ŘEŠENÍ GIS ANALÝZ V RÁMCI SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH MODELŮ

Ing. Martin Švec

Katedra mapování a kartografie, Stavební fakulta, České vysoké učení technické,
Thákurova 7, 166 29, Praha 6 – Dejvice, Česká republika
M.Svec82@gmail.com

Department of Mapping and Cartography, Faculty of Civil Engineering, CTU,
Thákurova 7, 166 29, Prague 6 – Dejvice, Czech Republic
M.Svec82@gmail.com

Abstrakt. Řešení GIS analýz, jež jsou také tématem tohoto příspěvku, bývají často velice složitá. GIS analýza, která je zpracovávána pro výsledný srážko-odtokový model v rámci grantového projektu s názvem Využití geoinformačních technologií pro zpřesňování srážko-odtokových vztahů (reg.č. 205/06/1037), je řešena na základě zjištěných rozdílů vlhkostí získaných porovnáním dvojice družicových dat před a po povodňových srážkách. Jednotlivé intervaly rozdílů vlhkostí jsou porovnávány s všemi možnými dostupnými informacemi o vlastnostech terénu (sklon, typ, hloubka, a skeletovitost půdy, vzdálenost od vodního toku), využití (les, zemědělská plocha) a počasí v daném období (množství srážek, teplota). Jejich kombinací je hledána nejrealistější varianta, která by nejvíce vystihovala nejen situaci pro konkrétní území (povodí Olše a Bělé) v konkrétní období, ale v budoucnu sloužila i pro komplexní využití.

Klíčová slova: GIS analýza, využití a pokryv krajiny, srážko-odtokové poměry v krajině.

Abstract. GIS analysis solutions in terms of rainfall-outfall models. GIS analysis solutions, which are part of this contribution, are usually very complicated. Being a part of a grant project called Exploitation of geographic information system for improving rainfall-outfall relation (reg.No. 205/06/1037), the GIS analysis used for the final rainfall-outfall model is being solved according to moistness differences gained from satellite data before and after a flood rainfall. Single moistness differences' intervals are being compared with every possible information about terrain properties (slope, type, depth and roughness of soil, distance from stream), usage (forest, agriculture) and actual weather (amount of rainfall, temperature). The result is the most realistic combination of these, that would not only suit the specific area (river Olše and Bělá catchment) and period but also be of importance for more complex situations.

Keywords: GIS analysis, land use and land cover, rainfall-runoff situation in the landscape.

1 Úvod

GIS analýzy se dnes vyskytují v téměř všech odvětvích lidské činnosti. Využívají nepřeberného množství zdrojů, v tom se však skrývají jistá úskalí, protože mnohdy není hlavním problémem řešení samotné GIS analýzy ale zvolení vhodných parametrů, které do ní vstupují. V případě analýz, zjišťujících závislost změn vlhkosti v určitém časovém intervalu byly využity vlastnosti terénu (sklon, typ, hloubka a skeletovitost půdy, vzdálenost od vodního toku), využití (les, zemědělská plocha) a počasí v kontrétním období (množství srážek, teplota), dále pak změna vlhkosti půdy během dvou povodňových událostí, získaná zpracováním snímků pořízených družicí ERS-2 během let 2002 a 2005.

V grantovém projektu Využití geoinformačních technologií pro zpřesňování srážko-odtokových vztahů (reg.č. 205/06/1037) byla zpracována GIS analýza pro modelové povodí řeky Olše v Moravskoslezském kraji.

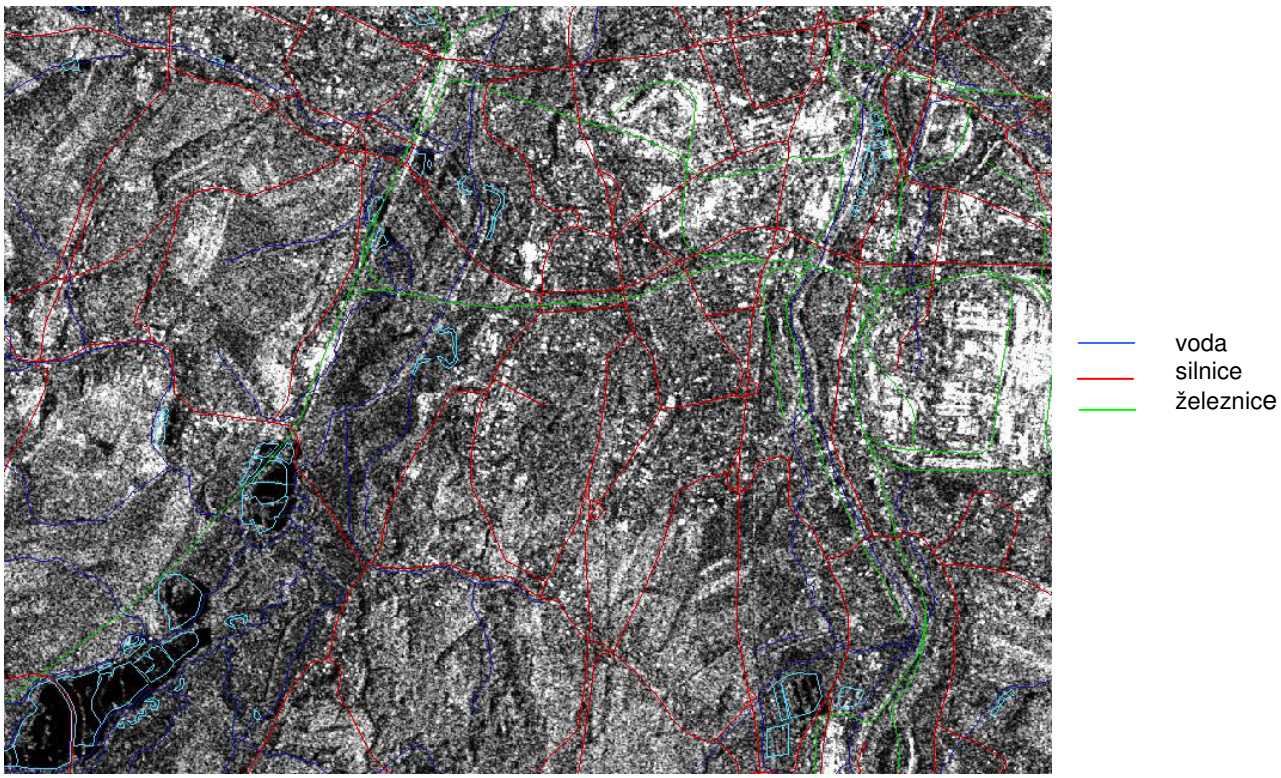
Řeka Olše (polsky Olza) patří do VHP Český Těšín. Její pramen se nachází nedaleko polské vesnice Istebna ve slezských Beskydách v nadmořské výšce 840-880 m n.m. Do Odry ústí u města Bohumín v nadmořské výšce 195 m n.m. Její horní tok (Istebna – Český Těšín) tvoří hranici mezi Slezskými a Moravsko-Slezskými Beskydami. Dolní tok (Český Těšín – ústí do Odry) je součástí česko-polské státní hranice.

2 Zpracování dat

2.1 Zpracování radarových snímků

2.1.1 Georeferencování scén ERS do vektorových dat povodí Olše

Snímky byly dodány na DVD ve standardním formátu Envisat. Pro práci v programu Geomatica bylo třeba dodané snímky převést do formátu *.pix. Takto převedené snímky však byly oproti skutečnosti vertikálně převrácené. K lepší orientaci na snímku pro pozdější práci byly vytvořeny vektory obsahující správné zeměpisné souřadnice a do nich snímky vertikálně přetransformovány.
Poté byly snímky transformovány do vektorových dat povodí řeky Olše. Jednalo se o vektorová data DMU25 v souřadnicovém systému S-JTSK. Pro tuto transformaci byly použity vektory vodních ploch, liniových vodních toků, silnic a železnic. Jako vlícovací body byly použity křížení těchto vektorů, které lze poměrně snadno najít i na radarovém snímku, pokud máme k dispozici mapové podklady snímku.

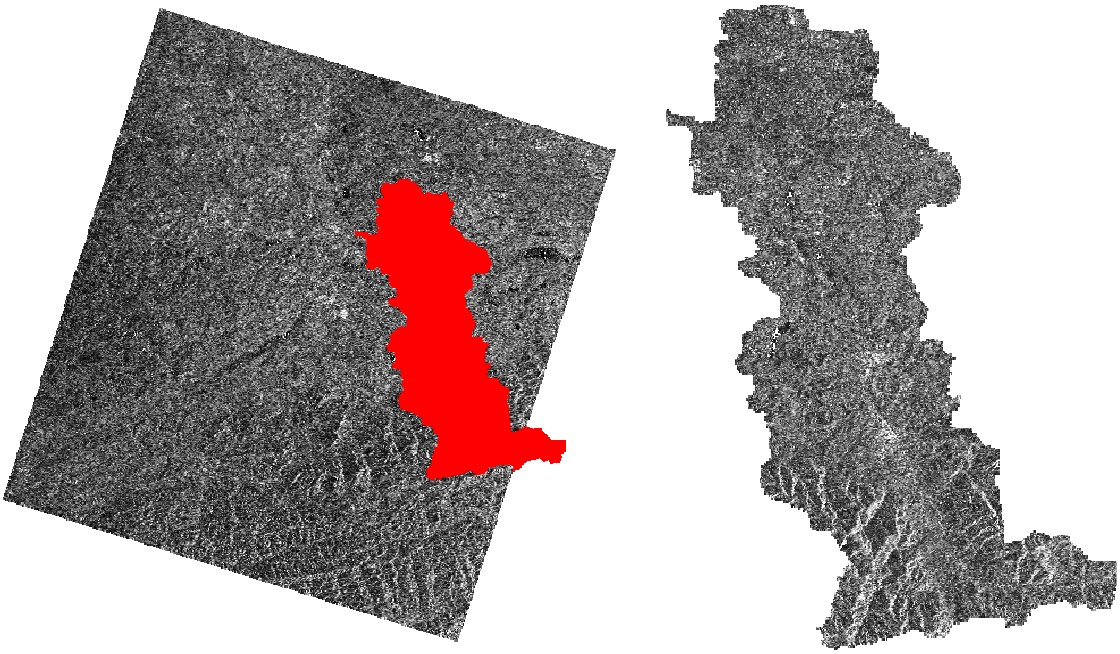


Obr. 1. Výřez radarového snímku georeferencovaného do vektorů povodí.

Další snímky byly transformovány podle již georeferencovaného nejstaršího snímku. Jako vlícovací body byly opět použity křížení liniových staveb a vodních ploch rovnoměrně rozložené po celé ploše snímku. Pro další práci bylo nutné, aby měly všechny snímky stejné vlastnosti. Proto byly zbývající tři snímky uloženy do dalších pásem databáze obsahující již první snímek, čímž převzaly jeho vlastnosti (počet řádků a sloupců, rozměr pixelů).

2.1.2 Ořezání snímků dle povodí Olše

Povodí řeky Olše zabírá pouze část plochy snímku, proto bylo třeba snímky pro další práci ořezat pouze na oblast povodí. Do databáze obsahující snímky byl načten vektor zobrazující hranici povodí řeky Olše. Podle této hranice byla vytvořena bitmapová maska, podle které byly ořezány všechny snímky v databázi. Tímto byla vytvořena nová databáze obsahující jen nové ořezané snímky.



Obr. 2. Poloha a rozměr oblasti povodí na snímku (vlevo); snímek ořezaný jen na oblast povodí (vpravo).

