

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Czech Technical University in Prague

Faculty of Civil Engineering

Lena Halounová

**Radary v dálkovém průzkumu Země – pro dokumentaci
povodňových stavů a ochranu před povodněmi**

**Radars in the Remote Sensing - to describe floods and flood
protection**

Summary

Radar data are valuable remote sensing data source. The Earth atmosphere absorbs only a small part of microwave (MW) radiation enabling us to measure backscattered MW radiation penetrating the atmosphere in case of darkness, fog, clouds, smog, etc. This radiation is sensitive to moisture content of measured objects. Intensity rising of reflected radiation is caused both by higher moisture content, and higher surface roughness. MW radiation after interaction with these objects is reflected and that part reaching the radar is measured – its intensity and phase. The intensity values coded into 16bit format from RADARSAT satellite were processed and evaluated during the case study in Moravia in 1997.

The automatic evaluation of the radar intensity data is difficult by commonly used remote sensing tools due to “salt and pepper” effect. The effect of close changing of very high and very low values is typical for radar data..

Flooded areas in lowland non-forested regions can be studied from radar data easily. Flooded areas due to mirror reflection of the MW radiation are dark areas on radar images. The image classification for the flood detection can be used. Other areas not belonging to flooded regions must be filtered out of the final flood classification.

Flooded areas where measurements were performed after flood can also be delineated under certain conditions. Pre-flood image must exist and after-flood image must comprise the region with still higher moisture content, if the moisture content is already low only changes of surface roughness can be detected from multitemporal radar data.

Flooded areas in lowland forested regions can be determined also from C band radar data with steep incidence angle (20 – 25 deg). L band and P band data (long wavelength) were already successfully used for these evaluations in Brazil, e.g. The C-band data as shorter wavelength data were successfully used in Moravia 1997 flood. The higher reflection values in flooded forested areas is caused by corner reflectors formed by water surface and tree stems.

Flooded urban areas are the most difficult areas for the evaluation. Higher reflection of urban areas is due to corner reflectors created by pavements – houses, asphalt –houses combinations. Water surface of flood – houses is not such important change compared to previous standard urban situations. Urban areas with pervious surface where corner reflectors do not occur can be used for the flood delineation.

Souhrn

Radarová data jsou cenným zdrojem dat dálkového průzkumu Země. Atmosféra Země absorbuje pouze malou část mikrovlnného (MW) záření, a to umožňuje měřit odražené MW záření procházející atmosférou, i pokud je tma, mlha, mraky, smog apod. Toto záření je citlivé na obsah vlhkosti měřených objektů. MW záření po interakci s těmito objekty je odraženo a část je měřena radarem – jeho intenzita a fáze. Zvýšení intensity odraženého záření způsobí jak zvýšení vlhkosti, tak vyšší nerovnost (drsnot) povrchu. Hodnoty intensity z družice RADARSAT kódovány do 16bitového formátu byly zpracovány a vyhodnoceny při studii, která vyhodnocovala povodeň na Moravě v roce 1997.

Automatické vyhodnocení intensity radarových dat je obtížné běžně užívanými nástroji dálkového průzkumu Země kvůli jevu “pepř a sůl”. Tento jev, kdy se střídají v těsné blízkosti hodnoty velmi nízké a velmi vysoké, je typickým pro radarová data.

Zaplavená místa v nížinných nelesních oblastech mohou být snadno studovány z radarových dat. Zaplavené plochy díky zrcadlovému odrazu MW záření jsou tmavé na radarových obrazových datech. Lze použít automatickou klasifikaci obrazových dat pro určení rozsahu povodně. Další plochy, které nepatří k povodňovým, je nutno z výsledné klasifikace povodně odfiltrovat.

Zaplavená místa, kde měření proběhlo až po povodni, se za určitých podmínek dají také vymezit. Musí existovat obrazová data před povodní a obrazová data po povodni musí obsahovat místa s dosud zvýšeným obsahem vlhkosti. Je-li obsah vlhkosti již nízký, lze z multitemporálních radarových dat určit pouze změny v drsnosti povrchu.

Zaplavené nížinné zalesněné oblasti lze určit také z C-pásmového radaru se strmým úhlem dopadu ($20 - 30^\circ$) L-pásmová a P-pásmová data (s dlouhou vlnovou délkou) již byla pro takovato vyhodnocení úspěšně použita např. v Brazílii. C-pásmová data jako data s kratší vlnovou délkou byla úspěšně použita právě na Moravě pro povodeň v roce 1997. Vyšší hodnota intensity odraženého záření ze zalesněných zaplavených ploch je způsobena jevem nazývaným koutový odražeč, který je tvořen vodní hladinou a kmeny stromů.

Zaplavené urbanizované plochy jsou nejobtížnější z hlediska vyhodnocení. Vyšší odraz z městské zástavby je způsoben koutovými odražeči, které tvoří kombinace: chodníky – domy, asfalt – domy. Kombinace povodňová hladina vody – domy není tak významnou změnou ve srovnání s předchozími standardními situacemi ve městě. Urbanizované plochy s propustným povrchem, kde se koutové odražeče nevyskytují je možné pro vymezení záplavy použít.

Klíčová slova:

Multitemporální radarová data, záplava, zaplavený les, vymezení hranice záplavy, RADARSAT

Key words:

Multitemporal radar data, flood, flooded forest, flooded area delineation, RADARSAT

© Lena Halounová, 2004

ISBN

Obsah:

SUMMARY.....	2
SOUHRN.....	3
KLÍČOVÁ SLOVA:	4
KEY WORDS:	4
OBSAH:	5
1. RADAR - PŘÍSTROJ POUŽÍVANÝ NEJEN V DÁLKOVÉM PRŮZKUMU ZEMĚ.....	6
2. APLIKAČNÍ OBLASTI SAR	7
3. STUDOVANÁ POVODŇOVÉ SITUACE.....	8
4. ZASAŽENÉ ÚZEMÍ	8
5. PRVNÍ RADAROVÁ OBRAZOVÁ DATA PRO SLEDOVÁNÍ POVODNÍ V ČESKÉ REPUBLICE	8
6. POUŽITÁ RADAROVÁ DATA	8
7. METODIKA ZPRACOVÁNÍ RADAROVÝCH DAT	9
8. VÝSLEDKY URČENÍ ZAPLAVENÉHO ÚZEMÍ.....	11
9. URČOVÁNÍ ROZSAHU ZÁPLAVY POMOCÍ SNÍMKŮ POVODŇOVÝCH A POPOVODŇOVÝCH	16
10. VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ ZAPLAVENÝCH LESNÍCH PLOCH.....	21
11. ZÁVĚR	23
<i>Literatura</i>	24
<i>Životopis</i>	25

1. Radar - přístroj používaný nejen v dálkovém průzkumu Země

Radar je aktivní mikrovlnný přístroj, je tedy vybaven vlastním zdrojem mikrovlnného záření. Mikrovlnné záření je záření, jehož vlnová délka se pohybuje v rozsahu přibližně 0.3 mm (1 mm) až 1 m. Slovo radar je akronymem pro *radio detection and ranging*. Z toho vyplývá, že radar byl vyvinut proto, aby pomocí elektromagnetického záření uvedeného rozsahu vlnových délek byly určovány objekty a jejich umístění. Tyto vlny jsou vysílány v pulzech k zemskému povrchu, kde dojde k interakci s jednotlivými prvky na zemském povrchu. Část odražené energie dopadne zpět na anténu radaru. Intenzita této energie je dána elektrickými a mechanickými vlastnostmi látek na zemi, jako jsou vodivost prvku, drsnost povrchu, vlhkost.

Dvě významné vlastnosti odlišují radar od optických radiometrů DPZ:

- 1) Mikrovlnné záření je podstatně méně pohlcováno tmou, mlhou, jemným deštěm, mrakem i smogem.
- 2) Tyto vlnové délky umožňují odlišný pohled na zemské objekty ve smyslu pojmů „hladký“ a „drsny“ povrch. Některé objekty, které se v oblasti viditelného a infračerveného záření chovají jako drsné povrchy, v tomto případě se chovají jako hladké povrchy.

Radarové systémy mohou, ale nemusí produkovat obrazová data. Mohou být umístěny pevně na zemském povrchu nebo na letadlových či družicových nosičích. Typickým příkladem radaru neposkytující obrazová data je Dopplerův radar na měření rychlostí vozidel. Je založen na Dopplerovu principu frekvenčních posunů, které jsou funkcí relativních rychlostí přístroje, jenž vysílá záření, a odražeče záření.

Jiným běžným příkladem radaru je PPI radar (*plan position indicator*), který na kruhové obrazovce ukazuje umístění "ozvěn" radaru. Tento radar průběžně ukazuje rovinový pohled na objekty v dosahu rotující antény a využívá se pro meteorologické účely, kontrolu vzdušného prostoru, či navigaci. Tento radar není zobrazující radar.

Prostorové rozlišení je jednou z významných charakteristik radiometru. Prostorové rozlišení udává velikost plochy, z níž je naměřena jedna hodnota intenzity nebo jiné fyzikální veličiny elektromagnetického záření, je to tedy nejmenší plocha, o níž existuje informace v obrazovém souboru.

Prostorové rozlišení radaru je dáno rozměrem jeho antény. Pro danou vlnovou délku platí, že čím je větší anténa, tím je větší rozlišovací schopnost. Většina radarů na letadlových nosičích je vybavena anténou pevně připojenou pod letadlem, snímající šikmo ve směru kolmo na směr letu. Takovýto radar se nazývá SLR (*side-looking radar* neboli radar bočního pohledu) nebo SLAR (*side-looking airborne radar*, letecký radar bočního pohledu). SLAR byl nejprve vyvinut pro vojenské účely a teprve po určitém čase byla radarová obrazová data používána i v civilním životě. Způsoby získávání radarových snímků a jejich "čtení" dosáhlo již poměrně dobré úrovně, přesto jsou způsoby, jak získávat informace z radarových snímků, neustále předmětem vývoje.

Dalším stupněm vývoje je radar se syntetickou aperturou – SAR (Synthetic Aperture Radar). Tyto mikrovlnné radiometry měří data s velmi dobrou prostorovou rozlišovací schopností, které je dosaženo využitím Dopplerova principu, na základě něhož je z měření vybráno odražené záření jen z území s malou velikostí, které se nachází v blízkosti osy úhlu, který je vymezen skutečnou velikostí antény. Místa vzdálenější od osy úhlu mají větší odchylky ve frekvencích záření, než má záření v ose úhlu, na základě toho je možné je z měření vyloučit. Tím je získáno měření s prostorovou rozlišovací schopností lepší, než odpovídá měření pouze s využitím velikosti antény.

