově elektrárny

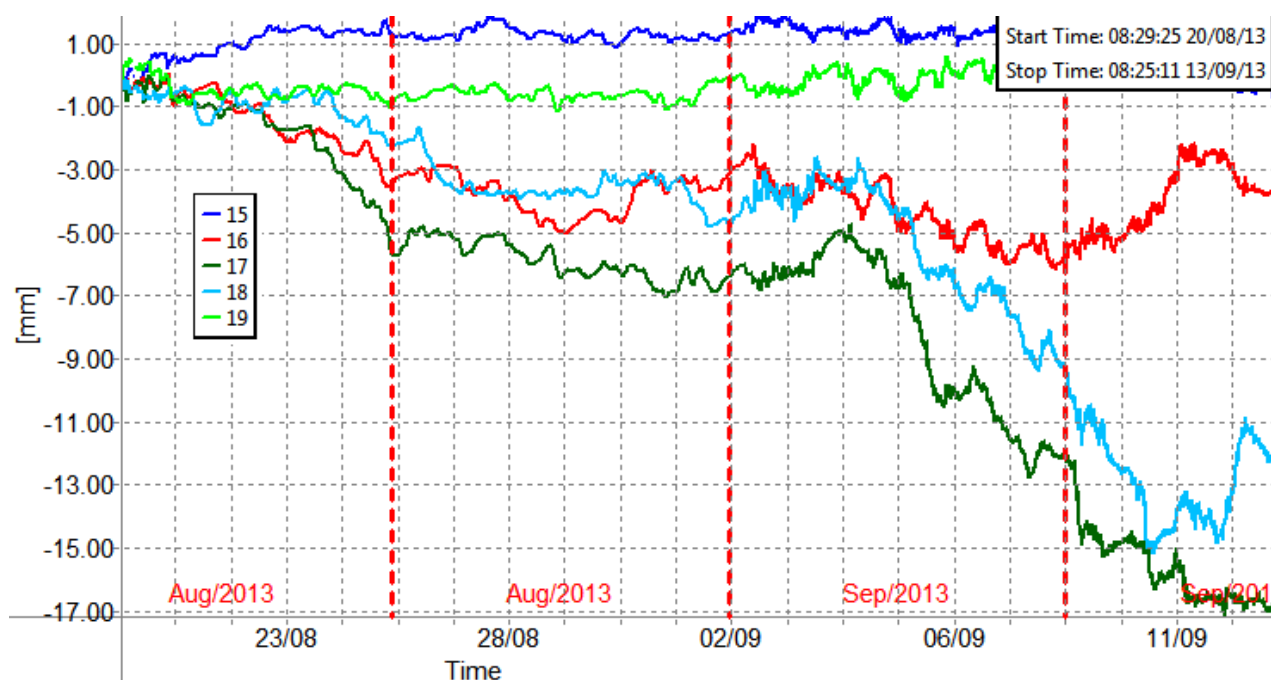
Na celé budově elektrárny se vyskytuje jen jedna oblast (tři sousedící pixely) podezřelá z chybně určeného pohybu. Nachází se přibližně uprostřed stavby na čelní stěně. V těchto místech je před budovou elektrárny umístěna řada transformátorů a k nim vedoucích elektrických vedení.



Obr. 15 - Analyzované pixely na budově elektrárny

Jedním z možných vysvětlení pohybu těchto tří pixelů bez pohybu dalšího okolí je přítomnost jiného odrazu. Další možností je chvění vyvolané pracovním režimem transformátoru nebo

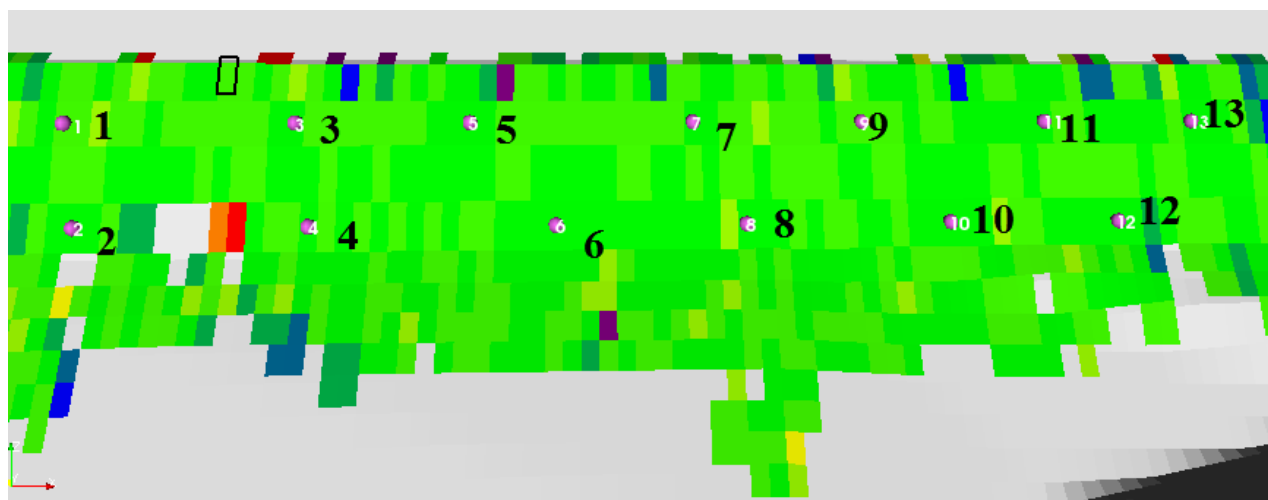
pohybem trakčního vedení. I u těchto pixelů (bodů) je tedy třeba považovat jejich pohyby za chybně určené a pro další analýzy je nepoužívat.