2.1.3 Filtrace průměrovým filtrem o velikosti kernelu 5×5

Na tyto ořezané snímky byl pro vyhlazení nehomogenit a odstranění šumu použit *průměrový filtr* o velikosti kernelu 5×5. Průměrový filtr je typ nízkofrekvenčního filtru, který pracuje tak, že jsou z obrazu odstraněny vysoké frekvence, čímž se ztrácejí ostře vystupující detaily.
Průměrový filtr pracuje tak, že pod maskou filtru (kernelem) je vypočítán aritmetický průměr hodnot pixelů, který je dosazen do radiometrického rozlišení jako nová hodnota středového pixelu.

2.1.4 Rozdělení území podle hranic tříd z klasifikace LANDSAT

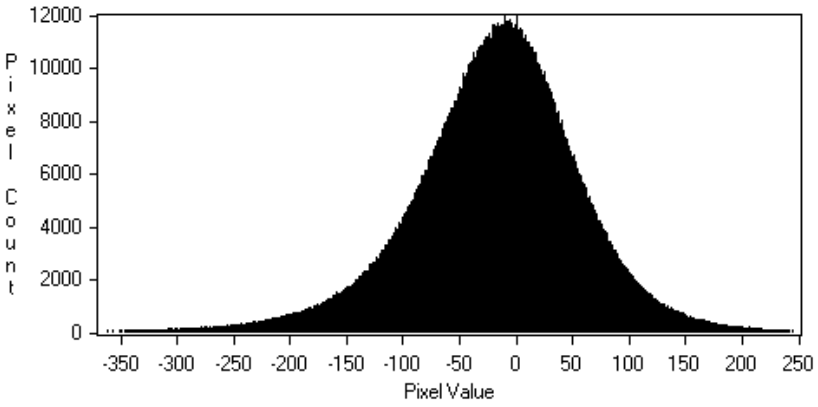
Nakonec bylo analyzované území rozděleno dle tříd klasifikace Landsat. V oblasti povodí se vyskytují hlavně třídy lesů, zemědělských ploch, vodních ploch a sídel. Pro další práci byly vybrány pouze třídy, na nichž lze zkoumat změny vlhkosti – třídy lesů a zemědělských ploch.

2.1.5 Určení změny mezi dvěma časovými úrovněmi

Takto upravené snímky byly připraveny pro vlastní určování změn. Pro každou dvojici byl spočítán rozdílový snímek tak, že od digitálních hodnot pixelů staršího snímku byly odečteny digitální hodnoty pixelů snímku mladšího. Protože byly odčítány dva snímky o radiometrické hloubce dat 16 bitů, byly kvůli záporným hodnotám nové snímky ukládány do pásem o radiometrické hloubce 32 bitů. Rozdílové snímky již byly přímo počítány pod maskou hranic tříd lesů a zemědělských ploch, takže pro každou časovou dvojici byly získány dva nové rozdílové snímky (viz obr. č.15 a 16). Maximální hodnoty změn vlhkosti jsou reprezentovány světlými odstíny šedi, minimální hodnoty jsou znázorněny tmavými barvami.
Pro rozdílové snímky byly nejprve spočítány histogramy. Histogram je funkce udávající frekvenci výskytu jednotlivých hodnot obrazové funkce (stupňů šedi) v obraze. Z histogramu lze určit statistické údaje o obrazových datech jako jsou maximální a minimální digitální hodnota pixelů, počet pixelů obrazu, průměr, medián (střední hodnota), modus (nejčastější hodnota) a směrodatná odchylka.

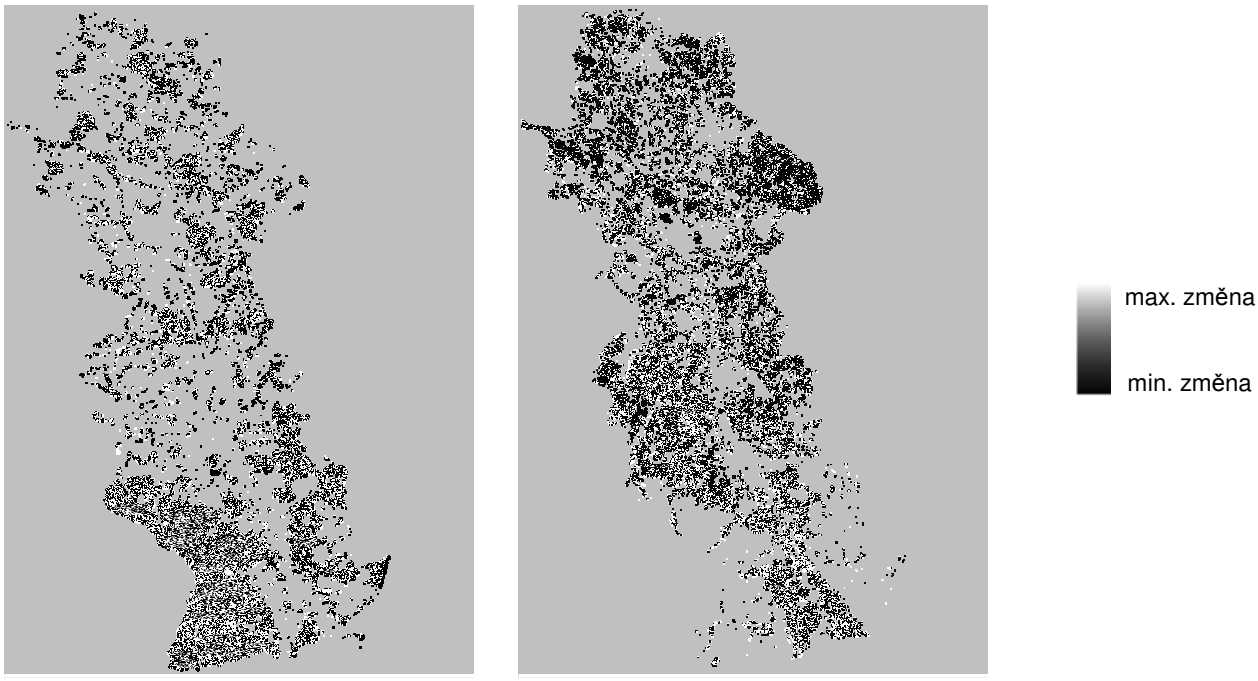
Statistické hodnoty snímku	první časová dvojice		druhá časová dvojice	
	třída lesů	třída zem.ploch	třída lesů	třída zem.ploch
modus	0	0	0	0
medián	$-1.18 *10^{-38}$	$-1.18 *10^{-38}$	$-1.18 *10^{-38}$	1.18 *10
průměr	-2.43	-5.31	0.99	1.99
směrodatná odchylka	32.46	36.51	27.91	29.46
počet pixelů	16 124 130	16 124 130	16 124 130	16 124 130
minimální hodnota	-2527	-2504	-3107	-2280
maximální hodnota	3156	1821	4419	6236

Tabulka 1. - Statistické hodnoty z histogramů pro všechny snímky



Obr. 3. Ukázka histogramu pro rozdílový snímek.

Velmi odlehlé hodnoty byly z výběru odstraněny omezením histogramu. Výsledné upravené snímky byly exportovány do formátu *.tiff, který je možno načíst do programu ArcGis. Následné analýzy závislostí změn vlhkosti na různých charakteristikách území pomocí GIS nástrojů probíhaly v tomto programu.



Obr. 4. Rozdílové snímky vyjadřující změnu vlhkosti pro první časovou dvojici pro třídu lesů (vlevo) a zemědělských ploch (vpravo).

Obr. 5. Rozdílové snímky vyjadřující změnu vlhkosti pro první druhou dvojici pro třídu lesů (vlevo) a zemědělských ploch (vpravo).

2.2 GIS analýzy upravených radarových snímků

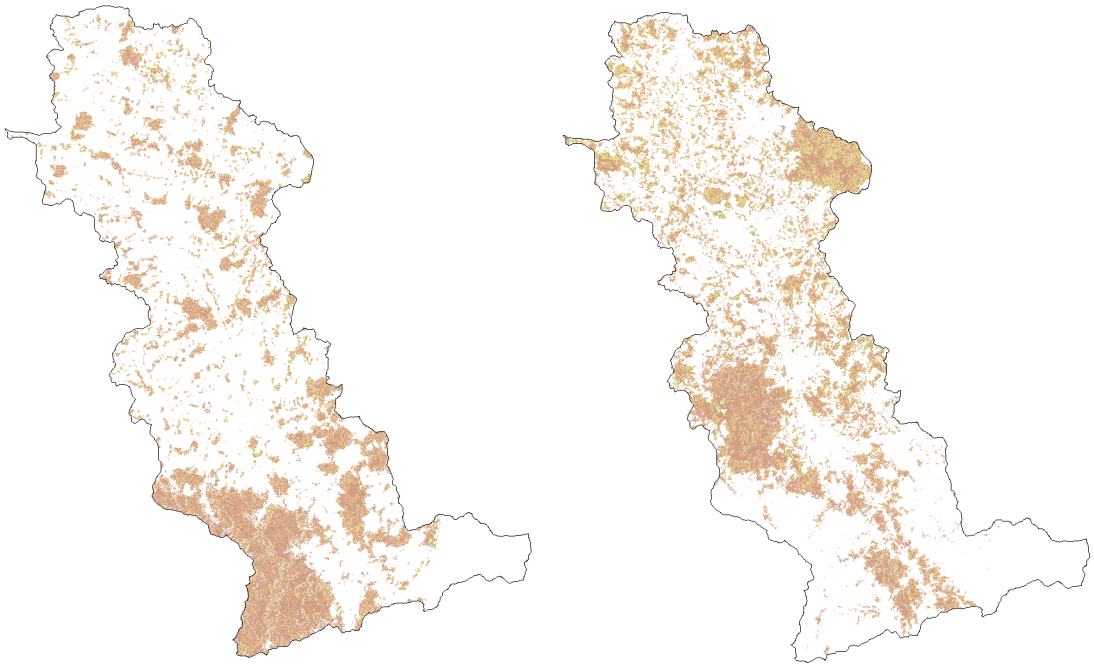
2.2.1 GIS analýza závislosti změn vlhkosti na různých charakteristikách území

Rozsah digitálních hodnot každého rozdílového snímku reprezentující změny vlhkosti byl rozdělen do 10 intervalů o stejném počtu hodnot. Každý interval změn vlhkosti byl analyzován zvlášť pro každou charakteristickou vlastnost území, tzn. zvlášť pro sklon svahu, vzdálenost od vodoteče a druhem půdy (dle BPEJ).