Radar vysílá a přijímá elektromagnetické záření pod šikmým úhlem směrem k zemi. Optické přístroje registrují odražené záření častěji kolmo k zemi. Důvodem pro šikmý směr je způsob měření, který u radarových přístrojů probíhá na časové ose. Veškerá intenzita elektromagnetického záření, která dopadne do radaru ve stejném časovém okamžiku, je sečtena. Pokud by radar měřil ve směru kolmo k zemi, vyskytovala by se velmi často dvě místa (osově souměrná podle normály k zemskému povrchu), z nichž by odražené záření dopadlo do radaru ve stejný okamžik. Tato záření by nebylo možno od sebe při měření v čase odlišit a ani určit místo, odkud záření pochází, a proto ani přiřadit do odpovídajících pixelů.

2. Aplikační oblasti SAR

Díky malému ovlivnění atmosférou jsou tato data nenahraditelná při katastrofálních situacích, jakými jsou situace na zemském povrchu, jejichž výskyt bývá neočekávaný, s rychlým časovým průběhem, ale významným dopadem na životní prostředí. Takovým příkladem jsou povodně, které pro svou dokumentaci vyžadují vysokou frekvenci měření, kterou poskytují pouze radary, protože optická data jsou velmi často „poškozena“ atmosférou a pro vyhodnocení nepoužitelná nebo použitelná omezeně. Např. pravidelně se opakující povodně ze zimního tání sněhu v oblasti Winnipegu jsou již řadu let systematicky sledovány s periodicitou tří dní. V dálkovém průzkumu Země jsou tedy radarová data schopna poskytovat nejčastěji důležité informace o vývoji a okamžitém stavu povodně.

Dalšími sledovanými jevy jsou rovněž ropné skvrny způsobené přírodními jevy (bahenní podmořské sopky) nebo činností člověka. Sledování výskytu ropných látek na povrchových vodách je založeno na principu odrazu elektromagnetického záření na vodní hladině. Pokud je tato hladina klidná, odpovídá odraz záření zrcadlovému odrazu. Dopadající elektromagnetické záření se odrazí od radaru pod úhlem odrazu, který je roven úhlu dopadu, a ve směru radaru se záření neodráží, naměřené hodnoty intenzity záření se blíží nule. Odraz na zvlněné hladině již při měření poskytuje vyšší naměřené hodnoty intenzity. Důvodem toho je tvar hladiny, který již není možno aproximovat vodorovnou hladinou se zrcadlovým odrazem, ale velkým počtem infinitezimálních rovin, které svírají různý úhel s vodorovnou rovinou. Od řady těchto rovin pak odražené záření dopadá do radaru. Ropná skvrna na vodní hladině způsobí, že hladina je méně zvlněná ve srovnání s hladinou nezasazenou ropnými látkami. To je důvodem, proč jsou místa, kde došlo ke znečištění, rozpoznatelná pomocí nižších naměřených hodnot, než jsou v jejich nezasazeném okolí.

Zvýšená vlhkost objektů způsobí zvýšení vodivosti těchto objektů a tím i vyšší naměřené hodnoty intenzity. To je důvodem, proč jsou radarová data vhodná i pro sledování vlhkosti. Určení, zda naměřené hodnoty jsou důsledkem zvýšené vlhkosti nebo výsledkem vyšší drsnosti dané plochy, není zcela jednoduchá úloha zvláště v případě, že je k dispozici pouze jediný soubor radarových dat.

Multitemporální data pak slouží ke sledování časového vývoje krajiny a zároveň umožňují upřesňovat informace odvozené pouze z jednotlivých dat – např. otázku vlhkosti apod., monotemporální data jsou používána k mapování.

Samostatnými obory využívajícími radarová data je polarimetrie a interferometrie. Interferometrie používá pro vyhodnocení vždy dvojici obrazových dat daného území měřenou pod různými úhly pozorování. SAR umožňují měřit malé změny poloh objektů na zemském povrchu o velikosti rovné i polovině vlnové délky použitého elektromagnetického záření, což dovoluje sledování zemětřesení a vulkanické činnosti. Polarimetrie přináší nový zdroj informací získávaný z radarových dat získaných měřením s různou kombinací polarizací.

3. Studovaná povodňová situace

Velmi intenzivní srážky na začátku července v roce 1997 způsobily na Moravě velmi rozsáhlé záplavy. V pátek 4. července 1997 se vytvořila oblast nízkého tlaku, která postupovala směrem od severní Itálie kolem českých pohraničních hor a v oblasti společné hranice s Polskem se obrátila směrem k jihu a postoupila do jihozápadního Polska a do Slezska. Během pěti dnů se celkový srážkový úhrn na jedné třetině Moravy pohyboval okolo 500 mm. Průměrný roční srážkový úhrn ve velké části České republiky činí 600 mm/rok. Tato srážka způsobila povodňové průtoky o velikosti stoleté až pětisetleté vody.

4. Zasažené území

Oblast postižená povodní byla tvořena z hlediska použití radarových dat dvěma druhy území. Tím prvním byla oblast Jeseníků, případně Beskyd, které dosahují výšek 1000 až 1400 m n. m. Zde se střídají vysoké hřebeny hor s hlubokými a poměrně úzkými údolími a velmi strmými stráněmi. Další část Moravy, kudy záplava postupovala, pak je poměrně rovinaté území podél toku řeky Moravy, která tuto oblast od Jeseníků až k toku Dunaje odvodňuje společně s řekou Bečvou. Pouze severovýchodní část Moravy je odvodňována řekou Odrou směrem k severu do Polska. Záplavy se vyskytovaly na všech třech tocích. Oblast postižená povodní byla o rozloze přibližně 25 000 km².

5. První radarová obrazová data pro sledování povodní v České republice

Družicová obrazová radarová data byla v České republice poprvé použita pro vyhodnocení právě povodňové situace na Moravě v roce 1997.

Použitá data pro vyhodnocení povodně na Moravě svědčí o operativnosti měření (důležité především u jevů velmi časově proměnlivých) v případě radarových dat. V daném případě byla data z 10.7.1997 naměřena cca 48 hodin po objednání.

6. Použitá radarová data

Pro vyhodnocení této povodně bylo použito celkem pěti družicových snímků RADARSAT různého typu. Byla to právě radarová data, která lze pořídit bez ohledu na oblačnost v atmosféře, která byla pro vyhodnocení použita. Jejich přehled je uveden v následující tabulce.

typ dat	datum pořízení	oblast	velikost snímku	dráha obletu	úhel dopadu
Standard 2	10. 7. 1997	sev. Morava	100 x 100 km ²	vzestupná	24 – 31°
Standard 7	14. 7. 1997	jižní Morava	100 x 100 km ²	sestupná	45 - 49°
Standard 5	24. 7. 1997	jižní Morava	100 x 100 km ²	sestupná	36 - 42°
Wide 1	27. 7. 1997	jižní Morava	150 x 150 km ²	sestupná	20 - 31°
Wide 1	27. 7. 1997	sev. Morava	150 x 150 km ²	sestupná	20 - 31°

Tab. 1. Přehled použitých dat pro vyhodnocení povodní na Moravě v roce 1997

Data těchto módů RADARSAT jsou pořizována s nominálním prostorovým rozlišením 30 metrů. Jednotlivé módy měření se liší úhlem dopadu, velikostí prostorového rozlišení a velikostí měřeného území. Mód Standard obsahuje měření z území o velikosti 100 x 100 km, čísla pak určují úhel dopadu (Standard 1 má nejstrmější = nejmenší úhel dopadu, Standard 7 pak

úhel nejméně strmý). Mód Wide se od módu Standard liší velikostí měřeného území a rovněž velikostí úhlu dopadu, který vyplývá z velikosti měřeného území 150 x 150 km. Další módy s podrobnější prostorovou rozlišovací schopností (9 m) nebo naopak s málo podrobnou rozlišovací schopností (50 m nebo dokonce 100 m) nebyly pro sledování povodně použity. Tento radar poskytuje data pořízená pomocí jedné mikrovlnné frekvence známé pod označením C pásmo. Radar má frekvenci 5.3 GHz a vlnovou délku 5.6 cm. RADARSAT vysílá a přijímá mikrovlnnou energii s HH polarizací (tzn., že vysílané záření je vodorovně polarizované a je měřeno vodorovně polarizované odražené záření (vektor elektrického pole je rovnoběžný se zemským povrchem). Radiometrické rozlišení signálu je 16 bitů v pixelu. RADARSAT poskytuje šest různých typů dat. Produkt označený jako Path Image je zpracován ve směru podél letu a ten byl také použit pro vlastní zpracování. Data RADARSAT jsou dodávána kalibrovaná.

7. Metodika zpracování radarových dat

Radarová data se podstatně liší od dat optických radiometrů. Díky skládání odrazů od dílčích odražečů v rámci plochy jednoho pixelu dochází k situaci, která se liší od situace u optických dat. Plochy představující jeden typ povrchu na výsledném snímku pořízeném optickými radiometry se na radarovém snímku pixel od pixelu velmi liší. Výsledkem pak jsou radarová obrazová data s charakteristickým vzhledem označovaným jako „pepř a sůl“. Na obraze jsou tedy zcela zřetelné tzv. tečky (*speckles*) čili pixely s výrazně nízkými hodnotami, pak se jedná o tmavé pixely, nebo naopak s výrazně vysokými hodnotami, a pak jsou to velmi světlé pixely. Tmavé pixely vznikají v místech, kde se sčítají amplitudy intenzity záření se záporným znaménkem a vytvářejí zde velmi malou hodnotu intenzity záření. Naproti tomu v místech, kde se sčítají amplitudy s kladným znaménkem, jsou hodnoty intenzity záření vysoké. Tečky jsou tedy výsledkem skládání signálů od dílčích odražečů. Homogenní oblast proto nemá homogenní vzhled.

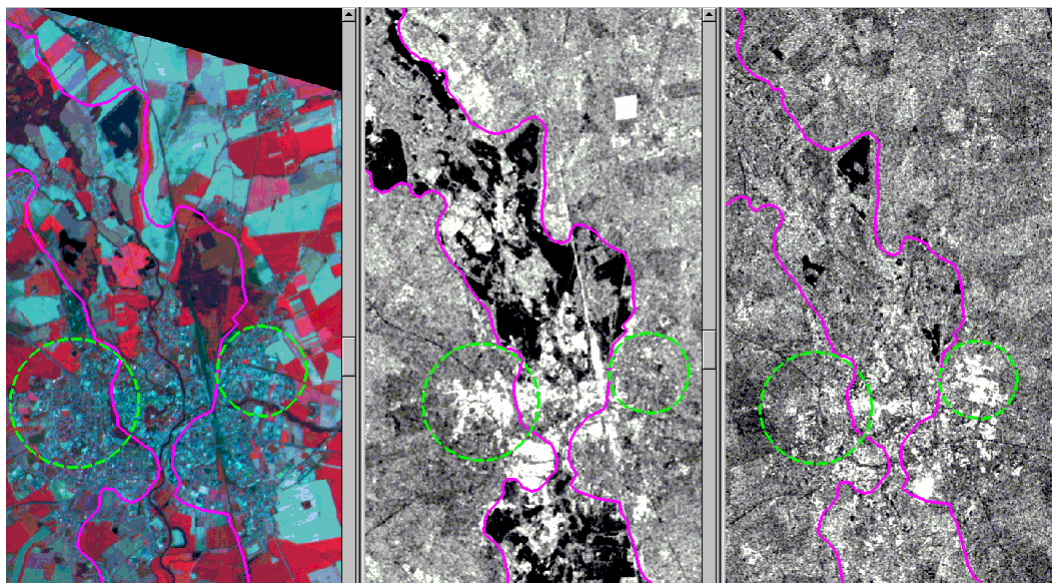
To mělo dopad na výsledné zpracování. Nástroje běžně používané pro klasifikaci dat DPZ jsou založeny na tom, že plochy tvořící tematicky stejné třídy mají blízké hodnoty odraženého záření, tedy blízké výsledné digitální hodnoty v pixelech obrazových dat. Tyto hodnoty pak slouží pro vlastní zařazení, plochy s blízkými nebo stejnými hodnotami jsou zařazeny do stejné třídy. To však u radarových dat neplatí. Z tohoto důvodu nebyly prováděny ve většině úloh klasifikace pro jednotlivé pixely, ale byly používány průměrné hodnoty pro vybrané plochy. Těmito vybranými plochami byly části ploch, které představovaly jednu třídu, např. lesní plochu, pole apod. Jiný způsob, který je používán, je vytvoření průměrného obrazu z většího počtu zpracovávaných radarových obrazových dat měřených v různých časových okamžicích. V daném případě však cílem bylo vyhodnotit stavy v jednotlivých časových krocích odděleně.