Graf. 7 - Body podezřelé z chybně určeného pohybu na budově elektrárny

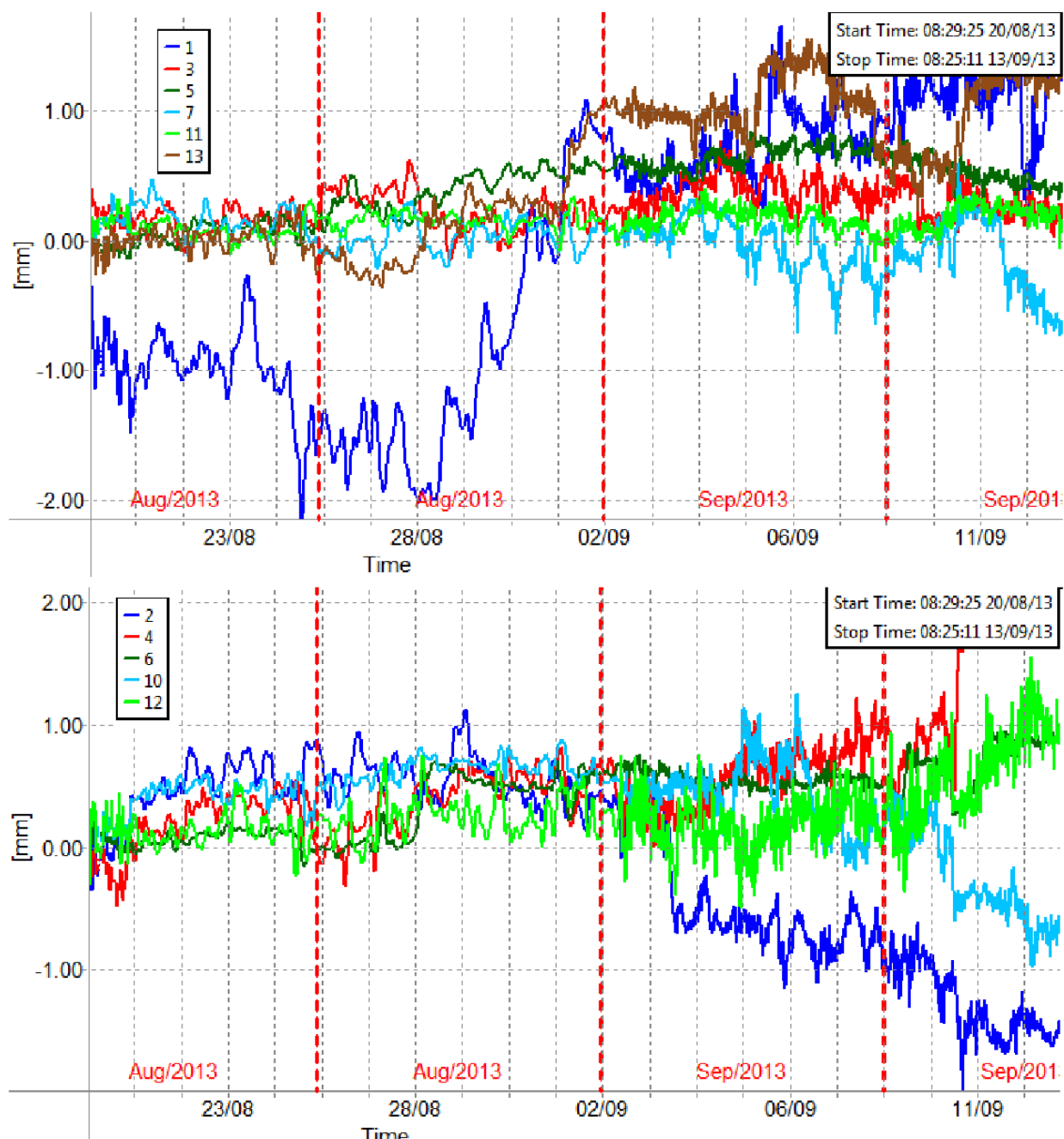
9.2 Analýza pohybů jednotlivých bodů pod korunou hráze

Pro analýzu pohybů jednotlivých bodů tělesa hráze byly vybrány body pod její korunou na větší ploše. Ve dvou řadách byly zvoleny body pokrývající uvedenou část hráze podle Obr. 16.



Obr. 16 - Vybrané body pro analýzu pohybu plochy hráze

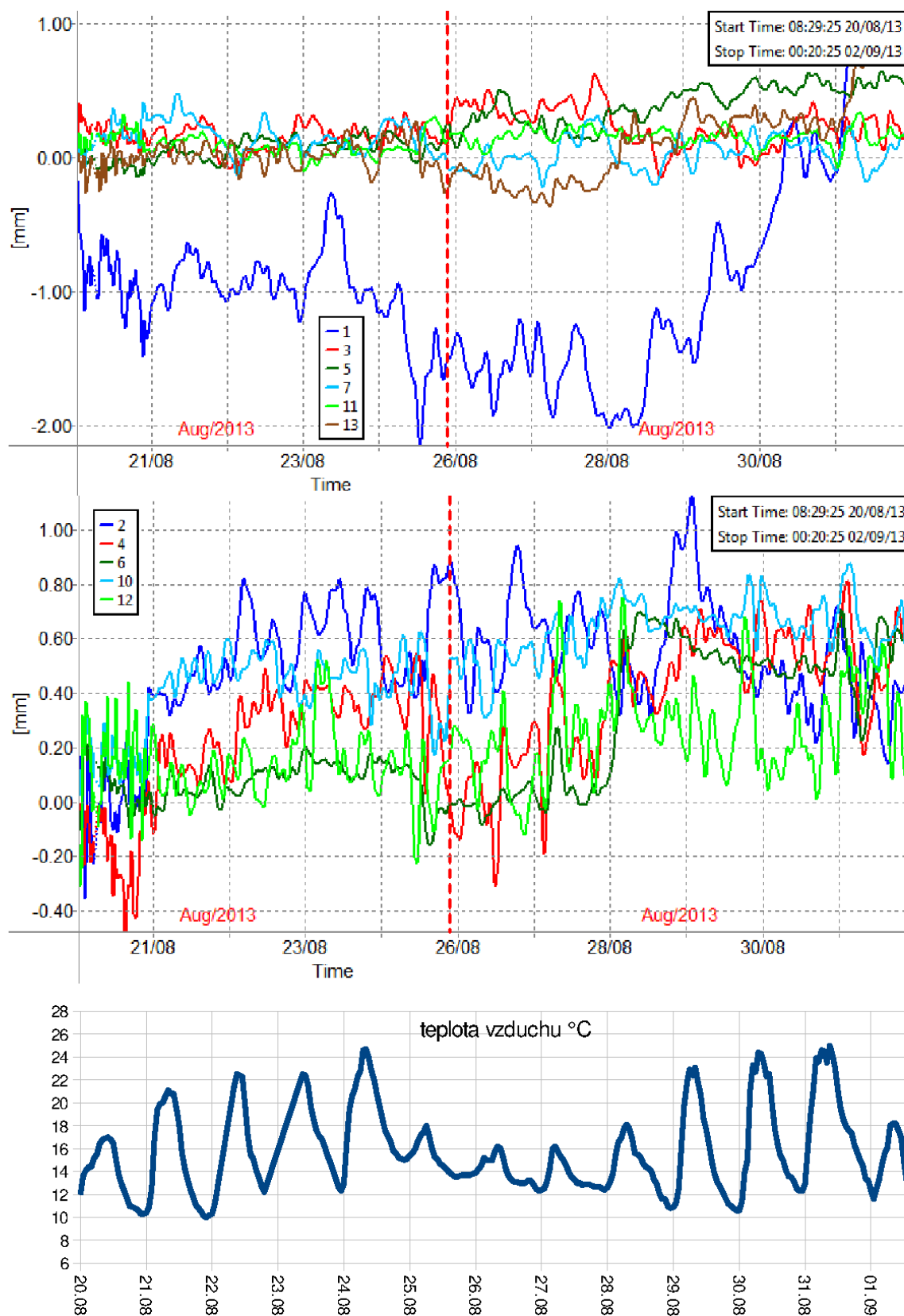
Vyhodnocený pohyb vybraných bodů za celou dobu observace se nachází na grafu 8. Pohyby zde dosahují dle bodů velikosti od -2 mm do +2 mm.