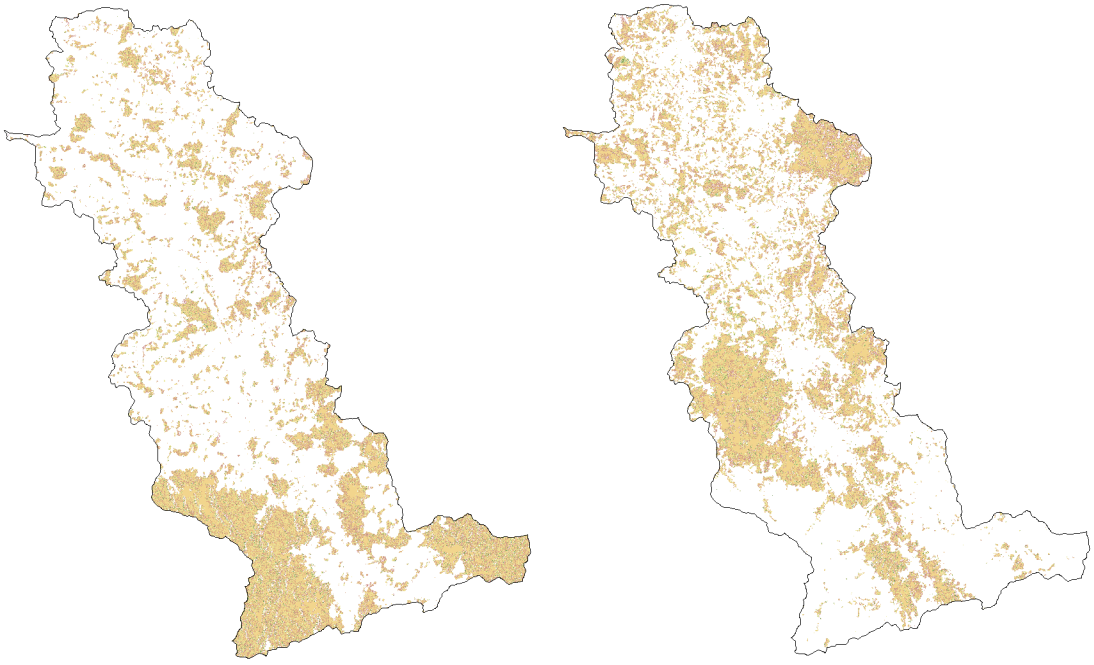
		první dvojice	druhá dvojice
interval hodnot	1	(-300; -255)	(-150; -118)
	2	(-255; -210)	(-188; -86)
	3	(-210; -165)	(-86; -54)
	4	(-165; -120)	(-54; -22)
	5	(-120; -75)	(-22; 10)
	6	(-75; -30)	(10; 42)
	7	(-30; 15)	(42; 74)
	8	(15; 60)	(74; 106)
	9	(60; 105)	(106; 138)
	10	(105; 150)	(138; 170)

Tabulka 2. - Rozdělení digitálních hodnot pixelů výsledných rozdílových snímků do 10 intervalů.

Z předchozího zpracování již byly snímky rozděleny dle pokryvu na lesní a zemědělské plochy, proto probíhala GIS analýza samostatně pro oba druhy pokryvu.



Obr. 6. Výsledné rozdílové snímky vyjadřující změnu vlhkosti v území pro první časovou dvojici ve formátu *.tiff pro lesní (vlevo) a zemědělské (vpravo) třídy.



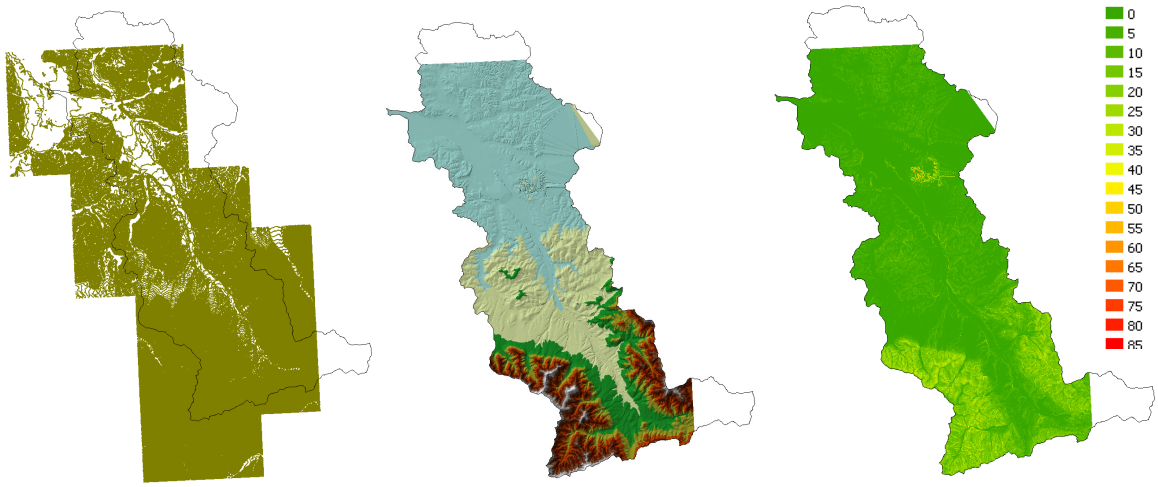
Obr. 7. Výsledné rozdílové snímky vyjadřující změnu vlhkosti v území pro druhou časovou dvojici ve formátu *.tiff pro lesní (vlevo) a zemědělské (vpravo) třídy.

Analýza dle sklonu území

Nejprve byl z vrstevnic v programu ArcGIS vytvořen trigonometrický model terénu, který byl ořezán podle hranic povodí. Tento model byl převeden na rastr. Vrstevnice byly k dispozici jen pro území ČR, proto území, kde vrstevnice nejsou k dispozici, nelze analyzovat.

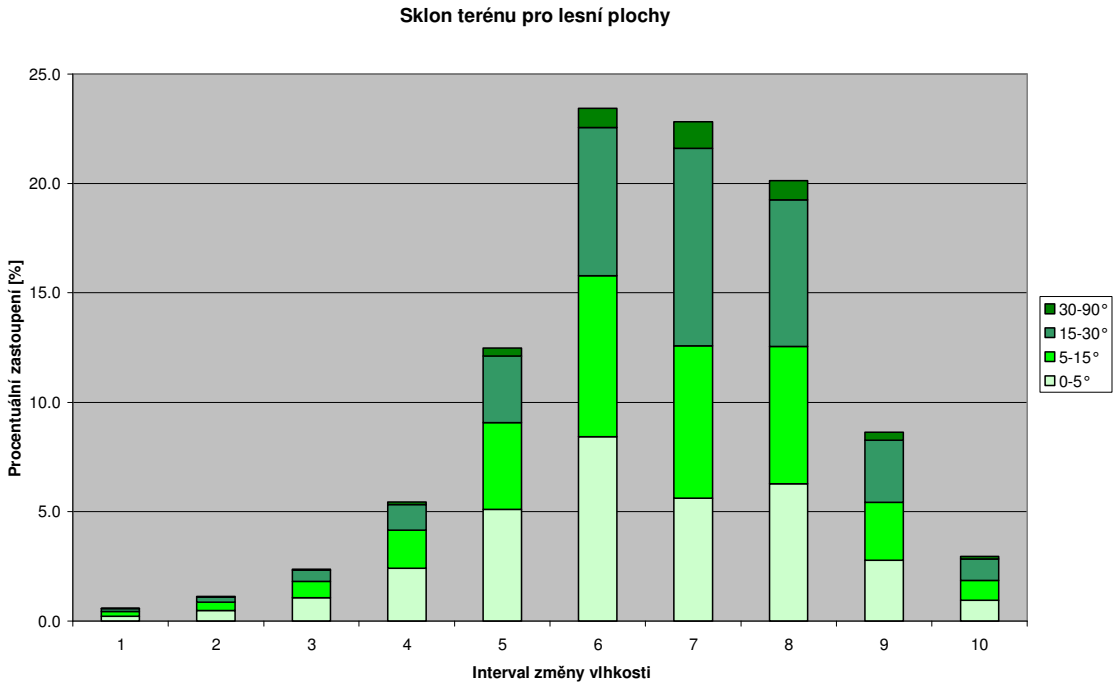
Vytvořený rastr byl rozdělen na intervaly po 5° dle sklonů. Pro každý interval změny vlhkosti bylo spočítání procentuální zastoupení každého pětistupňového intervalu sklonu. Na území však nejsou všechny sklonové intervaly stejně zastoupeny – některé se nevyskytují vůbec. Proto byly tyto intervaly

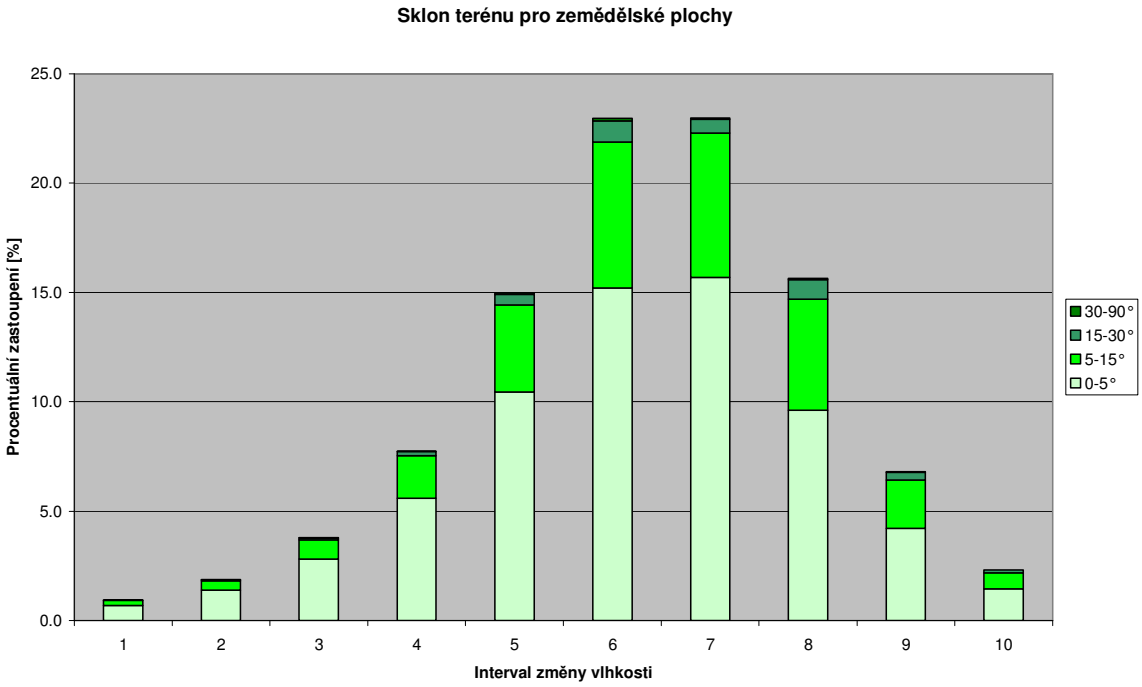
sloučeny tak, aby bylo dosaženo přibližně stejných procentuálních zastoupení. Tímto byly získány čtyři nové intervaly sklonů 0-5°, 5-15°, 15-30° a 30-90°.



Obr. 8. Postup tvorby rastru z vrstevnic pomocí TIN.