Jako první krok byla provedena kontrola naměřených dat na vybraných etalonech pro data ze 14., 24. a 27. července. Radarová data se lišila v úhlech dopadu při měření, naměřené hodnoty, které byly zjištěny, byly v případě 27. července vyšší o cca 10 procent. V případě dat ze 24. července byly hodnoty na vybraných sledovaných místech nižší o 6 – 9 procent než na snímku ze 14. července. V obou případech nepředcházely 4 dny srážky před měřením. Data z 10. července nebyla pro porovnání brána v úvahu, protože data byla na rozdíl od všech ostatních dat pořízena při vzestupné dráze letu, měřený signál elektromagnetického záření z daného území byl tedy získán z jiného směru než od všech ostatních snímků. Tato situace v některých případech neumožnila spolehlivé vyšetření hledaných jevů. Tím je myšleno vyhodnocení zaplavené urbanizované oblasti, kde se v daném případě jednalo především o město Olomouc. Radarová data byla zpracována bez další radiometrické úpravy.

Vlastní zpracování pak bylo rozděleno na několik fází. Snímky byly podrobeny kompresi ze 16bitových dat na 8bitová a filtraci prostorovým filtrem 5 x 5. Filtrace byla použita

pro částečné potlačení teček v radarovém obrazu. Radarová data byla transformována do systému S-JTSK.

Klasifikace jako metoda známá ze zpracování optických dat byla použita pro vyhodnocení zaplavených oblastí v místech mimo lesní plochy a mimo zástavbu. V oblastech mimo lesní plochy a zástavbu je možné hladinu díky zrcadlovému odrazu klasifikovat nebo použít metodu prahování. Zaplavené plochy jsou na snímcích černé, neboť se jedná o případ, kdy se odraz radarového paprsku chová jako zrcadlový odraz, radarové záření se tedy odráží od radaru. Žádné nebo téměř žádné záření se k anténě radaru nevrací, pixely obsahují nulové nebo velmi nízké hodnoty, hladina se jeví jako černá. Tyto plochy lze proto buď klasifikovat, nebo podrobit prahování (to je rozdělení obrazových dat na dvě nebo více homogenních oblastí podle digitálních hodnot v pixelech) a automaticky tak určit vodní plochy. V daném případě byla data klasifikována. Tímto způsobem však byly do třídy vodní hladina zahrnuty i plochy tvořené stíny v horských oblastech a jednotlivé tečky z dat. Data bylo proto nutné dále upravit filtrací. Místa stínů byla odstraněna z klasifikace jako celky. Vymezení vlastní maximální záplavové linie vycházelo z použití těchto klasifikovaných ploch, ale ty byly pouze jednou ze vstupních informací v místech, kde nebyly lesy a města. Pro vyhodnocení byla použita data z 10. července pro severní část Moravy a ze 14. července pro jižní část Moravy.



Obr.1. Vlevo je výřez obrazu optických skenerových dat z jara roku 1997, uprostřed výřez radarových dat z 10. 7., tedy okamžik zaplavené Olomouce při sestupném obletu, vpravo výřez z radarových dat z 27. 7. při vzestupném obletu. Zakroužkované oblasti jsou velmi odlišné především z důvodu jiného typu obletu, „pohled radaru“ je tedy na jinou stranu města.

V urbanizovaných plochách se vyskytuje vícenásobný odraz, kde objekt, který je toho příčinou, se označuje koutový odrazeč. To je případ, kdy se radarový paprsek odráží od hladké plochy chodníku, silnice nebo zaplavené plochy směrem od radaru, odražený paprsek se odráží od okolní budovy nebo jiného vyššího objektu opět směrem k radaru. Při vysokém počtu těchto objektů pak místa, kde je hladká plocha terénu a tyto vyšší objekty, jsou na snímcích jasně rozpoznatelná jako velmi světlá místa. Naměřené hodnoty zaplavené oblasti jsou vysoké a na snímcích se jeví jako velice světlá místa, vodní hladinu lze určit pouze pečlivou vizuální interpretací a to v případě, kdy je možné porovnávat situaci při a po povodni na snímcích pořizovaných při stejném typu obletu (stejný úhel dopadu, stejná prostorová rozlišovací schopnost, stejný směr letu. Z míst, kde směry ulic nejsou kolmé na směr letu, je pak možno porovnávat

stav při a po záplavě. Zaplavené urbanizované plochy obsahují vyšší naměřené hodnoty než nezaplavené např. v místech, kde se vyskytují plochy s vyšší drsností než má vlastní vodní hladina – jako je sadová oblast mezi vlastní zástavbou.

Vyhodnocení ve městech, jako např. Olomouc, nebylo možno provést z jediného souboru dat, ale porovnáním povodňových a popovodňových dat, ale i tam se jednalo o velice nepřesnou a ztěžlivě zvládnutelnou úlohu, neboť data nebyla pořízena při stejném směru obletu. Obtížnost situace ukazuje trojice obrazových dat na obr. 1. Vyhodnocení bylo provedeno vizuální interpretací.

Zaplavené lesní plochy tvoří komplex, v němž se vyskytuje vodní hladina a stromy. Vodní hladina spolu se stromy vytvářejí opět prostředí pro výskyt koutového odražeče buď ve dvourozměrném, nebo trojrozměrném prostředí. Celkový odraz z lesních ploch je proto dán jednak objemovým rozptylem lesní vrstvy a jednak opět existencí jevu označovaného jako koutový odražeč. Tento předpoklad byl v době před vyhodnocováním těchto dat uváděn pro data s větší vlnovou délkou, než má RADARSAT, tedy s vlnovou délkou cca 60 cm neboli u P pásmového radaru, případně u L pásmového radaru (vlnová délka 15 – 30 cm). Pro vyhodnocení zaplavených lesních ploch byly prověřovány hodnoty intenzity záření. Nejednalo se o vyhodnocení jednotlivých pixelů, ale dílčích ploch, kde byla porovnávána průměrná hodnota intenzity záření a směrodatná odchylka intenzity těchto vybraných ploch. Tato metoda měla ověřit, zda je možné určit zaplavené lesní plochy i ze snímků s touto malou vlnovou délkou – 5.6 cm.

8. Výsledky určení zaplaveného území

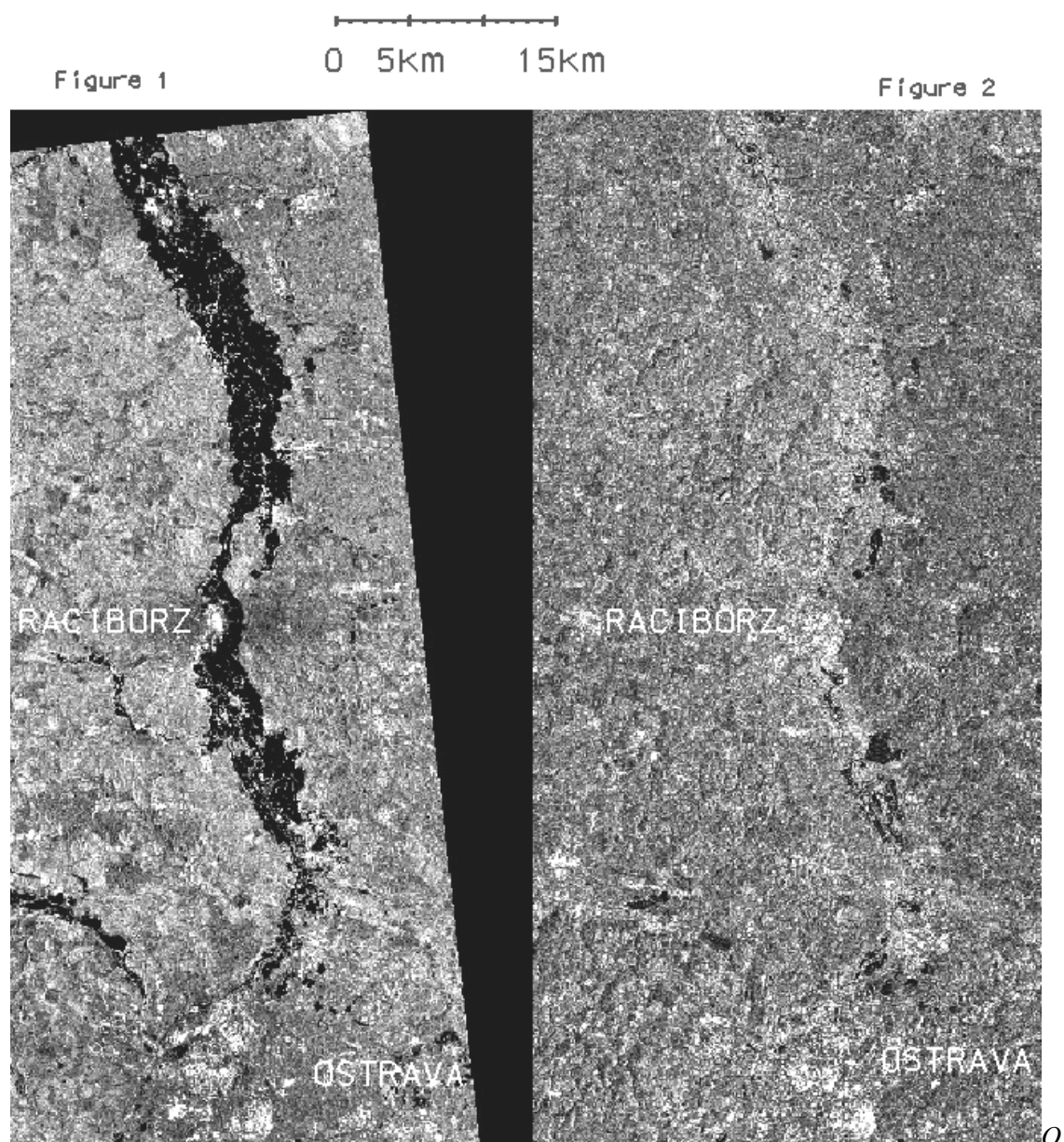
Oblast severní Moravy byla měřena dvakrát. První data (10. 7. 1997) poskytla informace ze zaplavené oblasti jižně od Jeseníků na toku Moravy a Bečvy a zároveň na řece Odře, kde jsou významně zastoupeny zaplavené oblasti na Ostravsku a v Polsku. Druhá radarová data dokumentoval situaci po záplavách.