Graf. 8 - Pohyby vybraných bodů za 24 dní

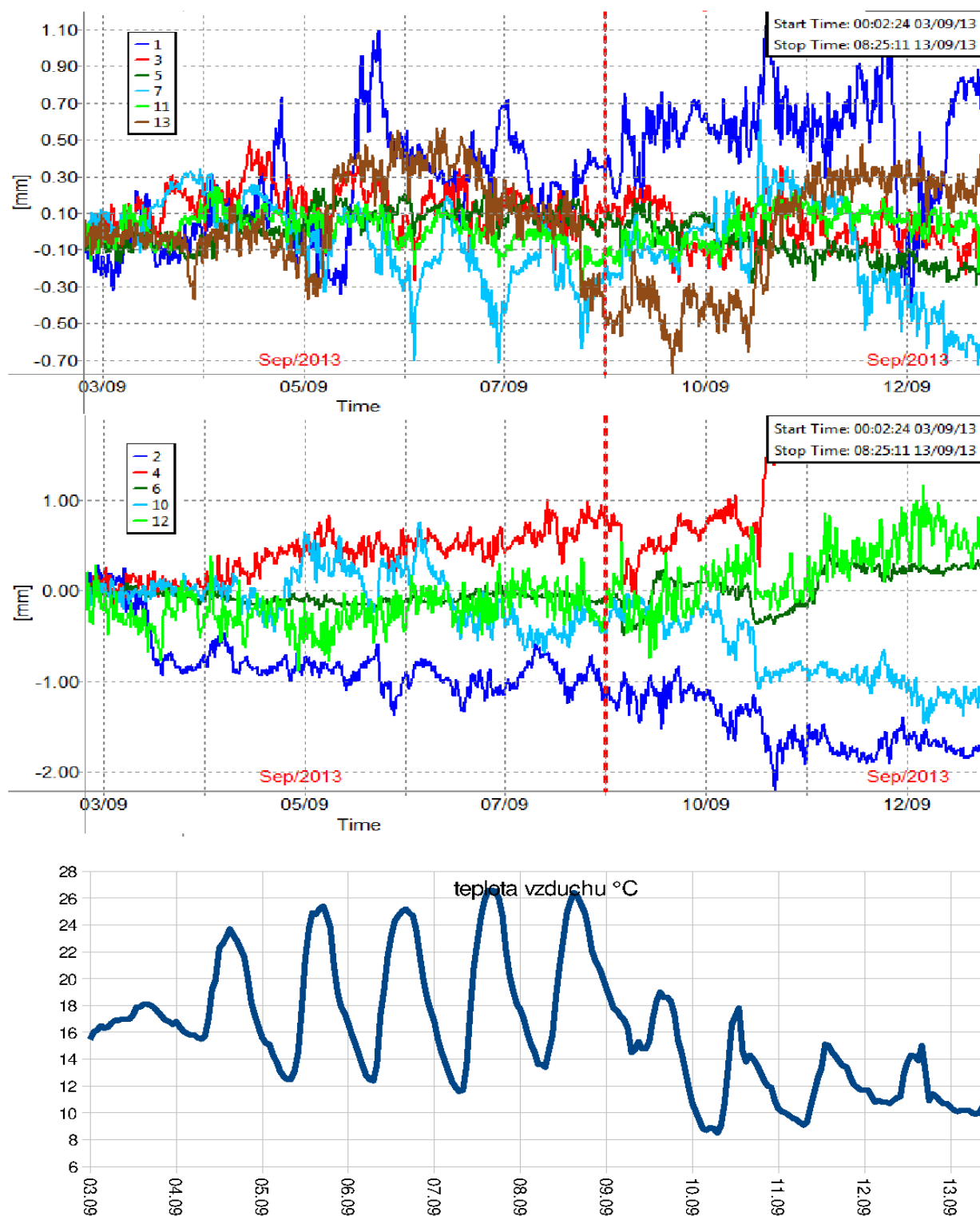
Následuje zobrazení pohybů bodů rozdělené do dvou částí – prvních 13 dní měřených s intervalem měření 30 min a následujících 11 dní měřených s intervalem měření 5 min, tj. s nejkratším možným intervalem. Hodnoty posunů na grafech vždy začínají od nuly na ose Y. K hodnotám posunů na grafu druhé poloviny měření a na grafu náhledu jednoho dne je tedy pro získání celkového posunu potřeba připočítat posun, který daný bod má na grafu celkových pohybů při počátku detailu.

Na grafu 9 sledujeme prvních 13 dní měření s intervalem měření 30 minut. V náhledu je vidět pohyb bodů na tělese hráze v závislosti na změnách teploty vzduchu.