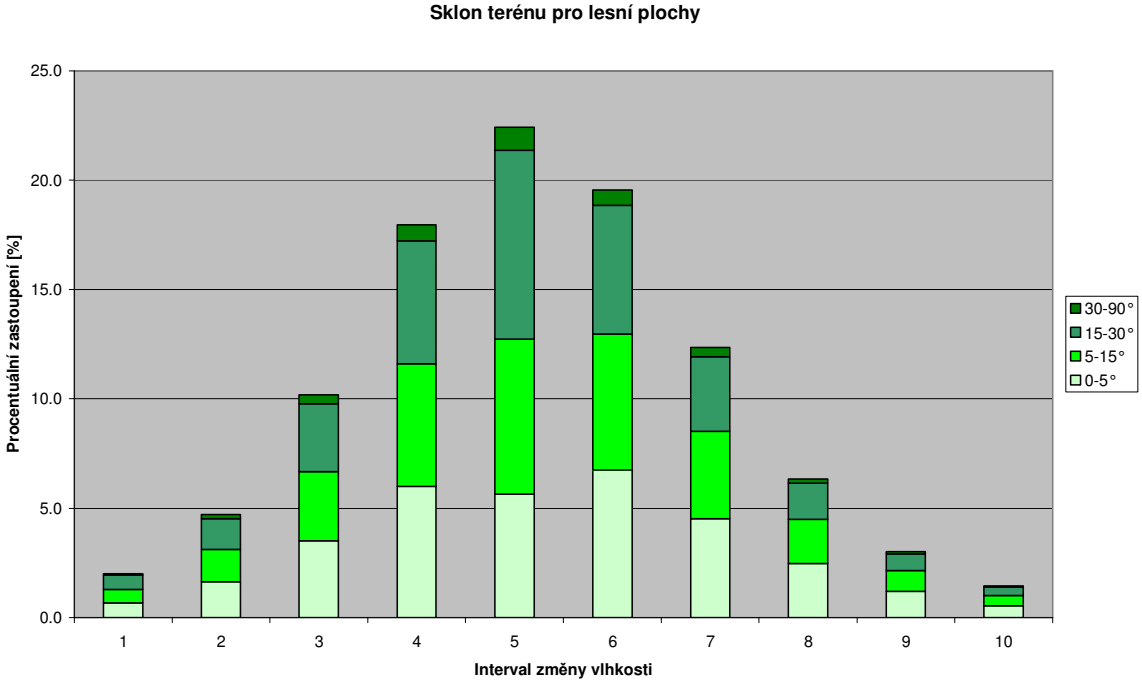
Pro každý interval změny vlhkosti byla spočítána výměra každého intervalu sklonu a následně procentuální zastoupení těchto sklonů. Výsledné hodnoty byly vyneseny do grafu znázorňujícího závislost změn vlhkosti na sklonu území. Graf byl vytvořen pro každý snímek.
Z grafů pro první časovou dvojici snímků je vidět, že pro třídu lesů jsou první tři intervaly sklonů v intervalech změn vlhkosti zastoupeny podobným procentuálním poměrem (cca 30%) a poslední interval jen malým poměrem. Ve třídě zemědělských ploch pak skoro 70% všech změn vlhkosti náleží nejmenšímu sklonu, naopak největší sklon není téměř zastoupen v žádném intervalu.
Nicméně v grafech pro oba typy povrchů jsou poměry všech intervalů sklonů pro všechny intervaly změn vlhkosti podobné. To znamená, že samotný sklon území nemá na změnu vlhkosti významný vliv.

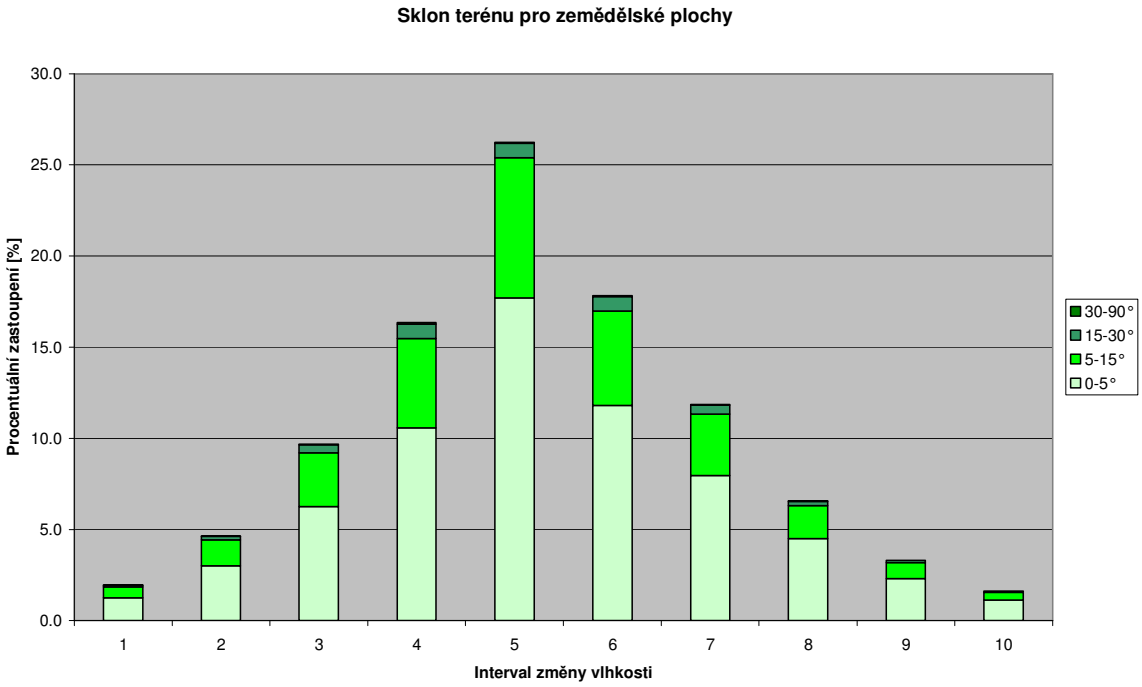




Graf 1. Vliv změn vlhkosti na sklonu terénu pro první časovou dvojici snímků (22. 7. 2002 a 26. 8. 2002 s povodňovou událostí 19. 7. 2002) pro třídu lesů (nahoře) a zemědělských ploch (dole).

Stejné grafy s podobným rozložením poměrů intervalů byly získány i pro druhou časovou dvojici.

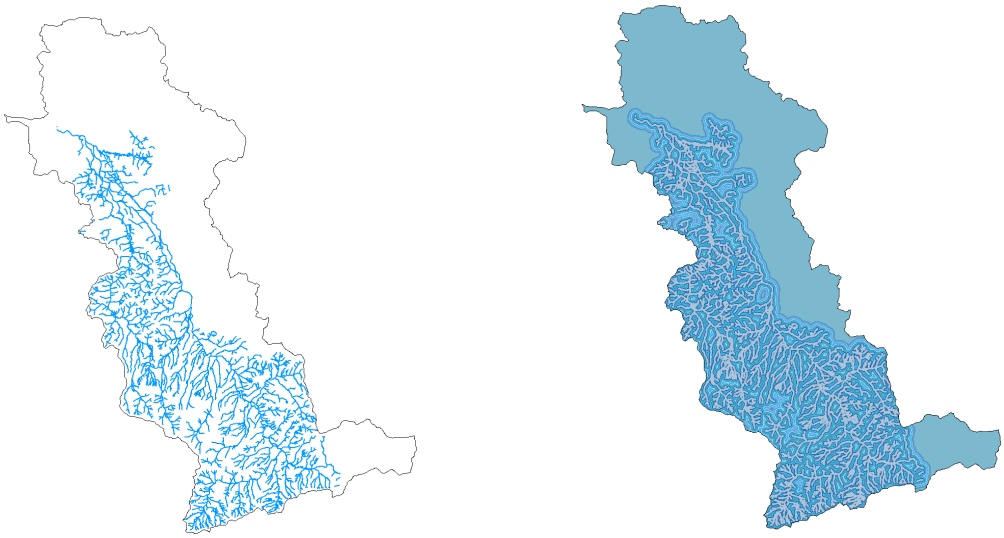




Graf 2. Vliv změn vlhkosti na sklonu terénu pro druhou časovou dvojici snímků (27. 7. 2005 a 31. 8. 2005 s povodňovou událostí 24. 8. 2005) pro třídu lesů (nahoře) a zemědělských ploch (dole).

Analýza dle vzdálenosti od vodního toku

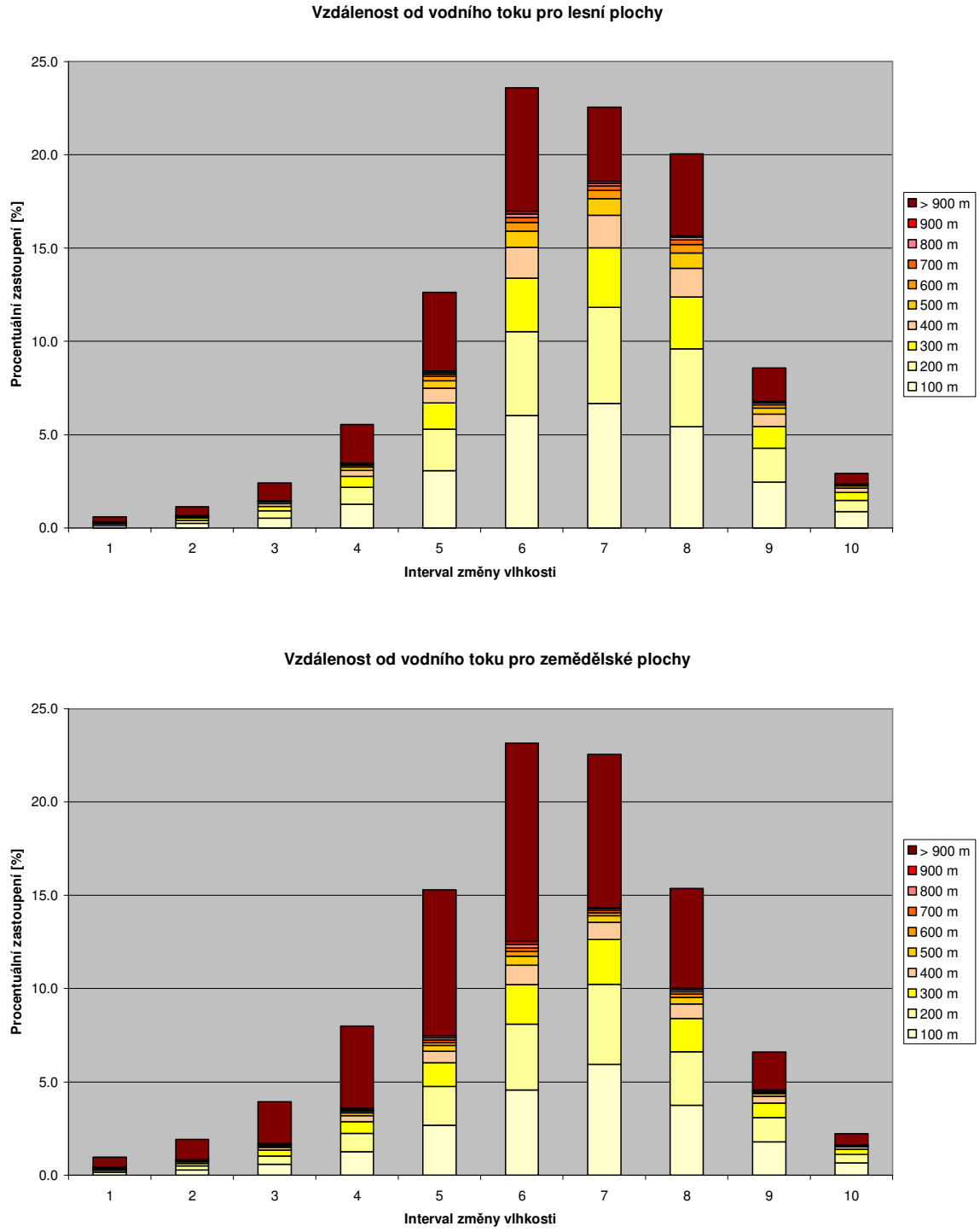
Celé analyzované území bylo rozděleno do intervalů po 100 m dle vzdáleností od vektorů vodních toků. Pro každý interval změny vlhkosti bylo spočítáno procentuální zastoupení intervalů těchto vzdáleností.