V horských oblastech, kde došlo k velkým materiálním škodám, nebylo možno zaplavené plochy z dat určit. Jedná se o oblasti, které jsou na radarových datech buď zakryty nebo ovlivněny jevy označovanými jako překrytí nebo zhuštění signálu. K zakrytí, kde vzniká stín, dochází na radarových datech v místech terénních nerovností (vyšších hor a horských hřebenů), kdy pro vysílané elektromagnetické záření pod určitým úhlem dopadu, což je dáno u RADARSAT jeho módem, je území za touto nerovností skryto, žádné elektromagnetické záření sem nedopadá a ani se neodráží zpět k radaru (viz obr. 2).

Oblast zhuštění signálu je oblast větších rozměrů na přivrácené straně terénní nerovnosti, kde ale velká plocha ve skutečnosti je na obrazových datech zobrazena na malém počtu pixelů, protože na tuto velkou plochu dopadá elektromagnetické záření s malým časovým krokem, vzdálenost jednotlivých částí oblasti se od sebe příliš neliší, a i odraz tedy probíhá s malým časovým posunem. Měření signálu u radarů se totiž děje v závislosti na čase. Signál naměřený např. z vrcholu terénní nerovnosti může být proto zaznamenán dříve než z oblasti před touto nerovností, čímž dojde k překrytí těchto lokalit. Část horského území byla skryta za horskými hřebeny, byla tedy ve stínu, část přivrácených oblastí byla postižena jevy označovanými jako překryv nebo zhuštění signálu a pro vlastní interpretaci z hlediska dopadu povodně na území byla radarová data pro tato místa nepoužitelná.

První obrazová data (obr. 3) v nížinných částech ukazují zaplavené oblasti i všechny ostatní vodní plochy jako černá místa. Tato místa jsou plochami záplavy i plochami s trvalými vodními toky a nádržemi. Tyto dva ve skutečnosti zcela odlišné jevy nelze z jediného povodňového snímku od sebe odlišit. Klasifikace těchto dat nebo i obyčejné prahování přináší jako výsledek nejen určení zaplavených území, ale zahrnují i místa stínů v horských oblastech. Pro odlišení zaplavených ploch od trvalých vodních ploch byla použita metoda vytvoření

barevné syntézy, v případě severní Moravy ze dvou radarových dat, v případě jižní Moravy ze tří radarových dat. Místa s trvalými vodními plochami jsou místa na barevné syntéze černá, místa záplavy pak jsou plochami v daném případě pro severní Moravu zobrazenými modře (obr. 3).



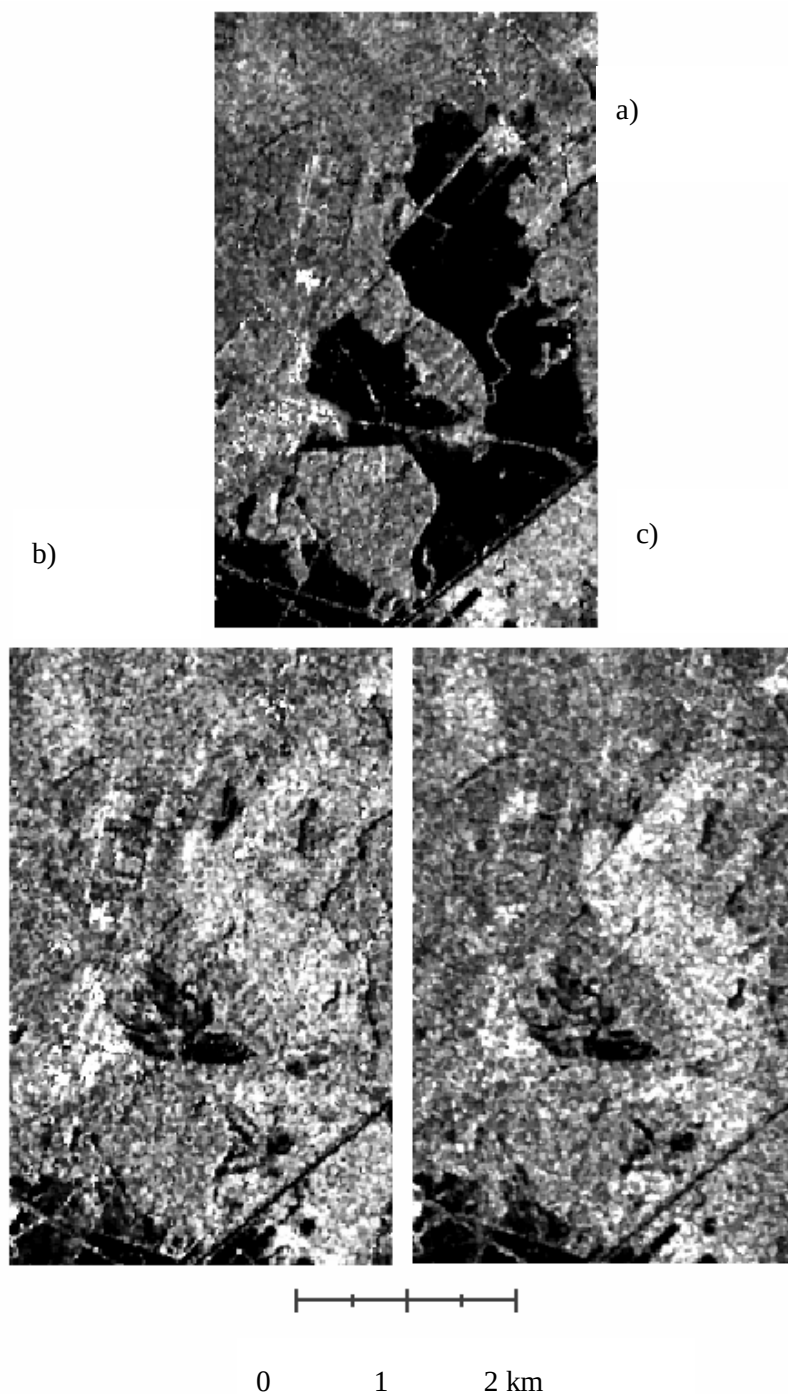
br.2. Data z 10. 7. 1997 a z 27. 7. 1997 z oblasti jižního Polska, kde černé plochy jsou plochy vodní hladiny, Na pravém obrazu je jasně patrna světlá plocha, která je místem předchozí povodně.

Druhá obrazová radarová data na obr. 3 jsou důkazem, že i popovodňová data mohou přinášet cennou informaci o povodni. Touto informací je přibližné určení dříve zaplaveného území. Dříve zaplavená oblast je na snímku zřetelně světlejší. Může to být dáno zvýšenou drsností povrchu nebo zvýšenou vlhkostí (RADARSAT Illuminated, Engman & Chauhan). Oba tyto případy způsobí vyšší odrazivost. V polské části zaplaveného území se jedná o oblasti s velmi nízkým sklonem terénu, proudění vody má nízkou rychlost, při které jsou unášeny splaveniny s poměrně malou velikostí zrna a plaveniny. Zvýšená intenzita odraženého záření na

dříve zaplaveném území je tedy pravděpodobně důsledkem zvýšené vlhkosti, což vyplývá i z toho, že tento zvýšený zpětný rozptyl je určen na datech, kdy elektromagnetické záření vyslané radarem dopadalo se strmým úhlem dopadu, který je mnohem citlivější na vlhkost než na drsnost půdního povrchu. Porovnáním povodňového snímku s popovodňovým je získán důkaz o tom, že plochy s vyšší odrazivostí odpovídají plochám dříve zaplaveným (viz. obr. 2 a 3). Časový rozdíl obou obrazových radarových dat byl 17 dní.



Obr. 3. Barevná syntéza vytvořená ze dvou radarových dat (10. 7. a 27. 7.), kde modré plochy jsou plochami záplavy, černé vodními plochami trvalými.



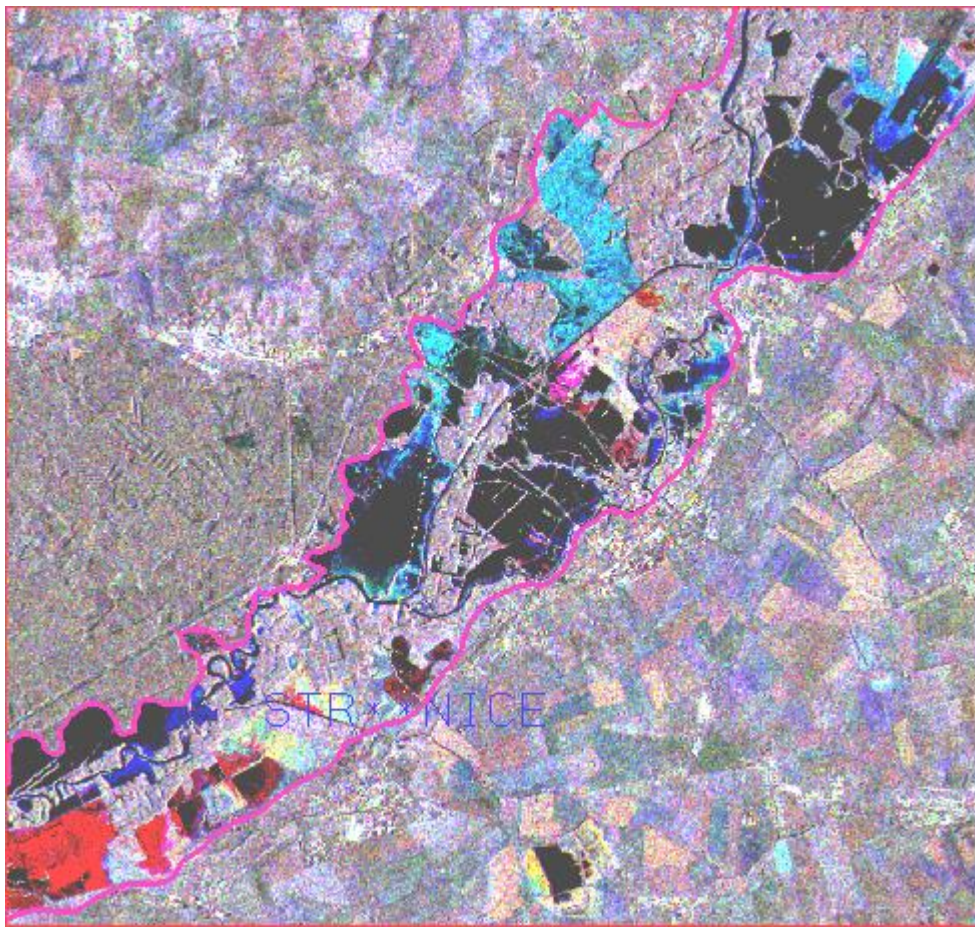
Obr. 4. Data ze 14. (a), 24. (b) a 27. (c) července ukazují situaci místa, které bylo zaplaveno 14. 7. a jehož záplavu lze určit i z později po povodni získaných dat

Obdobná situace nastala na radarových obrazových datech z jižní Moravy. Jižní Morava byla na datech ze 14., 24. a 27. července. Obr. 4 ukazuje příklad místa zaplaveného 14. července, 24. července a 27. července. Data ze 24. července byl měřena pod úhlem dopadu $36 - 42^\circ$, data z 27. července pod úhlem $20 - 31^\circ$. Průměrné hodnoty naměřených hodnot v datech z 24. července jsou nižší než v datech se strmějším úhlem dopadu z 27. července. To je důkazem, který

potvrzuje, že na datech se strmějším úhlem dopadu je hodnota intenzity záření více ovlivněna vlhkostí než drsností povrchu.