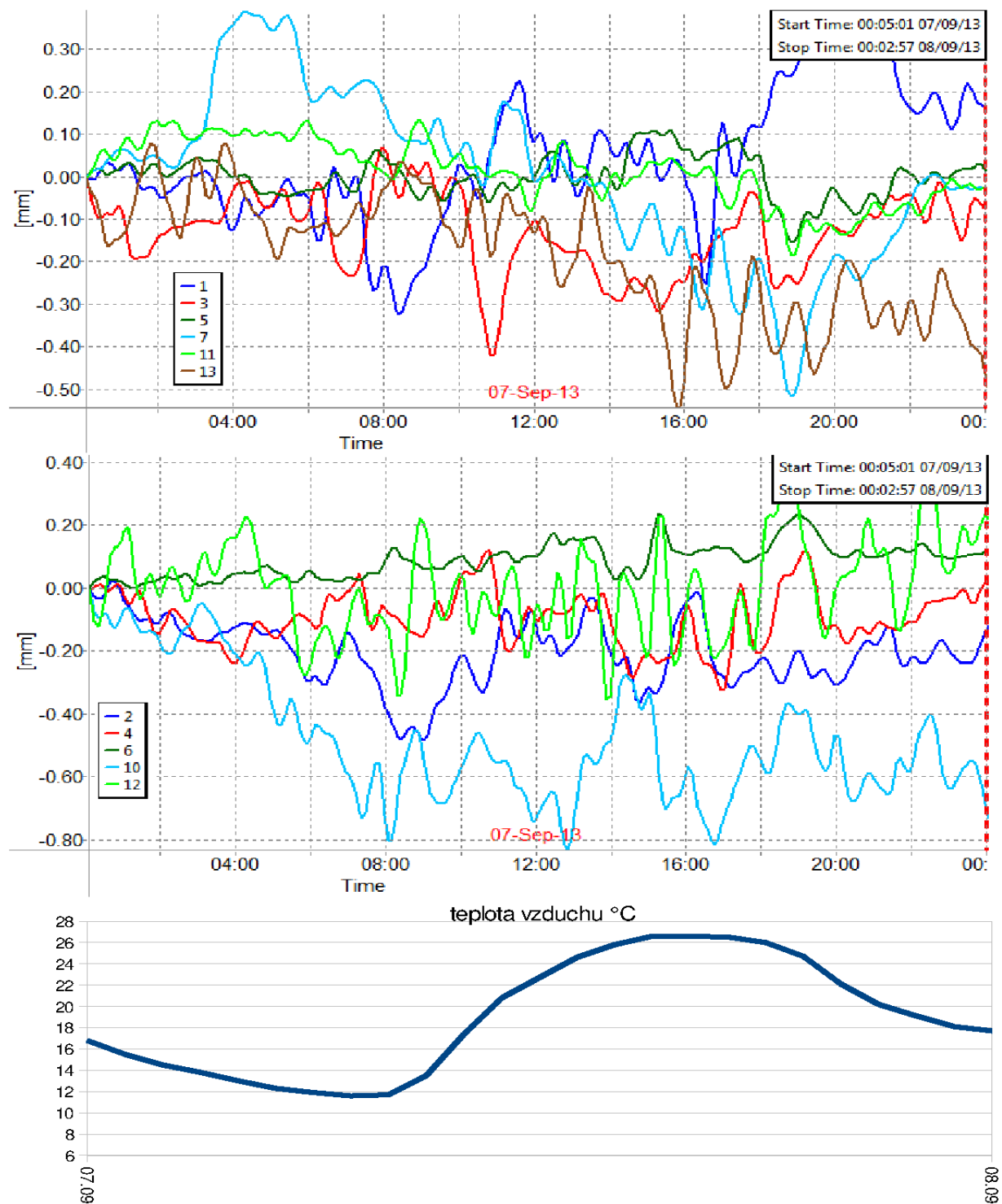


Graf. 9 – Porovnání vyhodnoceného pohybu za 13 dní s intervalem měření 30 minut

Na grafu 10 sledujeme druhou polovinu měření s 11ti denními daty s intervalem měření 5 minut. Jsou zjevné určité trendy pohybů, které by si zasloužily delší sledování a podrobnější rozbor. Opět se jedná i o závislosti na teplotě resp. oslunění hráze.



Graf. 10 - Porovnání vyhodnoceného pohybu za 11 dní s intervalem měření 5 minut



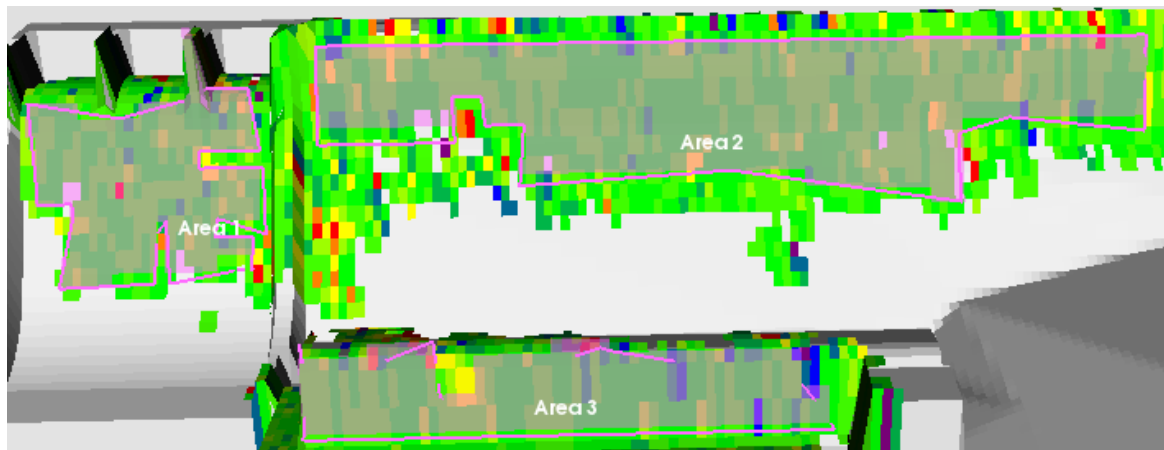
Graf. 11 - Porovnání vyhodnoceného pohybu za jeden den - s intervalem měření 5 minut

Na grafu 11 je ukázka podrobnosti měření během jednoho dne.

9.3 Analýza pohybů jednotlivých oblastí jako celků

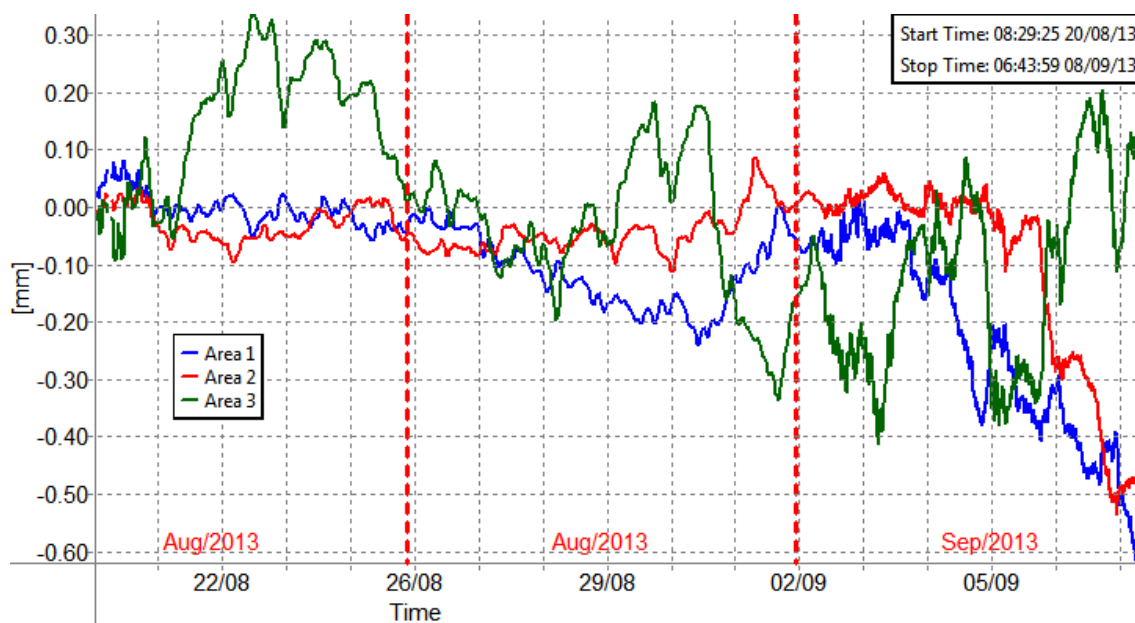
Hráz VD Orlík si můžeme rozdělit na tři hlavní plochy (Obr. 1).

- plocha hráze ohraničená korunou bezpečnostními přelivy a zemí (Area 1)
- plocha bezpečnostních přelivů (Area 2)
- plocha stěny budovy elektrárny (Area 3)



Obr. 17 - Mapa oblastí, volených tak, aby neobsahovaly vyloučené body

Graf vyhodnocující pohyb celých oblastí průměruje pohyb všech jednotlivých pixelů v oblasti zahrnutých. Na následujícím grafu Graf. 12 je současně zobrazen pohyb všech tří oblastí za celou dobu sledování. Je možno konstatovat, že pohyby oblastí hráze a přelivů mají přibližně stejnou tendenci. Rozdíly v jejich pohybech jsou na hranici přesnosti měření (0,1mm). Oblast stěny elektrárny se naopak pohybuje jinou rychlostí a střídavě opačným směrem vzhledem k určenému směru pohybu hráze. V případě hráze je možné sledovat souvislost mezi teplotou vzduchu a pohybem hráze především v době od 4. do 8. září, kdy docházelo k oteplování a zároveň k souvislému odpouštění hráze. To může být zdůvodněním pohybu hráze o cca - 0,6 mm. Pro podrobnější rozbor a zjištění dalších periodických pohybů této konkrétní hráze by bylo třeba delší doby observace.