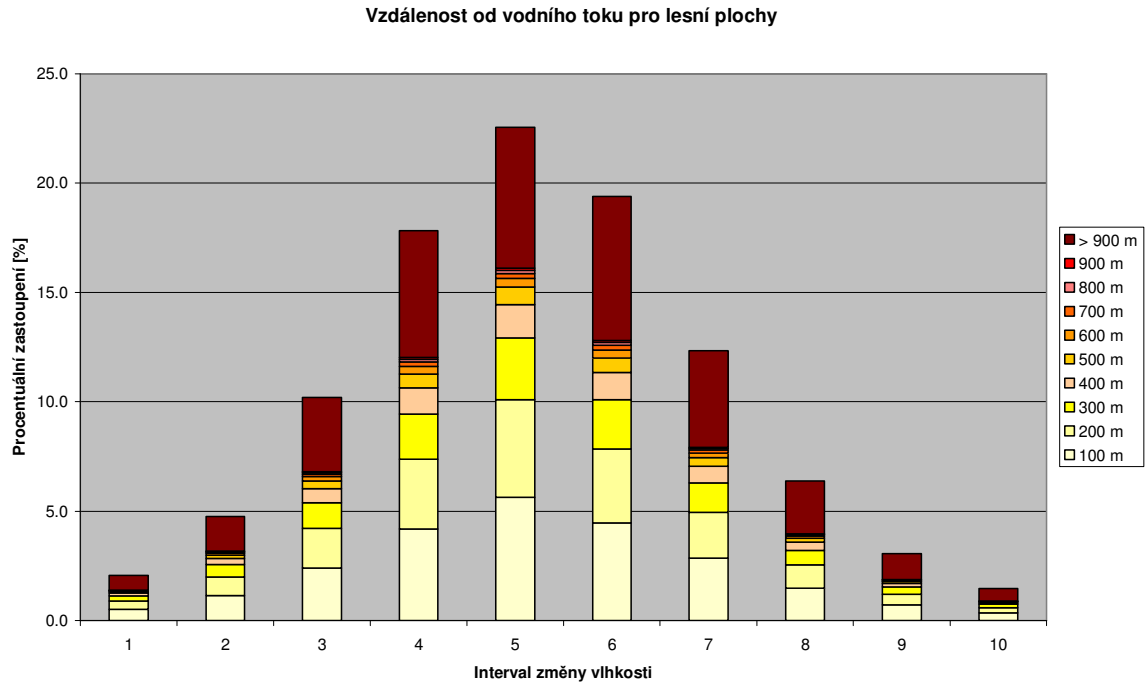
Obr. 9. Vektory vodních toků a rozdělení území dle vzdálenosti od vodních toků.

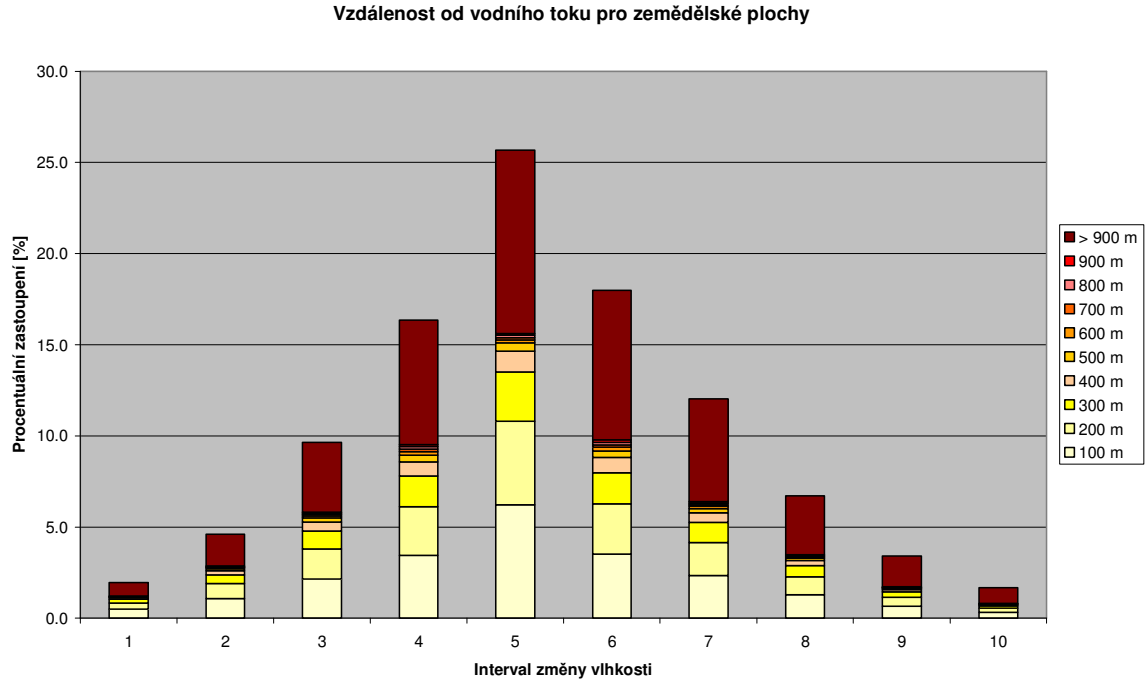
Pro každý rozdílový snímek a povrch byly vytvořeny grafy intervalů změn vlhkosti v závislosti na vzdálenosti od vodního toku, jako při analýze sklonů.
Z těchto grafů je vidět, že ve všech intervalech vzdáleností se vyskytují změny vlhkosti. Jelikož se vyskytují v podobných poměrech, lze konstatovat, že ani samotná vzdálenost od vodního toku nemá vliv na změnu vlhkosti.

K dispozici byly vektory vodních toků pouze na území ČR. Z důvodu absence dat pro část povodí ležící v Polsku byly vzdálenosti v tomto území počítány k vektorům ležících na území ČR. To znamená, že většina území ležící v Polsku, náleží do intervalu vzdáleností nad 900 m (i když tomu tak ve skutečnosti není). Tím bylo dosaženo velkého procentuálního zastoupení vzdáleností nad 900 m. Z výsledků pro ostatní intervaly je však zřejmé, že to celkový výsledek neovlivní.



Graf 3. Vliv změn vlhkosti na vzdálenosti od vodního toku pro první časovou dvojici snímků (22. 7. 2002 a 26. 8. 2002 s povodňovou událostí 19. 7. 2002) pro třídu lesů (nahoře) a zemědělských ploch (dole).





Graf 4. Vliv změn vlhkosti na vzdálenosti od vodního toku pro druhou časovou dvojici snímků (27. 7. 2005 a 31. 8. 2005 s povodňovou událostí 24. 8. 2005) pro třídu lesů (nahoře) a země-dělských ploch (dole).

Analýza dle BPEJ (Bonitovaná Půdně Ekologická Jednotka)

Bonitovaná půdně ekologická jednotka (BPEJ) je pětimístný číselný kód hodnotící zemědělské pozemky z hlediska kvality půdy (kyselá, jílovitá, …), expozice (eroze větrem) a výnosnosti. Vyjadřuje hlavní půdní a klimatické podmínky, které mají vliv na produkční schopnost zemědělské půdy a její ekonomické ohodnocení.

Význam číslic kódu
- první číslice (0-9) značí příslušnost ke klimatickému regionu
- druhá a třetí číslice vymezují příslušnost k určité hlavní půdní jednotce (01-78)
- čtvrtá číslice stanoví kombinaci svažitosti a expozice pozemku ke světovým stranám
- pátá číslice určuje kombinaci hloubky půdního profilu a jeho skeletovitosti

Pokud by byly uvažovány všechny kombinace číslic číselného kódu, dostali bychom velké množství tříd pro analýzu, proto byly vybrány pouze charakteristiky, které by mohly mít největší přímý vliv na změny vlhkosti. Byla vypuštěna první (předpoklad, že příslušnost ke klimatickému regionu nemá na změnu vliv) a čtvrtá číslice (sklon hodnocen zvlášť), čímž byl kód zjednodušen na 3 číslice (výjimkami jsou kódy 2300, 2900, 3400 a 3500 označující les, neplodnou půdu, lom a vodu, které ale do analýzy nevstupují, protože u nich nelze zjistit skeletovitost a hloubku půdy). I přes toto zjednodušení bylo získáno 62 tříd. Proto byl kód dále omezen jen na poslední číslici. V rámci zkoumání vlivu BPEJ na změnu vlhkosti byla uvažována pouze kombinace *hloubky půdního profilu a skeletovitosti*.

kód	charakteristika skleletovitosti
0	Bezskeletovité s celkovým obsahem skeletu do 10 %
1	Slabě skleletovité s celkovým obsahem skeletu do 25 %
2	Středně skleletovité s celkovým obsahem skeletu do 50 %
3	Silně skleletovité s celkovým obsahem skeletu nad 50 %

Tabulka 3. - Rozdělení typu půdy dle skletovitosti (obsah skeletu je vyjádřen celkovým obsahem štěrku (pevné částice hornin od 4 do 30 mm) a kamene (pevné částice hornin nad 30 mm).

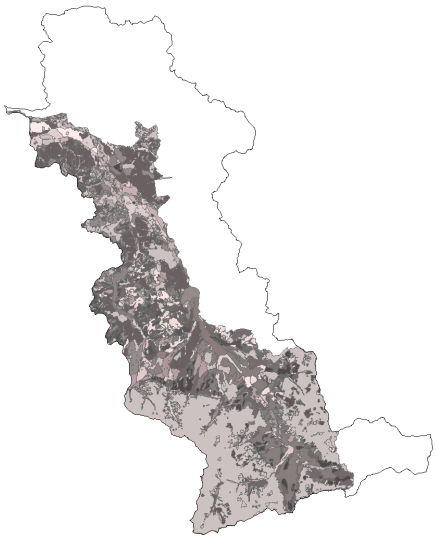
kód	charakteristika hloubky půdy
0	60 cm – Půda hluboká
1	30-60 cm – Půda středně hluboká
2	30 cm – Půda mělká

Tabulka 4. - Rozdělení dle hloubky půdy (vyjadřuje hloubku části půdního profilu omezené buď pevnou horninou, nebo silnou skeletovitostí).

kód	kategorie skeletovitosti	kategorie hloubky půdy
0	0	0
1	0-1	0-1
2	1	0
3	2	0
4	2	0-1
5	1	2
6	2	2
7 +)	0-1	0-1
8 +)	2-3	0-2
9 +)	0-3	0-2

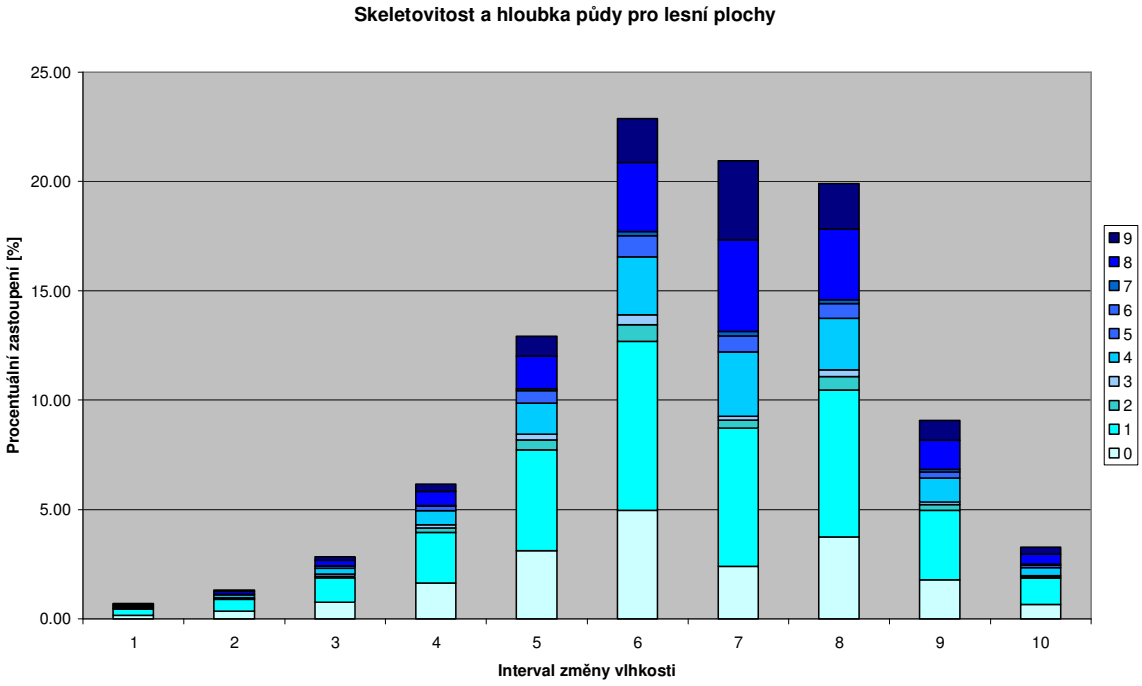
+) Platí pouze u HPJ 40 a 41.