Bylo provedeno srovnání s okolními plochami, kde průměrné hodnoty intenzit záření u nezaplavených ploch jsou nižší u měření z 24. července než z 27. července. Srovnání s obr. 2 je opět důkazem, že i z popovodňového snímku lze určit dříve zaplavená území. Podmínkou je, aby popovodňový snímek byl pořízen v době zvýšené vlhkosti půdy po dříve proběhlé povodni. Změna stavu vlhkosti je přitom dána půdními, hydrogeologickými a geologickými podmínkami i vegetačním pokryvem.

Pro vyhodnocení záplavy jižní Moravy bylo opět využito barevné syntézy tentokrát tří obrazových dat ze 14., 24. a 27. července (obr. 5). Tak jako v předchozím případě byly plochy trvalých vodních ploch zobrazeny černě. Vývoj postupu povodně je znázorněn právě na této barevné syntéze RGB, kde jednotlivé barvy pak vyjadřují, kdy byla která oblast zaplavena. Sytě modré plochy byly zaplaveny 14. a 24. července, světle modré plochy pouze 14. července, červené plochy 24. a 27. července, žluté plochy pouze 27. července.



Obr. 5. Barevná syntéza vytvořená z obrazových dat ze 14., 24. a 27. července v oblasti Strážnice, kde jednotlivé barvy ukazují postup záplavy - modrá - zatopeno 14.7., 24.7., světle modrá - zatopeno 14.7., červená - zatopeno 24.7., 27.7., fialová - zatopeno pouze 24. 7., žlutá - zatopeno pouze 27.7., černá – vodní plocha na všech třech obrazových datech

9. Určování rozsahu záplavy pomocí snímků povodňových a popovodňových

V případě jižní Moravy byla testována možnost detailně určit zaplavené plochy z existujících dat i v místech, která byla zaplavena mimo okamžik měření. Pro zkoumání byla zvolena dvě území – v oblasti severně a jižně od Uherského Hradiště. Severní část byla tvořena územím o šířce několika set metrů a délce 22 km, jižní část pak byla oblastí 4 km širokou a 45 km dlouhou. Jednalo se o zemědělsky obdělávanou oblast před obdobím sklizně a žní. Protože neexistovalo kontinuální sledování zaplaveného území, byla použita existující data (14., 24., 27. července), z nichž bylo odvozeno, kdy byla která část území zaplavena. Výchozí informací byly tedy především popovodňová data z 24. a 27. července. Ta pak obsahují informace o změnách, ke kterým během povodně došlo – změna ve vegetační vrstvě – poškozená nebo polehlá plodina, změna v půdní vrstvě, způsobená vymíláním nebo usazováním půdní vrstvy.

Protože radarová data svým vzhledem ovlivněným tečkami nejsou pro interpretaci či klasifikaci příliš snadná, bylo v daném případě přistoupeno k tomu, že veškerá porovnávání byla provedena na plošných elementech a ne na jednotlivých pixelech. Někteří autoři tento problém překonávají použitím více snímků, u kterých je provedeno potlačení teček sečtením a zprůměrováním hodnot v jednotlivých pixelech těchto snímků. Jiní autoři, se snaží potlačit tečky na snímku (Lopes et al., 1990, Lopes et al., 1993, Zhenghao Shi and Fung, 1994) pomocí filtrace. Z filtrů, které jsou často používány, jsou to Leeův filtr (Lee, 1981 - citováno z 3.), Kuanův lokální statistický filtr (Kuan et al., 1987 - citováno z 3.) nebo Frostův filtr (Frost et al., 1982 – citováno z 3.).

Při vlastním testování byla i po použití filtrace porovnávána území celých polí a jejich částí, které byly dočasně zaplaveny. Celkem bylo vyhodnoceno 28 polí a jejich zaplavených částí. Změny, které byly způsobeny povodní, byly určeny z následných dvou snímků – 24. a 27. července.

Hranice jednotlivých polí byly odvozeny ze snímku SPOT pořízeného v květnu téhož roku před vlastní povodní nebo ze snímku Thematic Mapper pořízeného v srpnu po povodni.

Tato pole obsahovala oblasti zaplavené na snímku ze 14. července. Zaplavené oblasti tedy tvořily části jednotlivých polí. Změny způsobené povodní byly určovány pomocí poměru průměrné intenzity záření dané oblasti a jejího pole. Průměrná hodnota může zůstat stejná pouze pro částečně zaplavené území (velmi nízké hodnoty intenzit) a území se zvýšenou vlhkostí nebo drsností (vysoké hodnoty intenzity, tak jako pro území, které již bylo vysušeno a má celkově nižší hodnoty naměřených intenzit). Tato průměrná hodnota intenzity záření proto nemusí zcela přesně popisovat změny, ke kterým v průběhu povodně došlo, z tohoto důvodu byly použity ještě hodnoty směrodatné odchylky intenzity jako ukazatelé rozdělení hodnot intenzity odraženého záření v rámci sledovaných oblastí a jejich polí. Hodnoty směrodatné odchylky byly ještě podrobeny vizuální kontrole jednotlivých oblastí, aby bylo zjištěno, zda se nejedná např. o dvě různé homogenní ale zcela odlišné plochy při vysoké hodnotě směrodatné odchylky (tedy část dosud zaplavená a část nezaplavená), ale o rovnoměrné rozdělení odlišných hodnot zpětného rozptylu v pixelech. Údaj vycházející ze směrodatné odchylky pak sloužil pro určení, zda průměrné hodnoty zpětného rozptylu z oblasti a jejího pole jsou srovnatelnými hodnotami. Například zaplavená oblast na snímku ze 14. července může mít na dalším snímku stejnou intenzitu záření a její směrodatnou odchylku jako její pole, ale zcela odlišnou texturu, protože část této oblasti je stále zaplavena, má tedy velmi malý zpětný rozptyl, druhá část má velmi vysoký rozptyl díky vysoké drsnosti a vlhkosti. Hodnoty směrodatné odchylky intenzit odraženého záření si budou blízké, ale plošné rozdělení vysokých a nízkých hodnot se podstatným způsobem liší.

Situace, které se vyskytly na vybraných oblastech a jejich polích byly rozděleny do 5 případů podle velikosti intenzity a směrodatné odchylky na datech ze 24. července a 27. července.

Případ 1 (tab. 2, obr. 7 a – d, oblast 1, 2, 3, 4) je charakterizován oblastí s malým zpětným rozptylem a malou směrodatnou odchylkou jak u oblastí, tak u polí na snímku z 24. července. Ke změně došlo na snímku ze 27. července: oblast 1 a 2 mají dosud malou hodnotu směrodatné odchylky, průměrný zpětný rozptyl oblastí je nižší než u odpovídajících polí, oblast 3 má vysokou směrodatnou odchylku a průměrná intenzita záření u oblasti blízká hodnotě pro pole, oblast 4 má vysokou směrodatnou odchylku a průměrná intenzita vyšší u oblasti než u jejího pole. V oblasti 1 a 2 se objevuje vyhlazení povrchu způsobené buď sedimentačními nánosy, nebo polehnutím vegetace, oblast 3 nevykazovala velké změny, oblast 4 naopak vykázala nárůst intenzity záření způsobeného pravděpodobně vyšší vlhkostí, protože jsou na snímku se strmým úhlem dopadu. Obr. 6 přibližuje místo označené jako 2 v grafu na obr. 7.