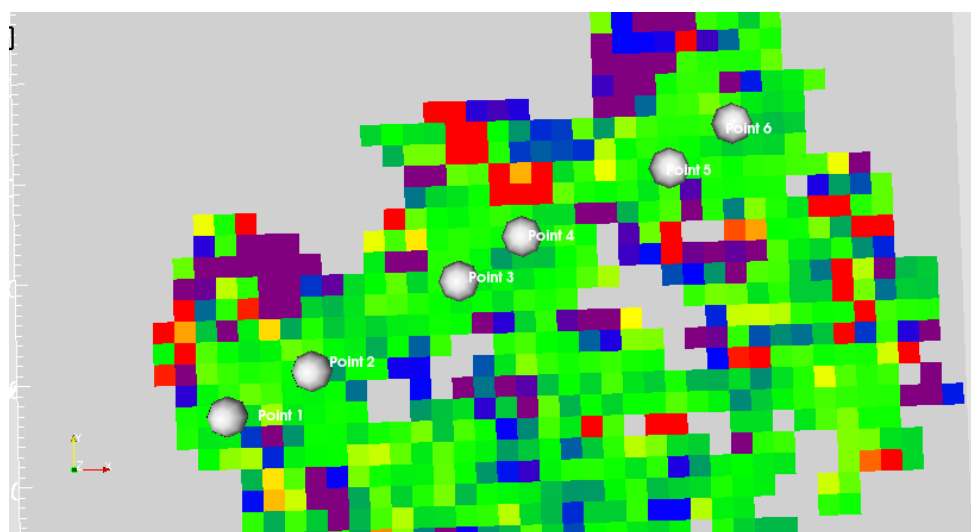
Graf. 12 - Pohyby celých oblastí

9.4 Vyhodnocení pohybu uzávěrů bezpečnostních přelivů

Jako součást celkového vyhodnocení byla vyčleněna analýza pohybů deskových uzávěrů bezpečnostních přelivů. Podle předpokladu se na této části hráze měl vliv tlaku vodního sloupce na malou plochu zřetelně projevit. Analýza je rozdělená opět na dvě části: vyhodnocení bodové a plošné.

9.4.1 Vyhodnocení jednotlivých bodů

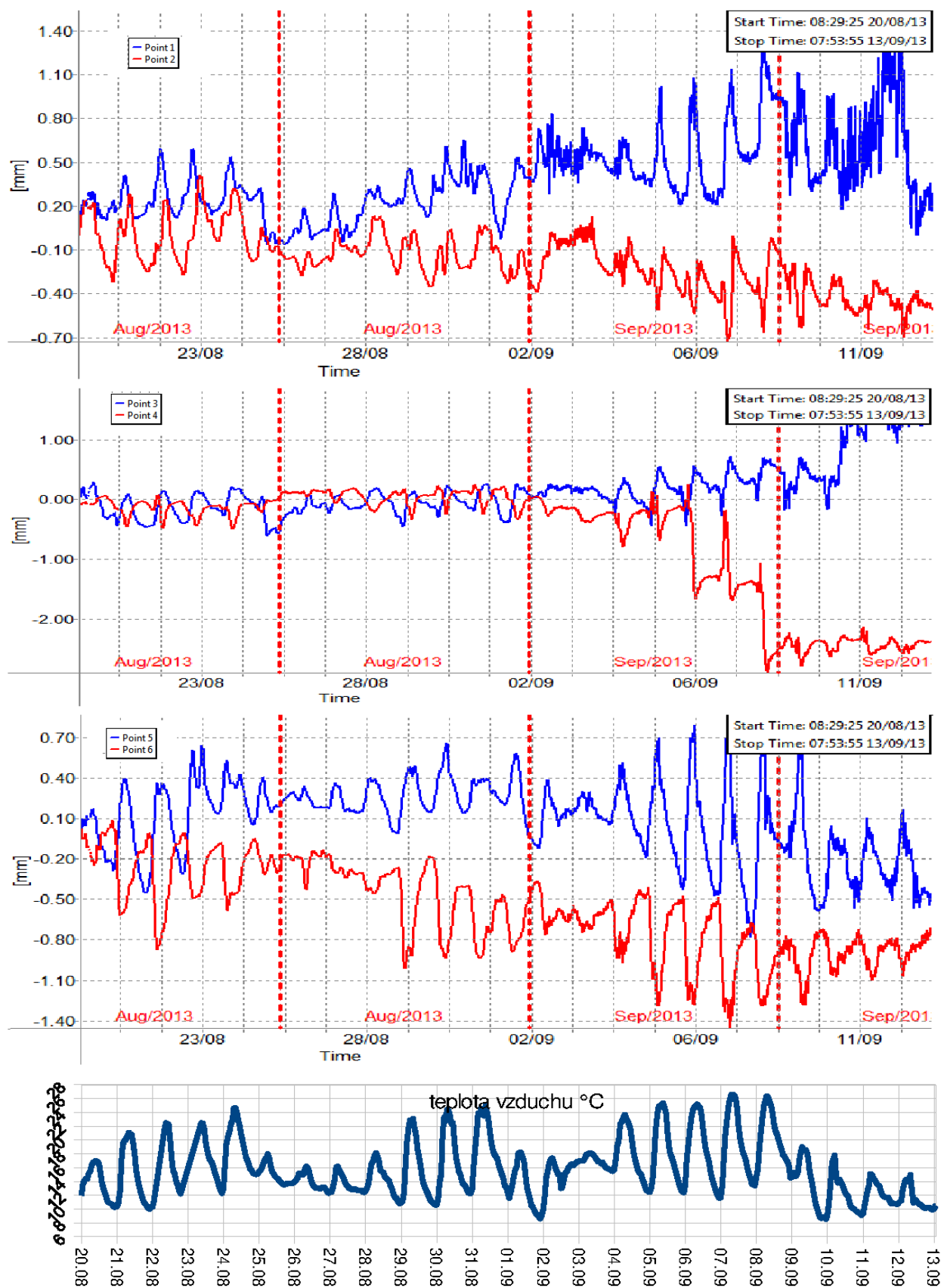
Nejprve bylo přistoupeno k analýze pohybů jednotlivých pixelů na ploše bezpečnostních uzávěrů. Na Obr. 18 je patrné, že z měřených dat je nesnadné určení polohy vrat. Vrata se z pohledu radaru nacházejí za rovinou plochy hráze v podhledu a ze všech stran obklopeny zdí. Při jejich měření tak může docházet k velkým interferencím s okolím a velkému ovlivnění kvality signálu.