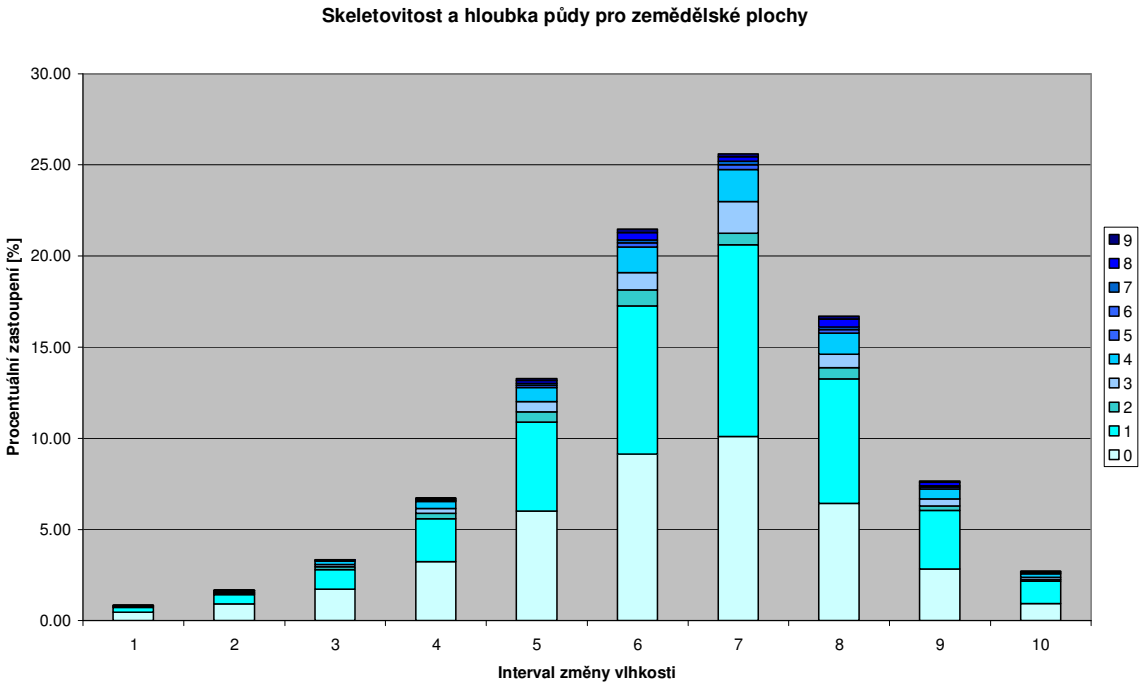
Tabulka 5. - Výsledné označení analyzovaných tříd BPEJ vyjadřujících kombinaci skeleto-vitosti a hloubky půdy.



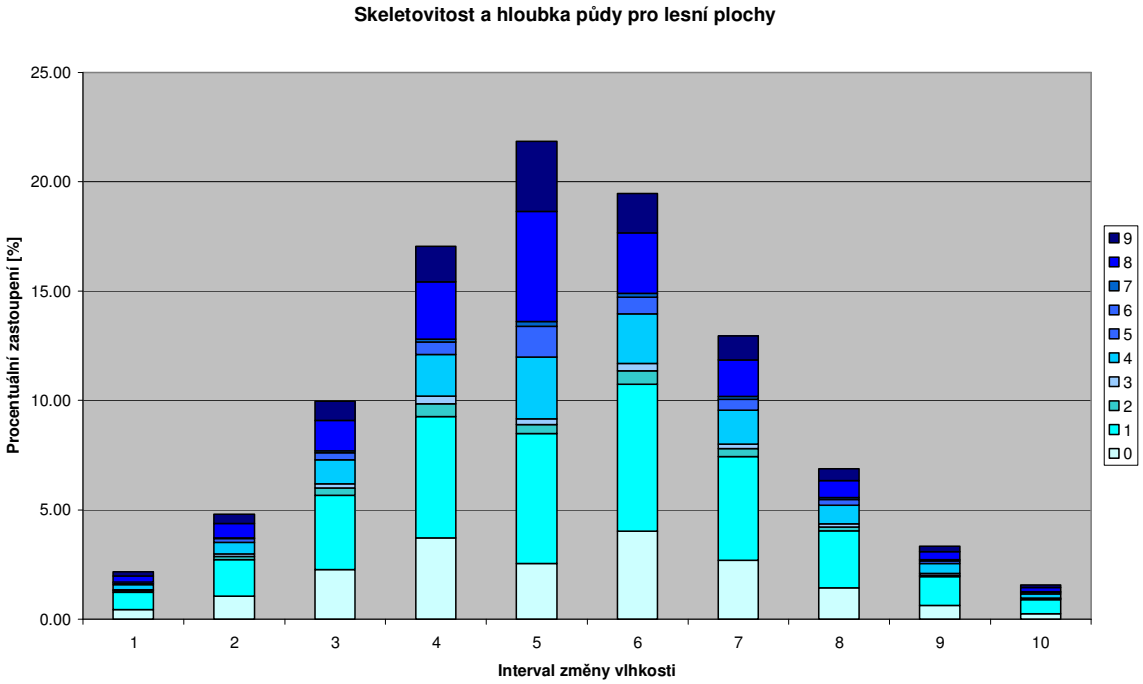
Obr. 10. Rozdělení území dle BPEJ (legenda není přiložena pro její rozsáhlost; mapa znázorňuje pouze území s dostupnými údaji o BPEJ v rámci povodí).

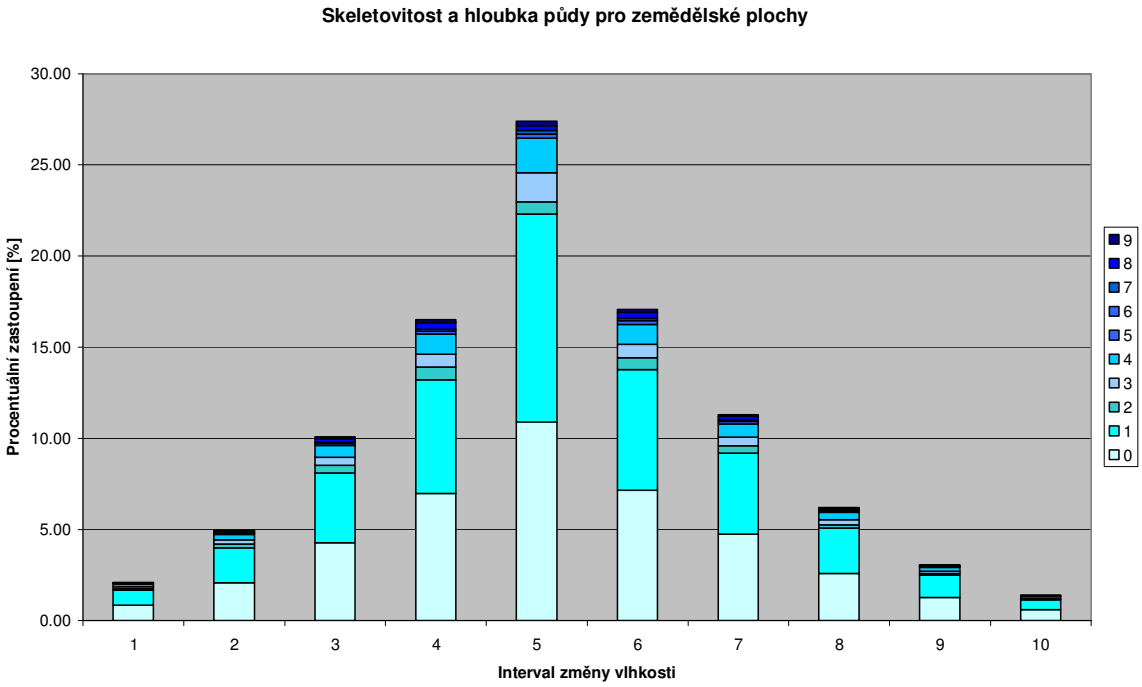
Pro každý interval změny vlhkosti bylo spočítáno procentuální zastoupení všech intervalů zjednodušených tříd BPEJ. Grafy znázorňující závislost intervalů změn vlhkosti na hloubce půdního profilu a skeletovitosti byly vytvořeny pro každý snímek. Pouze u těchto grafů jsou vidět určité rozdíly v poměrech procentuálních zastoupení jednotlivých uvažovaných kategorií BPEJ. Lze usuzovat, že samotný typ půdy má určitý přímý vliv na změnu vlhkosti, avšak změny nejsou tak velké, aby bylo možno určit přesné vztahy.
To lze zdůvodnit tím, že pro každý typ půdy je charakteristický jiný průběh změn vlhkosti (rychlost vysychání, nasákavost). Z dosažených výsledků nelze určit přesný průběh těchto změn, protože jsou třídy BPEJ uvažovány zjednodušeně. Pro získání přesných hodnot by bylo nutné zjišťovat změny zvlášť pro každý kód BPEJ.





Graf 5. Vliv změn vlhkosti na hloubce půdního profilu a skleletovitosti pro první časovou dvojici snímků (22. 7. 2002 a 26. 8. 2002 s povodňovou událostí 19. 7. 2002) pro třídu lesů (nahoře) a zemědělských ploch (dole).

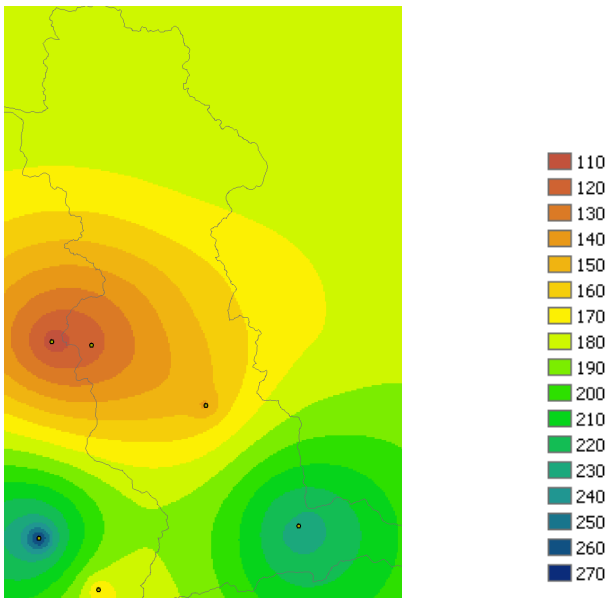




Graf 6. Vliv změn vlhkosti na hloubce půdního profilu a skleletovitosti pro druhou časovou dvojici snímků (27. 7. 2005 a 31. 8. 2005 s povodňovou událostí 24. 8. 2005) pro třídu lesů (nahoře) a zemědělských ploch (dole).