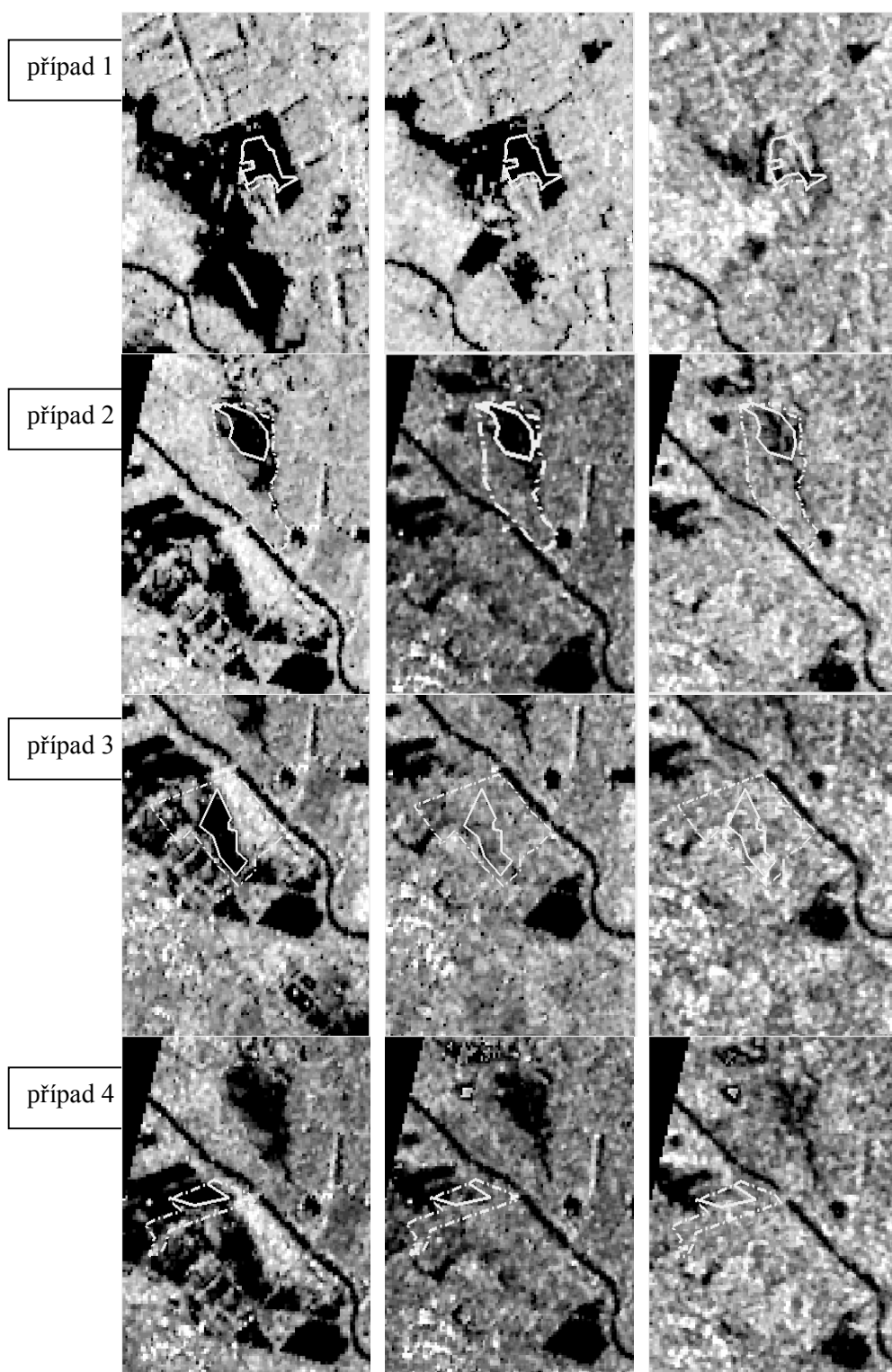
Případ 2 (tab. 2, obr. 7 a – d, oblast 5 – 11) představuje oblast s malou směrodatnou odchylkou intenzity záření a průměrnou hodnotou intenzity záření nižší než u jejich polí, a to jak na snímku z 24. července, tak z 27. července. Výjimkou je místo označené jako 11, které má jak v oblasti, tak v odpovídajícím poli vysokou hodnotu intenzity záření na snímku z 27. července. Na snímku z 27. července však mají oblasti vyšší hodnoty intenzity záření než na snímku z 24. července a jejich směrodatné odchylky jsou nižší než směrodatné odchylky jejich polí. Interpretace tohoto stavu ukazuje, že se jedná o oblasti, které byly na snímku z 24. července dosud zaplaveny nebo vyhlazeny a pokryty sedimentační vrstvou. Fakt, že hodnoty zpětného rozptylu oblastí jsou relativně nízké na snímku z 27. července, dále potvrzuje, že zde nebyla vysoká vlhkost. Bylo-li by tomu tak, byla by na snímku z 27. července daleko vyšší hodnota zpětného rozptylu, protože snímek byl pořízen pod vysokým úhlem dopadu (Wide 1), a byla by zde daleko vyšší citlivost na vlhkost než na snímku ze 24. července, pořízeném pod větším úhlem dopadu (Standard 5). Protože rozdíl mezi průměrnou hodnotou intenzity záření oblastí a jejich polí není navíc příliš velký, není vlhkost toho příčinou. Proto nízkou průměrnou hodnotu a směrodatnou odchylku těchto oblastí a jejich rozdíl mezi těmito hodnotami a hodnotami jim odpovídajících polí lze interpretovat jako oblasti, kde došlo ke snížení drsnosti sedimentačním procesem, případně k polehnutí vegetační vrstvy. Výjimkou je oblast označená 11, kde vyšší hodnota intenzity záření je blízká mezi oblastí a jí odpovídajícím polem na snímku z 27. července. Zvýšená hodnota u oblasti i pole udává, že obě mají vyšší hodnotu vlhkosti než ostatní oblasti tohoto případu. Zda se i u této oblasti vyskytuje proces sedimentace, nelze v tomto případě rozhodnout. Potvrzení by bylo dosaženo v případě, kdyby byl k dispozici další snímek ze suššího období. Obr. 6 ukazuje situaci oblastí a pole označené číslem 6 v grafu na obr. 7.

Případ 3 (tab. 2, obr. 7 a – d, místa 12 – 16) je na snímku ze 24. července charakterizován oblastmi s vysokou směrodatnou odchylkou intenzity záření mírně vyšší, než je směrodatná odchylka jejich polí a s hodnotou intenzity záření menší než u jim odpovídajících polí. Místo 13 je výjimkou, protože hodnoty pro oblast i její pole jsou shodné na snímku ze 27. července. Tento případ lze interpretovat tak, že povrch oblastí je mírně hladší než u polí (místa 12, 14, 15 a 16), ale hodnota směrodatné odchylky nenaznačuje velké změny ve vegetaci nebo sedimentaci. Oblast 13 nevykazuje žádné změny jako důsledek záplavy, neboť hodnota intenzity záření i směrodatné odchylky oblastí i jejího pole jsou stejné na snímku z 27. července. Na obr. 6 je zobrazena oblast a pole označené jako 12 v grafu na obr. 7.

Případ 4 (tab. 2, obr. 7 a – d, místa 17 – 22) je definován oblastmi s vysokou hodnotou směrodatné odchylky intenzity záření a hodnotami intenzity záření obdobnými pro oblasti i jejich pole na snímku ze 24. července a s odlišnou intenzitou záření na snímku ze 27. července. Dvě oblasti (17 a 18) mají hodnotu průměrné intenzity záření větší než jejich pole, dvě oblasti (19 a 20) mají tuto hodnotu nižší a dvě oblasti (21 a 22) ji mají shodnou na snímku ze 27. července. Zde je dominujícím faktorem vlhkost půdy. První dvě oblasti jsou tedy plochami se

zvýšenou vlhkostí na snímku ze 27. července ve srovnání s jejich poli, druhé dvě ukazují opak, tedy oblasti, které jsou sušší než jejich pole. Pokud by to mělo být výsledkem hladších povrchů, pak by to vedlo k průměrným hodnotám intenzity záření oblastí, které by byly nižší než u polí pro větší úhel dopadu na snímku ze 24. července. Dvě oblasti se stejnými hodnotami intenzity

Obr.6 přibližuje situace ukázek jednotlivých případů (1 – 4). Případ 1 je místo označené jako 2, případ 2 zobrazuje situaci místa 6, případ 3 stav v místě 12, případ 4 stav v místě 20. Plná čára vymezuje plochy jednotlivých oblastí, čerchovaná plochy jim odpovídajících polí. Levý sloupec dílčích obrázků jsou výřezy ze snímku ze 14. července, prostřední ze snímku ze 24. července a pravý ze snímku ze 27. července. Všechny oblasti na snímku ze 14. července byly zaplaveny.



záření, jako mají jejich pole, naznačují, že záplava nezpůsobila nějaký dopad na tyto plochy. Na obr. 6 je pro případ 4 ukázána oblast 20 v grafu na obr. 7. Rozdílné hodnoty vlhkosti jsou důsledkem různého typu půdních podmínek.

Případ 5 (tab. 2, obr. 7, místa 23 – 28) obsahuje oblasti s vysokou hodnotou směrodatné odchylky intenzity záření a s hodnotami intenzity záření oblastí vyššími, než mají hodnoty intenzity záření svých polí na obou datech – 24. i 27. července. U všech polí s výjimkou místa označeného číslem 23 je absolutní hodnota intenzity záření vyšší na datech se strmým úhlem dopadu záření ze 27. července než na datech s větším úhlem dopadu ze 24. července. To naznačuje, že i když půdní vlhkost byla stále vysoká, drsnost povrchu ovlivnila intenzitu záření na datech ze 24. července, vlhkost pak na datech ze 27. července. Výsledky v tomto případě tedy nejsou zcela jednoznačné. Údaje z dříve pořízených dat nabízejí možnost eroze, ale trvalý vyšší stav vlhkosti to nedovoluje potvrdit. Potvrzení by bylo možné získat z dodatečného snímku pořízeného v době suchého období a pod velkým úhlem dopadu. Na takovémto snímku by místa, kde došlo k erozi, vykazovala vyšší hodnoty zpětného rozptylu než jejich odpovídající pole.

Tabulka 2 vyhodnocuje všechny lokality jednotlivých případů. Díky hodnotám průměrné intenzity záření na datech ze 24. a 27. července a díky kontrole hodnot průměrné intenzity záření jsou vyhodnoceny oblasti z hlediska nastalých situací způsobených povodňovou aktivitou. Celé vyhodnocení bylo provedeno bez verifikace v terénu. Jedná se tedy o teoretický model, který byl vytvořen s příliš velkým časovým zpožděním.

Oblasti, jejichž průměrná hodnota intenzity záření je menší než u jeho pole na snímku ze 24. července a jejichž hodnoty mají stejný vztah na snímku ze 27. července, jsou místy, kde proběhl proces sedimentace (případ 2 a 3 s výjimkou místa 13).

Pokud hodnoty intenzit odraženého záření na datech ze 24. a 27. července mají obrácený vztah, nelze bez dodatečných dat rozhodnout, ale jedná se o potenciální erozní oblasti (případy 5). Zvýšená hodnota ze 27. července ale může být dána zvýšenou vlhkostí, to je tedy potřeba potvrdit dodatečnými daty ze suchého období.

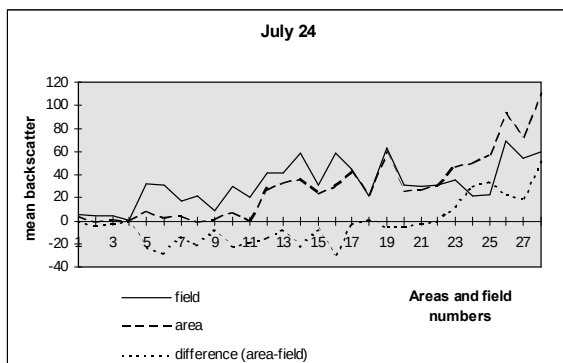
Oblasti, jejichž průměrná hodnota intenzity záření je rovna hodnotě u jeho pole na snímku ze 24. července a jejichž hodnoty mají stejný vztah i na snímku ze 27. července, jsou územími, kde nedošlo k významným změnám, pokud však na datech ze 27. července má oblast nižší hodnotu, jedná se o sedimentaci.

K žádným změnám nedošlo, pokud jsou na datech ze 24. července hodnoty intenzity odraženého záření oblastí a polí stejné a pokud totéž platí i pro snímek z 27. července.

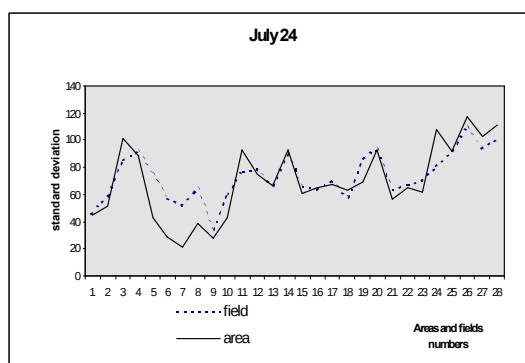
Detailní rozbor musí brát v úvahu i absolutní hodnoty zpětného rozptylu i fakt, že v průběhu mezi pořízením dat 24. a 27. července nebyla srážková činnost. Celý rozbor je ukázán v tabulce 2.