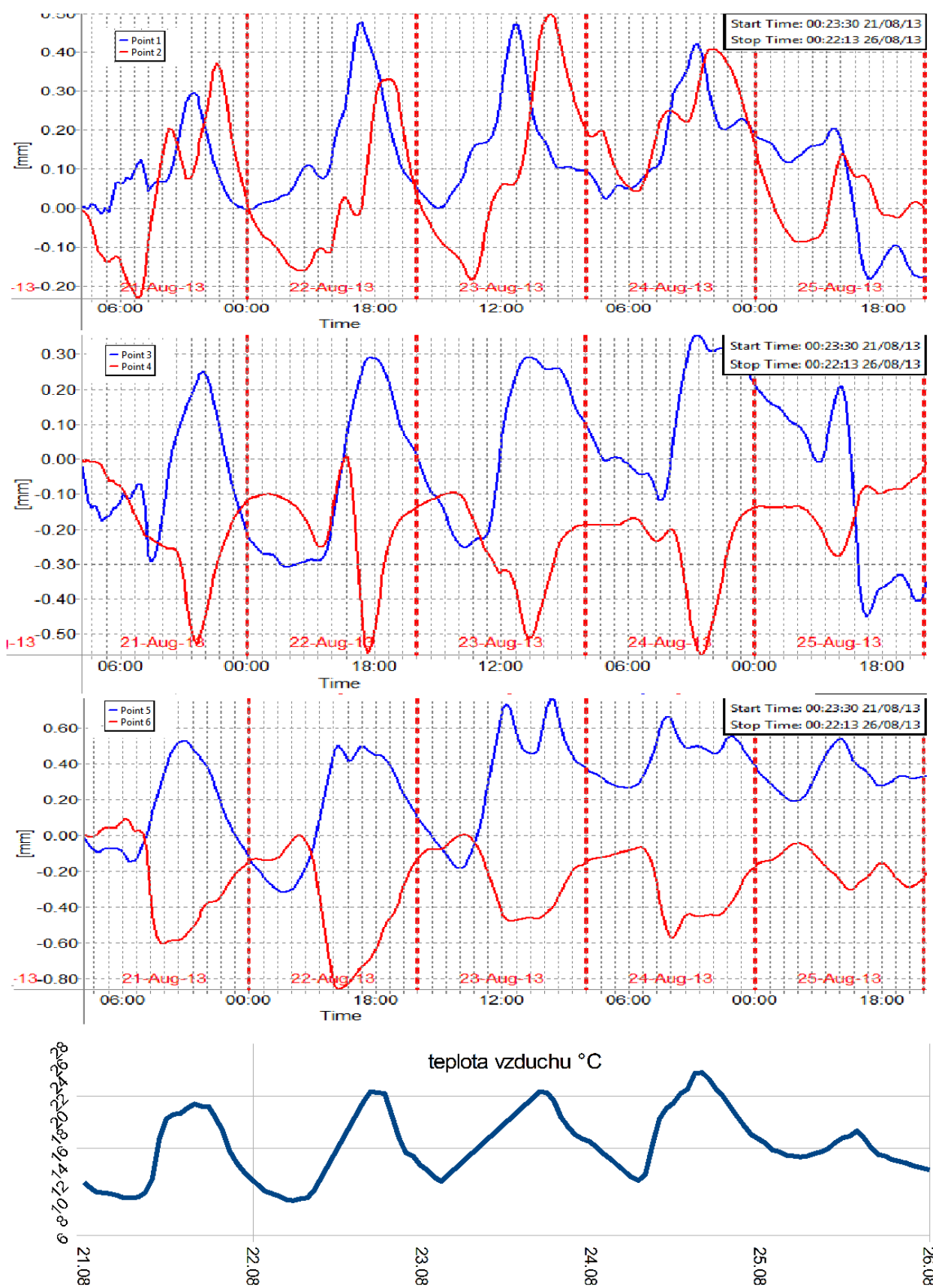
Obr. 18 - Rozložení vyhodnocovaných bodů na vratech přepadů

Z analýzy grafu pohybů jednotlivých bodů lze usuzovat na vliv výšky vodní hladiny, teploty a dalších vnějších vlivů na pohyby vrat. K periodickým pohybům bodů dochází vždy při déle trvajícím období oteplování (oslunění) a naopak při dešti je pohyb omezen a kvalita odrazu signálu není valná.

Podrobněji na detailu Graf. 14. Měření názorně ukazuje přesnost radaru IBIS-L v řádu 0,1 mm, grafy jsou hladké a pohyby na sebe plynule navazují. Není bez zajímavosti, že zatímco v případě dvojice bodů 1-2 dochází k souhlasnému periodickému pohybu, tak v případě dvojic bodů 3-4 a 5-6 dochází vždy k protichůdným periodickým pohybům. Lze z toho usuzovat na charakter (způsob) pohybu jednotlivých vrat bezpečnostních přelivů.



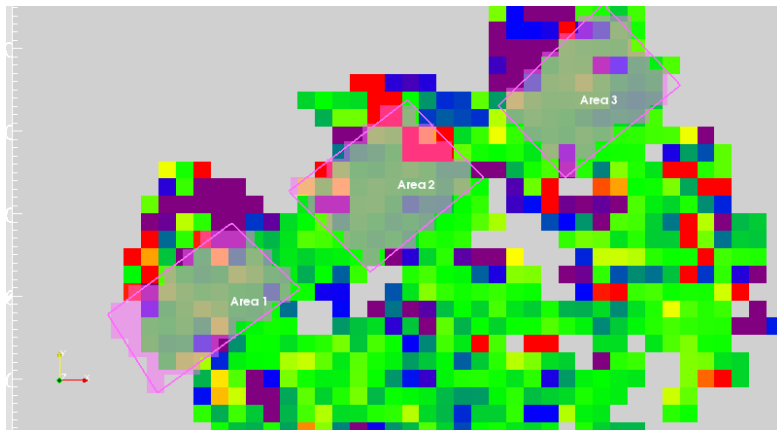
Graf. 13 - Pohyb vybraných bodů na vratech bezpečnostních přelivů



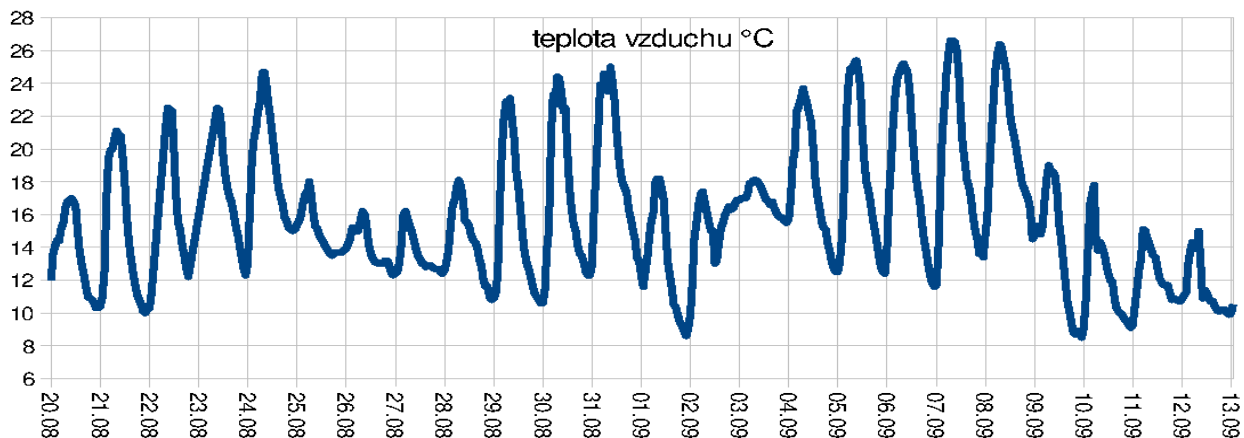
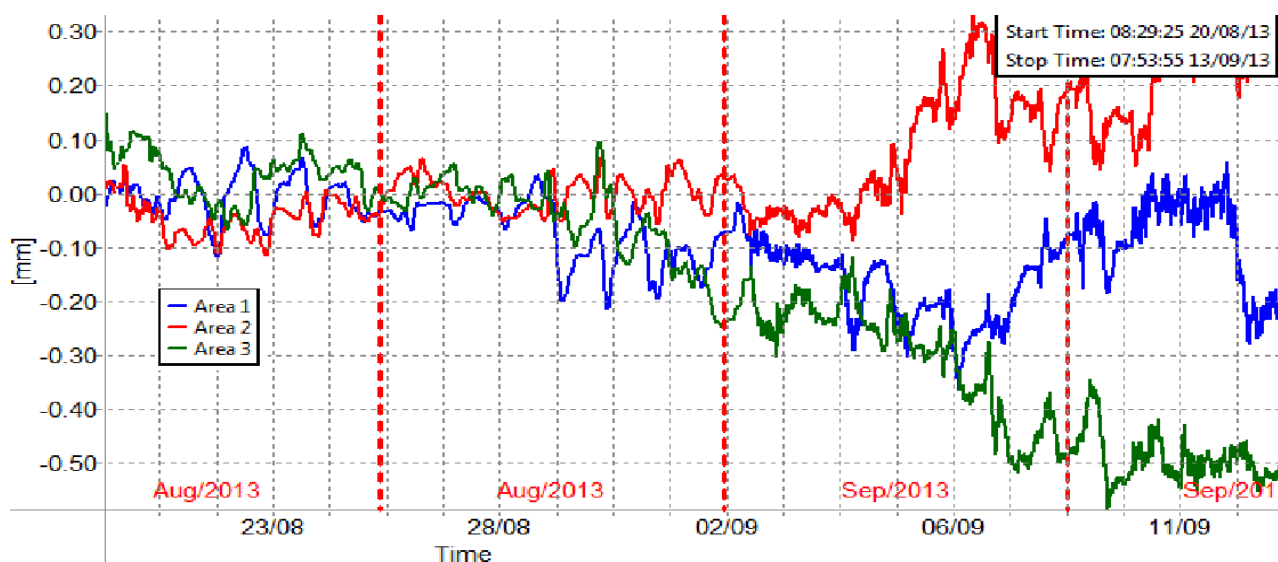
Graf. 14 - Detail pohybu vybraných bodů na vratech bezpečnostních přelivů od 21.8 do 25.8