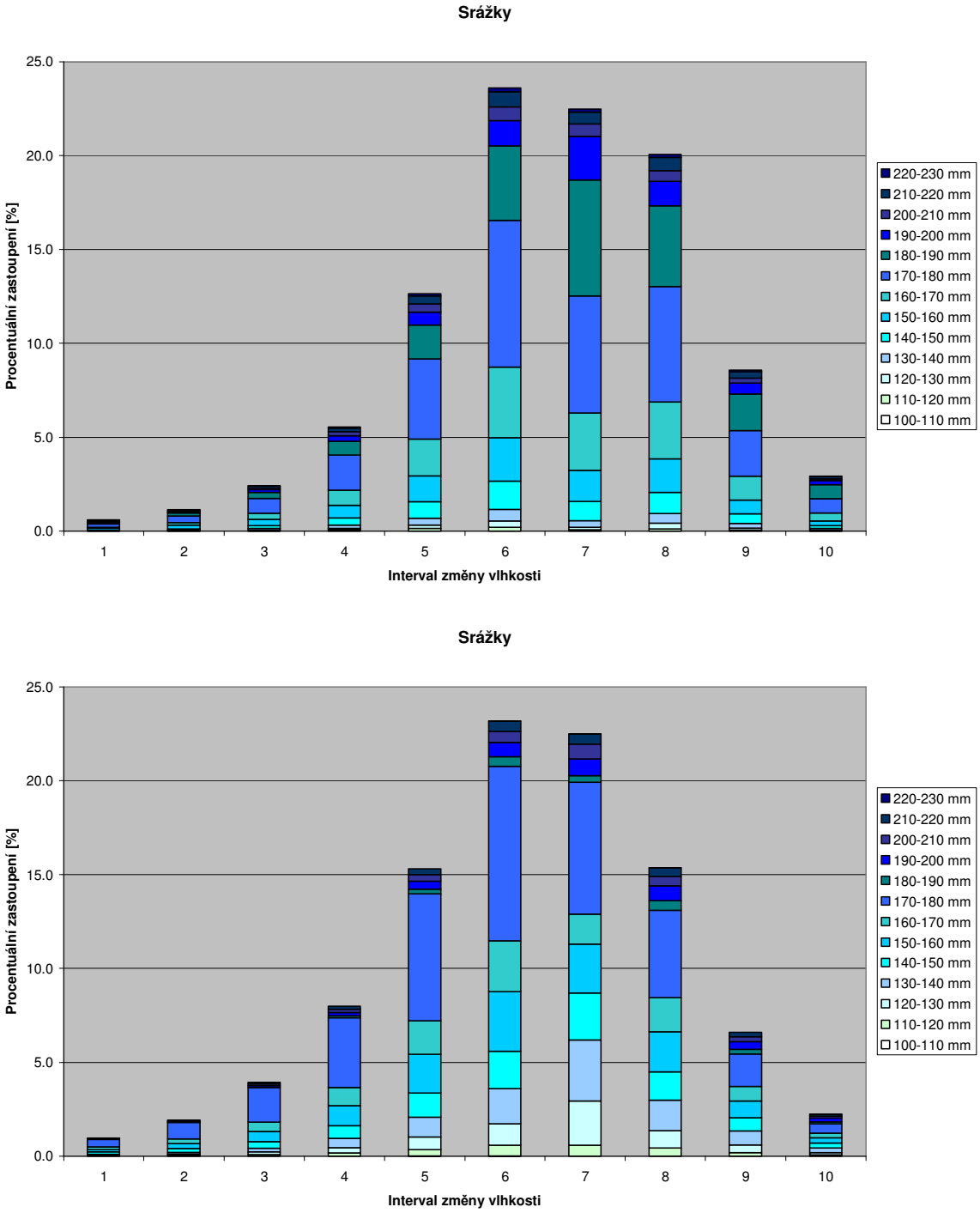
2.2.2 GIS analýza závislosti změn vlhkosti na množství dešťových srážek

Údaje o srážkách byly k dispozici pouze pro první časovou dvojici (pro rok 2002). K dispozici byla hodinová data z období 9.7.2002 až 26.8.2002 měřená na 6ti meteorologických stanicích (Bílý Kříž, Hradiště, Jablunkov, Lučina, Lysá hora, Třinec). Tyto stanice ale nepokrývají dostatečně celou oblast povodí, proto tam, kde nebyla žádná měřená data, byly hodnoty interpolovány. Tak byly získány denní mapy srážek. Mapa souhrnu srážek byla vytvořena součtem těchto hodnot pro každý pixel. Tato mapa zahrnuje pouze data z období, pro které byly určeny změny vlhkosti (období od pořízení prvního snímku 22. 7. 2002 do pořízení druhého snímku 26. 8. 2002).
Výsledné hodnoty naměřených srážek byly rozděleny do intervalů po 10 mm. Pro lesní i zemědělské plochy byly vytvořeny grafy znázorňující závislost intervalů změn vlhkosti na množství srážek.



Obr. 11. Mapa množství souhrnu srážek po 10 mm.

Z grafů závislostí intervalů změn vlhkosti na množství srážek je vidět, že samotné množství srážek nemá přímý vliv na změny vlhkosti. Poměry procentuálních zastoupení jednotlivých intervalů srážek se v rámci intervalů změn vlhkosti příliš neliší. Tam, kde se hodnoty mírně liší, nejsou tyto rozdíly tak velké, aby bylo možno určit závislost změn vlhkosti na samotném množství srážek bez znalostí jiných faktorů.
To může být částečně způsobeno tím, že při interpolaci denních srážek nebyl brán v úvahu tvar povrchu, a tudíž nemusí být tato interpolace dostatečně přesná.



Graf 7. Vliv změn vlhkosti na množství srážek pro první časovou dvojici snímků (22. 7. 2002 a 26. 8. 2002 s povodňovou událostí 19. 7. 2002) pro třídu lesů (nahoře) a zemědělských ploch (dole).

2.2.3 GIS analýza závislosti změn vlhkosti na kombinacích vlastností území

Na základě výše uvedených grafů a jejich rozborů lze konstatovat, že jednotlivé charakteristiky území, pokud jsou uvažovány samostatně, nemají na změnu vlhkosti v tomto území žádný větší vliv. Toto poukazuje na to, že vztahy mezi charakteristikami, které mají na tyto změny vliv, jsou mnohem složitější. Pro určení vzájemných vztahů je nutno analyzovat různé kombinace těchto vlastností.
Dále byly zkoumány kombinace sklonových poměrů a tříd BPEJ již bez úvah o vzdálenosti od vodních toků, protože již bylo prokázáno (viz Graf 3 a 4), že vzdálenost od vodních toků má na změny vlhkosti zanedbatelný vliv.

Analýza změn v závislosti na kombinaci sklonových poměrů a třídách BPEJ
Byly analyzovány maximální záporné změny vlhkosti (DH rozdílového snímku v intervalu -300; -255), nulové změny vlhkosti (-25; 25) a maximální kladné změny vlhkosti (105; 150) v závislosti na sklonových poměrech a třídách BPEJ.
Sklonové intervaly byly použity stejné jako při předešlé analýze (viz str. 38), pro analýzu třídy lesů byl k použitým zjednodušeným kódům BPEJ (uvažována pouze kombinace hloubky půdního profilu a skeletovitosti) přidán kód 2300 (les) a pro analýzu tříd zemědělských ploch byly přidány kódy 2300 a 2900 (les a neplodná půda).
Pro každý sklon ve všech intervalech změn vlhkosti byla spočtena výměra pro jednotlivé třídy BPEJ a následně procentuální zastoupení každé třídy v každém sklonu pro všechny intervaly změn vlhkosti. Výsledné procentuální zastoupení jednotlivých kombinací sklonových tříd a tříd BPEJ je takové, že první zkoumaná třída (sklonové intervaly 0-5° a BPEJ kódy 0-9 a 2300) je zastoupena ve všech intervalech změn vlhkosti asi 20%, druhá asi 45%, třetí 35% a poslední třída 1%. Poměry těchto kombinací jsou přibližně podobné ve všech třech zkoumaných intervalech, proto lze usuzovat, že ani kombinace vlastností sklonů a tříd BPEJ pro třídu lesů nemají významnější vliv na změnu vlhkosti (viz Tabulka 6).
Pro třídu zemědělských ploch jsou naopak již viditelné rozdíly v poměrech kombinací vlastností mezi intervalem maximálních záporných změn a dvěma zbývajícími intervaly (podobné hodnoty pro intervaly nulových a maximálních kladných změn jsou pravděpodobně způsobeny blízkostí obou intervalů). Z výsledků seřazených v tabulce č. 7 lze konstatovat, že největší úbytek vlhkosti je pro kombinaci sklonu 0-5% a BPEJ 1 (viz Tabulka 5) a naopak nejmenší úbytek pro kombinaci sklonu 15-30% a BPEJ 2300 (les).

OLŠE – třída lesů (22.7., 26.8. 2002)

	Maximální záporné změny (interval -300; -255)			Nulové změny (interval -25; 25)			Maximální kladné změny (interval 105; 150)		
sklon	BPEJ	výměra	% z celku	BPEJ	výměra	% z celku	BPEJ	výměra	**% z celku**
0-5°	0	0.00	*0.00*	0	25458.42	*0.78*	0	3498.25	*1.10*
	1	7288.17	*16.07*	1	382404.66	*11.73*	1	47534.46	*14.95*
	3	0.00	*0.00*	3	3449.32	*0.11*	3	0.00	*0.00*
	4	122.66	*0.27*	4	29265.33	*0.90*	4	4713.38	*1.48*
	6	0.00	*0.00*	6	9247.81	*0.28*	6	67.11	*0.02*
	8	0.00	*0.00*	8	223.24	*0.01*	8	0.00	*0.00*
	9	0.00	*0.00*	9	169.00	*0.01*	9	0.00	*0.00*
	2300	1426.16	*3.14*	2300	50967.76	*1.56*	2300	5791.87	*1.82*
		8837.00	***19.48***		*501185.55*	***15.37***		*61605.07*	***19.37***
5-15°	0	0.00	*0.00*	0	5067.71	*0.16*	0	69.20	*0.02*
	1	2647.39	*5.84*	1	383596.97	*11.77*	1	41207.35	*12.96*
	3	0.00	*0.00*	3	548.48	*0.02*	3	0.00	*0.00*
	4	9464.15	*20.87*	4	201408.51	*6.18*	4	31319.96	*9.85*
	6	1304.51	*2.88*	6	20757.02	*0.64*	6	3670.27	*1.15*
	7	0.00	*0.00*	7	7413.58	*0.23*	7	2268.66	*0.71*
	8	1413.97	*3.12*	8	112497.93	*3.45*	8	8256.16	*2.60*
	9	0.00	*0.00*	9	3960.93	*0.12*	9	902.64	*0.28*
	2300	6342.36	*13.98*	2300	748747.47	*22.97*	2300	55325.66	*17.40*
		21172.37	***46.68***		*1483998.59*	***45.52***		*143019.91*	***44.97***

	1	172.52	*0.38*	1	19592.46	*0.60*	1	5969.86	*1.88*
	4	0.00	*0.00*	4	3849.53	*0.12*	4	1308.97	*0.41*
	6	0.00	*0.00*	6	885.47	*0.03*	6	9.74	*0.00*
15-30°	7	0.00	*0.00*	7	2013.51	*0.06*	7	402.96	*0.13*
	8	2257.35	*4.98*	8	64384.52	*1.97*	8	5559.16	*1.75*
	9	0.00	*0.00*	9	23094.16	*0.71*	9	943.87	*0.30*
	2300	12442.04	*27.43*	2300	1110394.01	*34.06*	2300	94265.78	*29.64*
		14871.90	***32.79***		*1224238.33*	***37.55***		*108460.34*	***34.10***
	1	0.00	*0.00*	1	862.57	*0.03*	1	501.08	*0.16*
30-90°	8	5.36	*0.01*	8	1206.94	*0.04*	8	4.70	*0.00*
	2300	472.09	*1.04*	2300	48440.49	*1.49*	2300	4431.33	*1.39*
		477.45	***1.05***		*50755.28*	***1.56***		*4937.11*	***1.55***
∑ [m²]		**45358.72**			**3260177.75**			**318022.42**	

Tabulka 6. - Závislost max. a nul. změn vlhkosti na kombinaci sklonových poměrů a tříd BPEJ pro les.plochy (vynechány řádky obsahující pouze nulové hodnoty).