Případ	lokalita	RADARSAT 24. červenec			RADARSAT 27. červenec		nalezené změny	
		průměrný zpětný rozptyl pole a oblasti	průměrný zpětný rozptyl oblastí	směr. odchylka oblastí	průměrný zpětný rozptyl pole a oblasti	průměrný zpětný rozptyl oblastí	změny	sedimentace/ eroze
1	1	je roven	nulový	nízká	větší než	nízký	ano	sedimentace
1	2	je roven	nulový	nízká	větší než	nízký	ano	sedimentace
1	3	je roven	nulový	nízká	je roven	vysoký	ne	
1	4	je roven	nulový	nízká	menší než	vysoký	nerozhodnuto	možná sedimentace
2	5	větší než	nízký	nízká	větší než	nízký	ano	sedimentace
2	6	větší než	nízký	nízká	větší než	nízký	ano	sedimentace
2	7	větší než	nulový	nízká	větší než	nízký	ano	sedimentace
2	8	větší než	nulový	nízká	větší než	nízký	ano	sedimentace
2	9	větší než	nulový	nízká	větší než	nízký	ano	sedimentace
2	10	větší než	nízký	nízká	větší než	nízký	ano	sedimentace
2	11	větší než	nulový	nízká	je roven	vysoký	nerozhodnuto	možná sedimentace
3	12	větší než	vysoký	vysoká	větší než	vysoký	ano	sedimentace
3	13	větší než	vysoký	vysoká	je roven	vysoký	ne	
3	14	větší než	vysoký	vysoká	větší než	vysoký	ano	sedimentace
3	15	větší než	vysoký	vysoká	větší než	vysoký	ano	sedimentace
3	16	větší než	vysoký	vysoká	větší než	vysoký	ano	sedimentace
4	17	je roven	vysoký	vysoká	menší než	vysoký	nerozhodnuto	možná eroze
4	18	je roven	vysoký	vysoká	menší než	vysoký	nerozhodnuto	možná eroze
4'	19	je roven	vysoký	vysoká	větší než	vysoký	ano	sedimentace
4'	20	je roven	vysoký	vysoká	větší než	vysoký	ano	sedimentace
4"	21	je roven	vysoký	vysoká	je roven	vysoký	ne	
4"	22	je roven	vysoký	vysoká	je roven	vysoký	ne	
5	23	menší než	vysoký	vysoká	je roven	vysoký	ne	
5	24	menší než	vysoký	vysoká	menší než	vysoký	nerozhodnuto	možná eroze
5	25	menší než	vysoký	vysoká	menší než	vysoký	nerozhodnuto	možná eroze
5	26	menší než	vysoký	vysoká	menší než	vysoký	nerozhodnuto	možná eroze
5	27	menší než	vysoký	vysoká	menší než	vysoký	nerozhodnuto	možná eroze
5	28	menší než	vysoký	vysoká	menší než	vysoký	nerozhodnuto	možná eroze

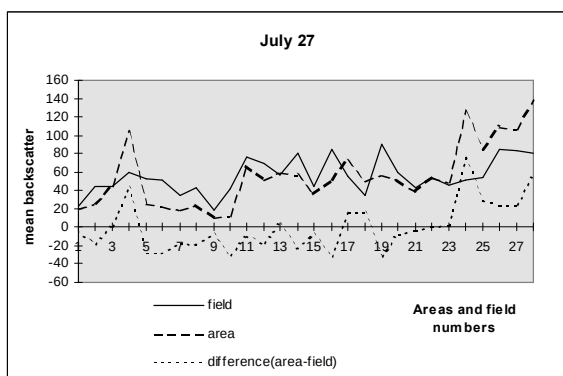
Tab. 2. Vyhodnocení všech zkoumaných oblastí a jejich ploch. Tabulka udává vztah průměrného zpětného rozptylu oblastí a ploch pro oba snímky (24. a 27. července), průměrný zpětný rozptyl oblastí na obou snímcích a odvozuje, kde lze a nelze určit změny způsobené povodní, kde došlo k erozi, k sedimentaci, kde se situace nezměnila.



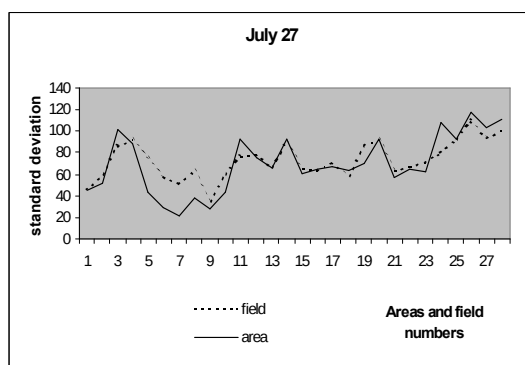
a)



b)



c)



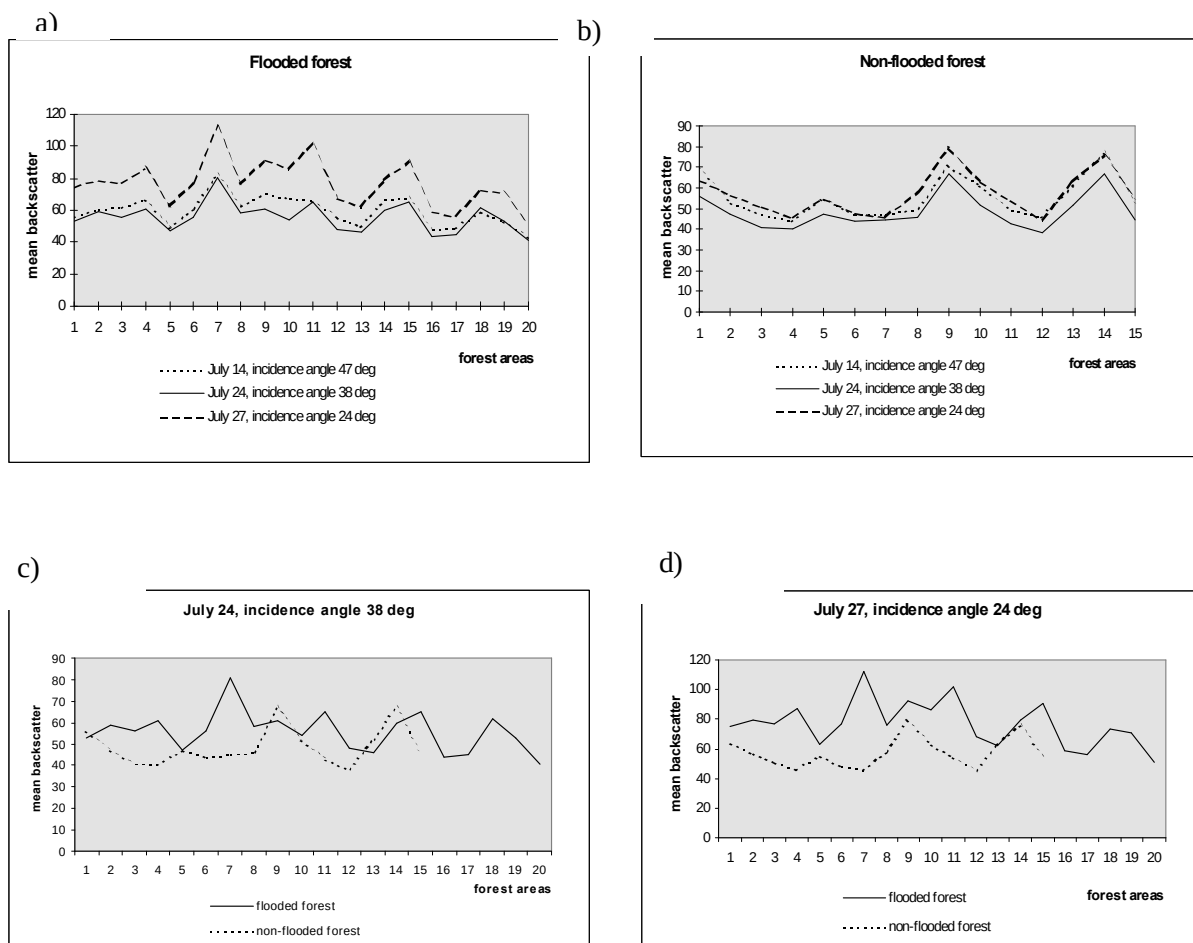
d)

Obr. 7. Grafy ukazující průměrný zpětný rozptyl (a, c) a průměrnou směrodatnou odchylku (b, d) oblastí (areas) a polí (fields) pro snímky ze 24. července a 27. července. Stav ze 24. července je na obr. (a, b) a ze 27. července (c, d). Přehled všech těchto ploch shrnuje a vyhodnocuje tab. 3.

10. Výsledky zkoumání zaplavených lesních ploch

Výzkumu byly podrobeny lesní plochy na třech datech jižní Moravy. Z předchozích prací autorů Krohn *et al.*, 1987, Ormsby & Blanchard, 1985, Place, 1985, Imhoff *et al.*, 1987, Hess *et al.*, 1990, Sippel *et al.*, 1994 vyplývá, že je možné detekovat zaplavené lesní plochy v inundační oblasti pomocí L a P pásmových radarů. Wang *et al.*, 1995 porovnával využití C a L pásmového radaru a potvrdil, že L pásmový radar je pro tuto úlohu vhodnější na území brazilských pralesů. Toto vyhodnocení proběhlo v roce 1997.

Zaplavené lesní plochy byly v daném případě rozpoznány díky zvýšenému zpětnému rozptylu ve srovnání s ostatními lesními plochami. Zaplavených lesních ploch bylo pro zkoumání náhodně vybráno celkem 20 a porovnáno s 15 opět náhodně vybranými lesními plochami, které byly mimo zaplavené území. Jejich vzdálenosti byly několik set metrů, byly tedy zachovány téměř stejné úhly dopadu, lesy byly v oblastech s velmi malým sklonem, kde se tedy neprojevil jev zhuštění signálu nebo jeho překryv.



Obr. 8. Grafy ukazující průměrné hodnoty intenzit odraženého záření zaplavených a nezaplavených ploch lesa. Graf a) ukazuje hodnoty pro 20 zaplavených lesních ploch na třech různých datech se třemi různými úhly dopadu. Stejnou situaci ale pro nezaplavený les ukazuje graf b). Grafy c) a d) porovnávají hodnoty zaplaveného a nezaplaveného lesa pro různé úhly dopadu.

V rámci vyhodnocení byl zkoumán i vliv úhlu dopadu na velikost průměrného zpětného rozptylu. Obr. 24 ukazuje vliv úhlu dopadu na hodnoty zpětného rozptylu jak pro zaplavený, tak nezaplavený les a zároveň porovnává hodnoty zpětného rozptylu zaplaveného a nezaplaveného lesa. Vliv různého úhlu dopadu na možnost detekce zaplaveného lesa byl sledován na snímcích s úhlem dopadu 47°, 38° a 24°. Těmito intenzitám odpovídají jednotlivé křivky grafu a). Je zcela zřejmé, že odchylky mezi úhly dopadu 47°, 38° jsou velice malé a pro různé druhy lesa – zaplavený versus nezaplavený - na rozpoznání nedostatečné. Výrazně odlišnou informaci je velikost průměrné intenzity záření pro data pořízená pod úhlem strmým (v tomto případě úhel dopadu 24°). Zde je zvýšená hodnota intenzity záření zcela zřejmá.