9.4.2 Vyhodnocení celých oblastí

V druhém kroku byl analyzován pohyb celých desek vrat (uzávěrů). Na obrázku a grafu je patrná volba obvodů vyhodnocovaných oblastí a jejich měřený pohyb. Analýza pohybů dává výsledky o velikostech od -0,4 mm do +0,4 mm za celou dobu sledování (24 dní) s rychlostí změn v řádu cca 0,1 mm za hodinu. Z porovnání s grafem teploty vzduchu je patrná závislost mezi dobou oteplování a pohybem vrat.



Obr. 19 - Volba oblastí vyhodnocení uzávěrů



Graf. 15 - Pohyb desek segmentových uzávěrů

10 Výstupy

Výstupem jsou hodnoty a grafy pohybů nebo rychlostí pohybů bodů a oblastí, mapy pohybů, mapy rychlostí, mapy síly odrazu. Jak bylo uvedeno vyhodnocení lze dělit použitou výběrovou maskou či použitým rozlišením. Dalšími výstupy jsou porovnání s atmosférickými daty a s daty o stavu výšky hladiny. V případě známých pracovních procesů v blízkosti hráze je výsledkem i vyznačení takovýchto procesů do výsledných grafů.

11 Závěr

Výše popsaným měřením bylo ověřeno, že pozemním interferometrickým radarem je možno úspěšně sledovat vodorovné pohyby hrází údolních přehrad. Úspěšnost a kvalita vyhodnocení závisí na kvalitě odrazu, kterou hráz poskytuje. Kvalita odrazu pak závisí na poloze a natočení hráze, sklonu její stěny a materiálu, z něhož je postavena. Bylo ověřeno, že lze měřit téměř za jakéhokoli počasí, pokud je jeho průběh zaznamenáván a při vyhodnocení je vyloučen jeho nežádoucí vliv. Bylo dále ověřeno, že lze měřit a vyhodnocovat měření bez nutnosti jeho přerušení po neomezeně dlouhou dobu (24 hodin, 7 dní v týdnu). Měření není závislé na okolí a není jím nijak ovlivněno. Měření není rušeno nežádoucími jevy, které se mohou před nebo pod hrází objevovat, neboť je vždy prováděno s odstupem od objektu. Může však být v některých bodech hráze ovlivněno vícenásobnými odrazy signálu nebo odrazy od různých rušivých součástí hráze (ukotvení drátů elektrického vedení, pohyby zábradlí či lamp osvětlení na koruně hráze atd.).

Bylo současně ověřeno, že vodorovné pohyby konkrétní zkušební hráze údolní přehrady Orlík nabývají takových hodnot a probíhají takovou rychlostí, že je nutné provádět dlouhodobé observace. Jedná se především o periodické pohyby v závislosti na různých vnějších vlivech, jako jsou teplota, oslunění přehradní zdi, změna výšky hladiny vypouštěním vody atd.

Postup instalace lineárního skeneru na základnu a instalace pozemního interferometrického radaru IBIS-L

Ing. Michal Glöckner

Obsah:

Úvod

1 Instalace lineárního skeneru

1.1 Instalační základna

1.2 Potřebný materiál

1.3 Postup vyložení přepravních boxů

1.4 Příprava kotevních bodů pro lineární skener

1.5 Připevnění lineárního skeneru

2 Instalace senzoru IBIS a spojení s modulem napájení a řízení

3 Demontáž skeneru

Úvod

Instalace lineárního skeneru trvá přibližně dvě hodiny, čas je závislý zejména na době tvrdnutí lepidla na kovové kotvy. Instalaci je možno rozdělit na dvě části:

1. instalaci lineárního skeneru,
2. instalaci radaru IBIS-L a propojení s modulem napájení.

1 Instalace lineárního skeneru

Před instalací samotného skeneru je nutný výběr lokality měření, vhodně umístěné vzhledem k objektu měření, v bezpečné vzdálenosti a v pokud možno geologicky stabilním území nezávislém na objektu měření. Podklad pro instalaci je vhodné upravit v dostatečném předstihu, aby nedocházelo k jeho sedání. Doporučený tvar a rozměr základny viz. Instalační základna.



Obr. 1: IBIS-L

1.1 Instalační základna

Instalační základna je ideálně pevný betonový blok o rozměrech 2000 x 1000 x 300 mm. Slouží k osazení lineárního skeneru a musí umožňovat neměnnost stanoviště radaru. Musí být vyhotovena s dostatečným předstihem před započítím měření, aby nedocházelo k jejímu sedání, nebo jiným pohybům.

1.2 Potřebný materiál

Materiál potřebný k instalaci lineárního skeneru a radaru. Ne vše je součástí dodávky radaru.