OLŠE – třída zemědělských ploch (22.7., 26.8. 2002)									
	Maximální záporné změny (interval -300; -255)			Nulové změny (interval -25; 25)			Maximální kladné změny (interval 105; 150)		
sklon	BPEJ	výměra	% z celku	BPEJ	výměra	% z celku	BPEJ	výměra	% z celku
	0	1971.16	*6.01*	0	111447.23	*4.30*	0	7356.65	*2.72*
	1	9505.03	*28.96*	1	390197.93	*15.05*	1	41197.43	*15.24*
	3	0.00	*0.00*	3	6879.78	*0.27*	3	324.80	*0.12*
	4	209.91	*0.64*	4	45729.29	*1.76*	4	1906.35	*0.71*
	6	120.33	*0.37*	6	3826.22	*0.15*	6	690.58	*0.26*
0-5°	7	582.74	*1.78*	7	1006.62	*0.04*	7	0.00	*0.00*
	8	0.00	*0.00*	8	2811.97	*0.11*	8	217.33	*0.08*
	9	0.00	*0.00*	9	1918.60	*0.07*	9	349.33	*0.13*
	2300	1654.95	*5.04*	2300	126990.70	*4.90*	2300	13042.11	*4.82*
	2900	1213.44	*3.70*	2900	2794.71	*0.11*	2900	477.79	*0.18*
		15257.56	***46.49***		*693603.05*	***26.74***		*65562.36*	***24.25***
	0	261.96	*0.80*	0	9694.08	*0.37*	0	2976.57	*1.10*
	1	4786.83	*14.58*	1	401363.79	*15.48*	1	54705.66	*20.23*
	4	4778.18	*14.56*	4	237338.15	*9.15*	4	17669.90	*6.54*
	6	883.32	*2.69*	6	20183.18	*0.78*	6	2655.24	*0.98*
5-15°	7	0.00	*0.00*	7	8869.71	*0.34*	7	547.07	*0.20*
	8	0.00	*0.00*	8	27363.86	*1.06*	8	7426.79	*2.75*
	9	0.00	*0.00*	9	24421.59	*0.94*	9	2138.33	*0.79*
	2300	3310.64	*10.09*	2300	486208.08	*18.75*	2300	47316.33	*17.50*
	2900	0.00	*0.00*	2900	5840.46	*0.23*	2900	524.23	*0.19*
		14020.94	***42.72***		*1221282.89*	***47.09***		*135960.11*	***50.29***
	0	89.42	*0.27*	0	52.20	*0.00*	0	0.00	*0.00*
	1	103.65	*0.32*	1	23610.13	*0.91*	1	2326.52	*0.86*
	4	0.00	*0.00*	4	3274.45	*0.13*	4	0.00	*0.00*
	6	0.00	*0.00*	6	3508.15	*0.14*	6	0.00	*0.00*
15-30°	7	0.00	*0.00*	7	5258.03	*0.20*	7	420.07	*0.16*
	8	0.00	*0.00*	8	27112.31	*1.05*	8	3319.57	*1.23*
	9	0.00	*0.00*	9	60092.51	*2.32*	9	2576.59	*0.95*
	2300	3192.23	*9.73*	2300	525980.91	*20.28*	2300	57569.99	*21.29*
	2900	0.00	*0.00*	2900	7094.33	*0.27*	2900	374.48	*0.14*
		3385.29	***10.31***		*655983.02*	***25.29***		*66587.22*	***24.63***

	1	0.00	*0.00*	1	599.02	*0.02*	1	0.00	*0.00*
	4	0.00	*0.00*	4	0.00	*0.00*	4	298.21	*0.11*
30-90°	8	0.00	*0.00*	8	393.54	*0.02*	8	0.00	*0.00*
	9	0.00	*0.00*	9	792.81	*0.03*	9	33.53	*0.01*
	2300	157.15	*0.48*	2300	20812.08	*0.80*	2300	1921.65	*0.71*
		157.15	***0.48***		*22597.44*	***0.87***		*2253.39*	***0.83***
∑ [m²]		**32820.94**			**2593466.41**			**270363.07**	

Tabulka 7. - Závislost maximálních a nulových změn vlhkosti na kombinaci sklonových poměrů a tříd BPEJ pro oblasti zemědělských ploch (vynechány řádky obsahující pouze nulové hodnoty)

Analýza maximálních kladných změn v závislosti na kombinaci vlivů sklonových poměrů, tříd BPEJ a maximálních a minimálních srážkách

Jako poslední byla provedena analýza pro maximální změnu vlhkosti (DH pixelů rozdílového snímku 105-150) pro třídu lesů, kde byla zkoumána kombinace vlastností sklonů a zjednodušených tříd BPEJ v závislosti na maximálních (210-230 mm) a minimálních srážkách (100-130 mm). Z hodnot v tabulce č. 8 jsou zřejmé značné rozdíly mezi poměry kombinací vlastností pro oba intervaly srážek. Proto lze konstatovat, že z takovýchto kombinací můžeme prokázat jejich určitý společný vliv na změnu vlhkosti v analyzovaném území.

OLŠE – třída lesů (22.7., 26.8. 2002)					
		Maximální změna vlhkosti (105; 150)			
		Maximální srážky (210-230 mm)		Minimální srážky (100-130 mm)	
sklon	BPEJ	výměra [m²]	z celku [%]	výměra [m²]	z celku [%]
	0	7340.80	*5.17*	4274.44	*1.17*
	1	10969.49	*7.73*	56133.69	*15.32*
	2	554.41	*0.39*	-	-
0-5°	4	35.64	*0.03*	5297.47	*1.45*
	9	288.78	*0.20*	-	-
	2300	32389.95	*22.83*	6509.60	*1.78*
	3500	6902.93	*4.87*	-	-
		58482.00	***41.22***	72282.32	***19.73***
	0	3610.27	*2.54*	134.68	*0.04*
	1	19756.10	*13.92*	48250.48	*13.17*
	2	645.90	*0.46*	0.00	-
5-15°	4	4814.91	*3.39*	34969.15	*9.55*
	9	2011.75	*1.42*	1009.10	-
	2300	47993.47	*33.83*	61807.59	*16.87*
	3500	381.90	*0.27*	0.00	-
		79214.31	***55.83***	162178.66	***44.27***
	0	247.94	*0.17*	-	-
	1	667.27	*0.47*	6738.40	*1.84*
15-30°	4	-	-	2004.16	*0.55*
	9	55.78	*0.04*	1036.51	-
	2300	2593.05	*1.83*	108687.35	*29.67*
		3564.03	***2.51***	125679.92	***34.31***
	1	-	-	513.34	*0.14*
30-90°	8	-	-	11.20	*0.00*
	2300	616.81	*0.43*	5146.32	*1.40*
		616.81	***0.43***	6195.58	***1.69***
		141877.15		**366336.48**	

Tabulka 8. - Závislost maximální změny vlhkosti na kombinaci vlivů sklonů, BPEJ a maximálních a minimálních srážkách (vynechány řádky obsahující pouze nulové hodnoty).

Při maximálních srážkách je největší změna vlhkosti patrná na území se sklonem do 15% na všech vyskytujících se třídách BPEJ, nejvíce však pro třídu 2300 – les. Naopak poměrně malá změna nastane na území se sklonem 15-30%.
Při minimálních srážkách jsou změny pozorované na území až do sklonu 30% pouze však pro určité třídy BPEJ (pro mírné sklony do 5% hlavně typ 1; pro sklon 5-15% typ 1, 4 a 2300; pro sklon 15-30% typ 2300).
Interval obsahující sklon větší než 30% se na celém území vyskytuje jen v malé míře, proto pro něj nelze učinit žádný vypovídající závěr.
Pro tuto analýzu však byly použity jen zjednodušené vlastnosti území (omezené třídy BPEJ, sloučené sklonové intervaly, zjednodušená interpolace množství srážek). Přesnější výsledky pro vyjádření závislostí změn vlhkosti na uvažovaných kombinacích by bylo možné získat použitím všech tříd BPEJ (bez zjednodušení na pouze 10-12 tříd) a přesné interpolace množství srážek, která by byla provedena s ohledem na tvar povrchu území.

3 Závěr

Analyzováním rozdílových radarových snímků vyjadřující změny vlhkosti v daném území povodí řeky Olše pomocí GIS nástrojů bylo zjištěno, že charakteristiky území uvažované samostatně nemají na změnu vlhkosti v analyzovaném území žádný nebo jen nepatrný přímý vliv. Každý interval změn vlhkosti obsahuje všechny druhy uvažovaných charakteristik ve více či méně stejném poměru. To znamená, že vztahy mezi jednotlivými charakteristikami jsou velmi složité a je třeba analyzovat různé kombinace těchto faktorů. Určité zpřesnění výsledků by mohlo přinést i použití nezjednodušených vlastností území (použít všechny intervaly sklonů, všechny nezjednodušené kódy BPEJ, přesnější model interpolace srážek).
To je také spojeno s požadavkem na přesnější a ucelenější informace o daném území (meteorologická data – přesný průběh srážek a teplot, informace o morfologii a jiných důležitých vlastností, které mohou ovlivňovat chování území).
Pro použití výsledků na jiné území je třeba také porovnat výsledky dosažené v povodí řeky Olše s výsledky pro povodí řeky Bělé (jejíž analýza je zpracovávána v rámci stejného grantu GAČR). Tím bude vyloučeno riziko, že v území povodí řeky Olše se vyskytují nějaké anomálie, které by významným způsobem zkreslovaly dosažené výsledky.

Reference

1. Halounová, L., Pavelka, K. *Dálkový průzkum Země*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2008. ISBN 80-01-03124-1.
2. Hanzlová, M., Horák, J., Halounová, L., Žídek, D., Keller, J.. Překryvné analýzy rastrových dat typu využití a pokryvu území. *Symposium GIS Ostrava 2007*. Ostrava 2007.
3. Balaštíková, K.. Určení změn s ohledem na změnu půdní vlhkosti z radarových dat. *Diplomová práce*. FSv - ČVUT. Praha 2008.
4. Corbley, Kevin P. *Mapování záplav pomocí radaru se syntetickou aperturou (SAR) - Fotomapy vytvořené pro záplavy v roce 1997 na řekách Odře a Moravě*, VÚGTK, Zdiby 1998.
5. Geomatics International Inc.: RADARSAT Distance Learning Program.