Graf b) ukazuje velmi nepatrné rozdíly mezi velikostí intenzity odraženého záření pro nezaplavené lesní plochy pro různé úhly dopadu v rozsahu strmého úhlu 24° až velmi málo strmého úhlu 47°. Lesní plochy jsou tedy plochami, jejichž velikost intenzity záření je v rámci různých úhlů dopadu poměrně stálá.

Graf c) porovnává pouze velikosti intenzity záření zaplaveného a nezaplaveného lesa pro úhel dopadu 38°. V tomto případě se vždy jedná o různé lesní plochy. Křivky se protínají, nelze tedy na datech s tímto, případně větším úhlem dopadu odlišit plochy zaplaveného od nezaplaveného lesa. Bylo by to možné, pokud by byl k dispozici snímek z období mimo záplavu a byly by srovnávány hodnoty ve stejných místech a ne jako v tomto případě hodnoty vybírané pro zaplavený les z míst záplavy a nezaplavený z míst, kde k záplavě vůbec nedošlo.

Graf d) porovnává opět pouze velikosti intenzity záření zaplaveného a nezaplaveného lesa pro úhel dopadu 24°. V tomto případě se vždy jedná o různé lesní plochy. Křivky jsou vůči sobě posunuty a lze tedy na datech s tímto, případně menším úhlem dopadu odlišit plochy zaplaveného od nezaplaveného lesa. Záření dopadající pod těmito strmými úhly dopadu, tedy i pro vlnové délky C pásma, je schopno odlišit zaplavený a nezaplavený les.

V obou případech jak při sledování dopadů záplavy na inundační území, tak při určování zaplavených a nezaplavených lesních ploch, byla použita metodika vyhodnocení průměrných hodnot intenzity odraženého mikrovlnného záření a jeho směrodatné odchylky. Tato metoda umožňuje odstranit vliv teček, které jsou nedílnou součástí radarových dat, a posuzuje jednotlivé plochy jako celek. Porovnání hodnot bylo vždy doplněno o vizuální kontrolu textury vybraných ploch. Důvodem tohoto přístupu bylo přiblížit vnímání radarových dat lidskému zraku, kdy jsou vnímány především plošné vjemy jako světlejší/tmavší, zrnitější/hladší, zpracovatelskému procesu. První z nich pak je vyjádřen průměrnou hodnotou intenzity záření, druhý je vyjádřen velikostí směrodatné odchylky. Vizuální kontrola sloužila k tomu, aby bylo porovnáno plošné rozmístění pixelů s odlišnými hodnotami. Směrodatná odchylka nepřináší informaci o plošném rozdělení pixelů s odlišnými hodnotami. Obdobnou hodnotu směrodatné odchylky intenzit odraženého záření mají data s pravidelným i nepravidelným rozmístěním pixelů s nízkými hodnotami, tedy plocha s typickou texturou radarových dat nebo plocha zčásti zatopená (nízké hodnoty v pixelech) a plocha s vysokou vlhkostí (vysoké hodnoty v pixelech).

11. Závěr

V dané fázi výzkumu bylo potvrzeno, že radarová data jsou neocenitelným informačním zdrojem pro sledování povodní. Lze sledovat okamžité stavy rozlivu povodně, z multitemporálních dat pak je možné odlišit trvalé vodní plochy od dočasných vzniklých během záplavy. Byla ukázána možnost, jak při vytváření barevné syntézy lze přímo z výsledného obrazu zjistit, která část území byla kdy zatopena.

Dále bylo potvrzeno, že pokud nejsou k dispozici data z období záplavy, lze v případě, že jsou pořízena nepříliš dlouho po záplavě, z těchto dat dodatečně zaplavené oblasti odvodit na základě zvýšené vlhkosti. K tomuto vyhodnocení je vhodné připojit i data z optických přístrojů, která umožní některá vyhodnocení upřesnit, např. pro zemědělská území vymezit přesné hranice polí a tím vymezit vliv.

V další fázi výzkumu pak byly zkoumány hodnoty zpětného rozptylu oblastí, které byly součástí polí, a těchto polí. Ze vzájemných vztahů hodnot zpětného rozptylu a jeho směrodatné odchylky na datech, na nichž jsou tato místa po opadnutí povodně, byly tyto oblasti vyhodnoceny z hlediska výskytu sedimentace a eroze.

Poslední část výzkumu byla věnována posouzení, zda je možno použít radarová data C-pásmová pro určení, zda byl les zaplaven, či nikoli. Bylo zjištěno, že to lze ze snímků s malým úhlem dopadu, s úhlem menším než 30°.

Literatura

1. Castleman, K.R.: *Digital Image Processing*, Prentice Hall, Inc., ISBN 0-13-211467-4, 1996.
2. Colwell, R.N.(editor): *Manual of Remote Sensing*, American Society of Photogrammetry, The Sheridan Press, 1983.
3. Hess, L.L. *et al*: Radar detection of flooding beneath the forest canopy. *Int. Journ. of Rem.Sens.*, 11 (7), 1313 – 1325,1990.
4. Hlavac, V. and Sara, R. (editors): *Computer Analysis of Images and Patterns*, Springer Verlag, Berlin; New York, 1995.
5. Imhoff, M.L. *et al*: Monsoon flood boundary delineation and damage assessment using space borne imaging radar and Landsat data. *Photogr. Eng. And Rem Sens.*, **53** (4), 405 – 413, 1987.
6. Krohn, M.D. *et al*: SEASAT Synthetic Aperture Radar response to lowland vegetation types in eastern Maryland and Virginia. *J.Geophys.Res.***88** (C3), 1837 – 1852, 1983.
7. Ormsby, J.B. *et al*: Detection of lowland flooding using active microwave systems. *Photogram. Eng. Remote Sens.* **51** (3), 317 – 328.
8. Place, J.L.: Mapping of forested wetlands: use of radar images to complement conventional sources. *Pref. Geogr.* **37** (4), 463 – 469, 1985.
9. Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W.: *Remote sensing and image interpretation*, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc. New York, 1987.
10. *Manual of PCI software*. PCI Enterprises, 50 West Wilmot Street, Unit 200E, Richmond Hill, Ontario, Canada, 2001.
11. Merot *et al*: Effect on saturated area on backscattering coefficient of ERS 1 synthetic aperture radar. *Water Resour. Res.* **30** (2), 175 – 179, 1994.
12. Wang, Y. *et al*: Understanding of radar backscattering from flooded and nonflooded Amazonian forest: results from canopy backscatter modeling. *Remote Sens. Environ.* **54** (3), 324 – 332, 1995.

Životopis

Ing. Lena Halounová, CSc.

Datum narození - 19. 3. 1956, Praha

Bydliště – Tomanova 12A, 169 00 Praha 6

Vzdělání a dosažené vědecké hodnosti

- 1971 – 1975 Gymnázium Jana Keplera, Praha 6,
- 1975 - 1980 Fakulta stavební ČVUT (Ing.) obor vodní stavby a vodní hospodářství,
- 1980 – 1985 interní aspirantura, katedra hydrotechniky Fakulty stavební ČVUT,
- 1986 – CSc.

Zaměstnání

- Funkce: odborný asistent,
- Pracoviště: Laboratoř dálkového průzkumu Země (DPZ), [katedra mapování a kartografie](#), [Fakulta stavební ČVUT](#) Praha, Thákurova 7, 166 29 Praha 6,

Praxe

- 1980 - 1985 : interní aspirantura na Fakultě stavební, katedře hydrotechniky,
- 1985 - dosud: laboratoř DPZ, Fakulty stavební ČVUT Praha,
- 1994 – 1997 - externí spolupráce s firmou KAP, s.r.o.,
- 1997 - 1999 - externí spolupráce s firmou MGE DATA, s.r.o.,

Odborné zájmy

- dálkový průzkum Země v oblasti vodního hospodářství, erozí, geologie,
- digitální zpracování obrazových dat, např. pro výzkum v oblasti biomechaniky–spolupráce s Fakultou tělesné výchovy a sportu KU,
- geografické informační systémy ve státní správě – spolupráce s Českou asociací pro geoinformace (např. příprava podkladů pro školení pracovníků státní správy v oblasti GIS a přehled Výuka GIS a DPZ na vysokých školách uvedený na stránkách http://www.cagi.cz/files/vs2001n2_190202175702.doc)

Výuka

- Geografické informační systémy (přednášky, cvičení)
- Zpracování obrazových záznamů (přednášky, cvičení)
- Dálkový průzkum Země (přednášky, cvičení)

Další aktivity

- Spoluorganizátor již tří ročníků semináře Aktuální problémy fotogrammetrie a DPZ (2000, 2001, 2002) na Fakultě stavební ČVUT

- Spolupráce s Magistrátem města Hradec Králové v oblasti GIS a DPZ
- Člen organizačního výboru mezinár. konference GIS Ostrava
- Certifikát školitele software GeoMedia z INTERGRAPH USA

Výzkumné projekty

- Vyhodnocování dopadu těžby na životní prostředí v oblasti SHP – projekt VaV MŽP 1995 (KAP, s.r.o.).
- Odhad rizik sledovaný ze snímků RADARSAT v oblasti Příbramska.
- Vyhodnocení snímků RADARSAT z období povodní v roce 1997 – projekt VaV MŽP 1997 (MGE DATA, s.r.o.).
- GIS dat z povodňového období v roce 1997 – projekt VaV MŽP 1998 (MGE DATA, s.r.o.).
- Vyhodnocení leteckých snímků Prahy pro potřeby modelů odtoku dešťových vod - Hydroprojekt Praha (MGE DATA, s.r.o.)
- Modely detekce půdních sesuvů s využitím dat dálkového průzkumu Země a nástrojů GIS – GA ČR 103/97/0669
- Vývoj metodiky sledování změn zemského povrchu v oblastech s intenzivní hlubinnou a povrchovou těžbou ložisek nerostných surovin - GA ČR 205/01/0982
- Vyhodnocení vývoje rekultivovaných ploch v SHP pomocí dálkového průzkumu Země – GA ČR 205/03/0518

Členství

- Předsedkyně společnosti pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země,
- Finanční komise Intern. Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)
- Zástupce ČR v Evropském sdružení laboratoří dálkového průzkumu Země (EARSeL)
- Česká asociace pro geoinformace
- Podborová komise č. 205: Věd o Zemi a vesmíru Grantové agentury ČR
- Terminologická komise oboru geodézie

Jazykové znalosti

- angličtina,
- francouzština,
- ruština,
- holandština
- bulharština

V Praze 30. října 2004

Lena Halounová