1. Instalační základna
2. IBIS-L box s lineárním skenerem (interferometrický radar IBIS-S)
3. IBIS-L box s kolejnici pro pojezd skeneru
4. vodováha (*není obsahem dodávky*)
5. nářadí (*není obsahem dodávky*):
 - a. příklepová vrtačka
 - b. sada vrtáků do betonu,
 - c. dva 24mm klíče
 - d. sprej, tužka nebo popisovač
 - e. kompresor
 - f. silikonová vazelína
 - g. voděodolný silikonový olej
 - h. dvousložková chemická kotva a plnicí kartuše

1.3 Postup vyložení přepravních boxů

Kolejnice pro řízení pohybu lineárního skeneru je dodávána v dřevěném boxu dlouhém cca. 2,5 m. Jeho obsahem je kolejnice, šablona pro instalaci, polohovací systém (systém pro horizontální i vertikální natočení interferometrického radaru na kolejnici), podložky pod polohovací systém, kabeláž pro spojení s řídicím modulem, ocelové kotvy pro instalaci do betonové základny a další příslušenství potřebné pro instalaci. Postup vyložení přepravního boxu:

1. box otevřete odepnutím šesti klipsů na vrchní straně,
2. šablonu vyjmete za dvě černá madla,
3. povolte matky jistící kolejnici a sejměte je,
4. vyjmete kolejnici za dvě otočná madla na koncích,
5. v boxu zbyly polohovací systém a podložky,
6. povolte matky jistící polohovací systém,
7. odstraňte dřevěnou záračku,
8. vyjmete polohovací systém,
9. povolte šrouby jistící rozporku šablony a vyjmete ji,
10. povolte šrouby jistící podložky,
11. vyjmete je.

Postup balení zpět do boxu je přesně opačný postupu vyložení.

1.4 Příprava kotevních bodů pro lineární skener

Příprava instalační základny pro osazení lineárním skenerem:

1. tři nastavitelné šrouby šablony nastavte nejnižže jak je možné,
2. nasad'te optický teleskop nebo zaměřovač,
3. šablonu umístěte na základnu,



Obr. 2: Šablona umístěná na základně



Obr. 3: Zalepené kotevní prvky

4. použijte teleskop pro přesné natočení a orientaci šablony na cílový objekt (mějte na paměti, že skener je možné následně výškově umístit a vertikálně natočit),
5. použijte vodováhu pro horizontaci šablony na základně,
6. označte pozici 5-ti otvorů pro 5 kotevních šroubů,
7. odstraňte šablonu a vyvrtejte 5 otvorů o průměru 18 mm a hloubce 11 cm, otvory musí být vyvrtány svisle, vyvrtané otvory pečlivě vyčistěte (kompresorem),
8. na šablonu připevněte rozporku, dvěma šrouby na spodní straně,
9. osad'te 3 dlouhé závitnice do krajních otvorů pomocí matek s podložkami,
10. na rozporku připevněte dvě kratší závitnice,
11. osad'te šablonu zpět na základnu a vložte závitnice do vyvrtaných otvorů, zkontrolujte, zda jsou tyče umístěny v otvorech volně,
12. utáhněte matky na závitnicích,



Obr. 4: Osazené základnové matky

13. nastavte závitnice tak aby se v otvorech nacházelo 7-8 cm tyče,
14. urovnejte šablonu naposled stavěcími šrouby a zkontrolujte natočení a vodorovnost,
15. sejměte šablonu,
16. otvory vyplňte lepidlem (epoxydem, chemickou kotvou),
17. osad'te šablonu,
18. vyčkejte vytvrzení.

1.5 Připevnění lineárního skeneru

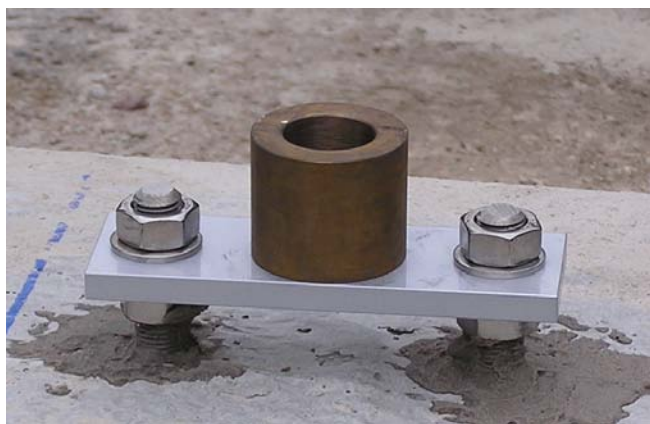
Následuje popis osazení lineárního skeneru na kotevní body základny:



Obr. 8: Polohovací vidlice



Obr. 5: Závitnice s podložkami



Obr. 7: Sférická kapsa



Obr. 6: Pořadí podložek

1. připevněte dvě základnové matky na dva nejbližší šrouby,
2. upevněte polohovací vidlici na samostatný šroub (není v páru), směr je kolmo na osu skeneru,
3. našroubujte třetí základnovou matku na vidlici,
4. na základnové matky umístěte černé konkávní těsnění a lubrikujte silikonem,
5. na černé těsnění, umístěte bílé konvexní těsnění,
6. na dva střední šrouby umístěte destičku se sférickou kapsou,

7. sférickou kapsu vymažte voděodolným silikonovým mazadlem,
8. umístěte kolejnici na tři základnové matky a ujistěte se, že je správně umístěna sféra ve sférické kapse (viz bod 10),
9. nyní je možno dorovnat vodorovnost skeneru,
10. zkontrolujte osazení sféry – takové aby se koule nedotýkala dna a byla přibližně uprostřed,
11. zkontrolujte vodorovnost kapsy,
12. utáhněte šrouby na rozporce pod kapsou, zkontrolujte, že se kapsa nehýbá,
13. umístěte kolejnici zpět na šrouby,
14. označte polohu kolejnice na šroubech – fixem, trochou vosku,
15. utáhněte dvě malé matky M8,
16. na tři základnové šrouby umístěte bílou konvexní podložku, namažte silikonem a umístěte černou konkávní podložku a následně malou bílou plochou podložku,
17. na plastové podložky nasad'te dvě kovové podložky, matku a utáhněte,
18. utahujte pouze rukou, dostatečně pevně, ale tak aby se plastové podložky nedeformovaly.

2 Instalace senzoru IBIS a spojení s modulem napájení a řízení

1. povolte dva šroubky na jisticím zařízení polohovacího vozíku,
2. umístěte polohovací vozík na podložku tak aby zapadl do jisticího zařízení,
3. utáhněte šroubky,
4. použijte stejný postup pro upevnění senzoru IBIS na polohovací zařízení,
5. přišroubujte optický teleskop,
6. připevněte dvě antény,
7. povolte šrouby polohovacího systému a natočte senzor pomocí teleskopu,
8. opět utáhněte šrouby v otvorech co nejbližší požadované polohy,
9. sejměte optický teleskop,
10. odšroubujte ochranné zátky konektorů na senzoru a kolejnici,
11. propojte kolejnici se skenerem párem kabelů, napájení a USB, opatrně ale pevně utáhněte,
12. umístěte modul napájení a řízení poblíž základny,
13. propojte modul a skener párem kabelů, napájení a USB,
14. připojte a zajistěte počítač,
15. připojte počítač k napájení a USB.



Obr. 9: Detail upevnění vozíku



Obr. 10: Detail antén



Obr. 12: Zapojení baterií



Obr. 13: Zapojení do modulu



Obr. 11: Detail zapojení radaru a skeneru

3 Demontáž skeneru

Demontáž je postup přesně opačný postupu montáže. Nejprve rozpojení kabeláže, snesení senzoru, snesení kolejnice a demontáž základny.



Obr. 14: Vyprázdněná základna